

BIJLAGE IV DAGELIJKSE WATERSTANDEN EN STREEFPEILEN



Deelproduct 9: Hydraulica en Veiligheid, Planstudie IJsseldelta-Zuid



Tauw



Provincie Overijssel

17 augustus 2012

Definitief rapport

9V4747.C2





Tauw

Witteveen + Bos



HASKONING NEDERLAND B.V.
RIVERS, DELTAS & COASTS

Barbarossastraat 35

Postbus 151

6500 AD Nijmegen

(024) 328 42 84 Telefoon

(024) 360 54 83 Fax

info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail

www.royalhaskoning.com Internet

Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel	Planstudie IJsseldelta-Zuid
	Deelproduct 9: Hydraulica en Veiligheid,
Verkorte documenttitel	Hydraulica en Veiligheid
Status	Definitief rapport
Datum	17 augustus 2012
Projectnaam	IJsseldelta Zuid
Projectnummer	9V4747.C2
Opdrachtgever	Provincie Overijssel
Referentie	9V4747.C2/R0016/901807/VVDM/Nijm

Auteur(s) Wiebe de Jong, Marcel van de Waart,
Tjeerd Driessen

Collegiale toets Thomas Vijverberg

Datum/paraaf 17 augustus 2012 

Vrijgegeven door Geert Gerrits

Datum/paraaf 17 augustus 2012 

**INHOUDSOPGAVE**

Blz.

1	INLEIDING	1
1.1	Programma IJsseldelta	1
1.2	Masterplan IJsseldelta-Zuid	1
1.3	Gefaseerde uitvoering	2
1.4	Bestuursovereenkomst	2
1.5	Verandering projectscope in 2011	2
1.6	De onderscheiden projectfasen	3
1.7	SNIP 3 procedure	4
1.8	Doel voorliggend SNIP3 product	5
1.9	Leeswijzer voorliggend SNIP3 product	6
2	HUIDIGE SITUATIE	9
3	INRICHTINGSPLAN	13
3.1	Ontwerpproces	13
3.2	Kenmerken Inrichtingsplan fase 1	13
3.3	Kenmerken Inrichtingsplan fase 2	16
3.4	Meestromen bypass vanuit IJssel in fase 1	18
3.5	Meestromen bypass vanuit IJssel in fase 2	19
3.6	Normering dijken	22
4	WERKWIJZE EN UITGANGSPUNTEN	25
4.1	Uitgangspunten Hydraulica Fase 1	25
4.2	Uitgangspunten Hydraulica Fase 2	27
4.3	Uitgangspunten Hydraulica Fase 3: Lange termijn	29
4.4	Modelinstrumentarium en Methodiek	30
5	WATERSTANDDYNAMIEK	32
5.1	Inleiding	32
5.2	Huidige streefpeilen	32
5.3	Verloop dagelijkse waterstanden bypass (streefpeilen)	34
5.4	Maximale en minimale gemeten waterstanden	37
6	ONTWERPPEILEN	40
6.1	Inleiding	40
6.2	Modelopzet en uitgangspunten	41
6.3	Ontwerppeilen voor fase 1	44
6.4	Ontwerppeilen fase 2	49
7	GOLFBELASTING	60
7.1	Inleiding	60
7.2	SWAN Model	60
7.3	Golfbelasting voor fase 1	63
7.4	Golfbelasting voor fase 2	65
8	MAXIMALE OPTREDENDE STROOMSNELHEDEN	78
8.1	Stroomsnelheden bij 1/2000 afvoer fase 1	78



8.2	Stroomsnelheden bij 1/2000 afvoer fase 2	79
8.3	Stroomsnelheden bij 18.000 m ³ /s fase 3	82
8.4	Stroomsnelheden bij storm	83
9	WATERSTANDSEFFECTEN BIJ MHW	88
9.1	Effecten in de as van de rivier (aspect 1.1) voor fase 1	88
9.2	Effecten buiten de as van de rivier (aspect 1.2) voor fase 1	90
9.3	Effecten in de as van de rivier (aspect 1.1) voor fase 2	91
9.4	Effecten buiten de as van de rivier (aspect 1.2) voor fase 2	97
9.5	Beheerruimte	98
10	EFFECTEN OP INUNDATIEFREQUENTIE	102
10.1	Fase 1	103
10.2	Fase 2	104
11	EFFECTEN OP STROOMBEELD	106
11.1	Fase 1	106
11.2	Fase 2	109
12	EFFECTEN OP STROOMBEELD IN- EN UITSTROOMOPENING	112
12.1	Dwarsstroming IJssel, Fase 1	112
12.2	Dwarsstroming IJssel, Fase 2	116
12.3	Dwarsstroming vaargeul Verlengde Vossemeer	118
13	EFFECTEN OP AFVOERVERDELING	122
14	ROBUUSTHEID	124
14.1	Effect open of gesloten inlaatwerk bij storm	124
14.2	Toenemende afvoer	127
15	ONZEKERHEDEN	132
16	CONCLUSIES	136
17	LITERATUUR	144

BIJLAGEN

- A. Baseline kaarten Inrichtingsplan
- B. Modelsettings en verificatie
- C. Verloop streefpeilen
- D. Boxplots Waterstanden op basis van daggemiddelde waterstandmetingen
- E. Boxplots Waterstanden op basis van 10 minuten waterstandmetingen
- F. Boxplots waterstandsverschillen per uur op basis van 10 min waterstandmetingen
- G. Figuren dwarsstroming Fase 1
- H. Figuren dwarsstroming Fase 2
- I. Notitie Roggebot
- J. Objectenlijst
- K. Overzichtskaart naamgeving
- L. Oplegnotitie Probabilistische verificatie kruinhoogte berekeningen IJsseldelta-Zuid
- M. Referentielijst



Tauw



Bos



ROYAL HASKONING

Deel A: Uitgangspunten, modelschematisatie, huidige situatie en waterstanden



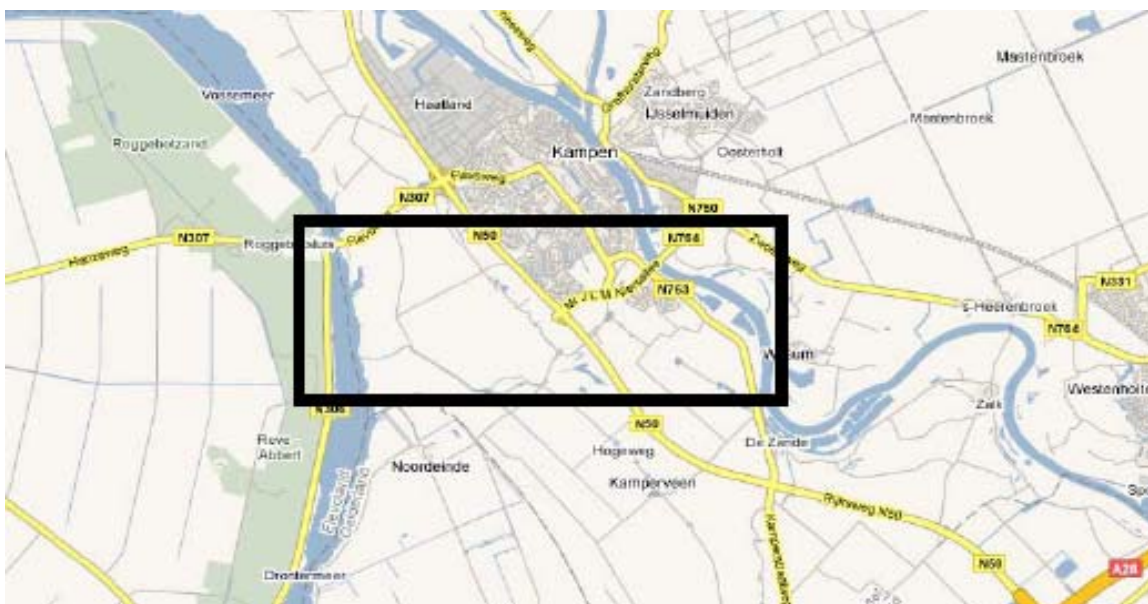
Tauw



1 INLEIDING

1.1 Programma IJsseldelta

Het Programma IJsseldelta behelst een integrale gebiedsontwikkeling in het stedelijk netwerk Zwolle - Kampen. Het Programma IJsseldelta bestaat uit twee deelprogramma's IJsseldelta-Noord voor de versterking van het Nationaal Landschap en IJsseldelta-Zuid met als doel de integrale stedelijke ontwikkeling van Kampen in combinatie met hoogwaterbescherming. IJsseldelta-Zuid ligt in het gebied tussen Kampen, de IJssel en het Drontermeer (Figuur 1).



Figuur 1: Projectgebied IJsseldelta-Zuid

1.2 Masterplan IJsseldelta-Zuid

Voor de gebiedsontwikkeling IJsseldelta-Zuid is in het najaar van 2006 het 'Masterplan Veilig wonen, werken en recreëren in IJsseldelta Zuid' vastgesteld door de gemeenteraden van Kampen en Zwolle, Provinciale Staten van Overijssel en het Algemeen Bestuur van Waterschap Groot Salland. De gebiedsontwikkeling IJsseldelta-Zuid is als voorbeeldproject opgenomen in de Nota Ruimte. Belangrijke onderdelen van het Masterplan zijn de aanleg van een bypass tussen de IJssel en het Drontermeer en woningbouwontwikkeling ten zuiden en ten westen van Kampen. De bypass is een van de benodigde maatregelen in de benedenloop van de IJssel om de verwachte hogere rivierafvoeren in de toekomst veilig te kunnen verwerken. In de in 2008 door Provinciale Staten van Overijssel vastgestelde partiële herziening van het Streekplan Overijssel 2000+ is de ontwikkeling van woningbouw ten westen van Kampen tot 2020 beperkt tot een tussen de Hanzelijn en bypass gelegen locatie van 1.300 woningen. Dit wordt een waterrijk woonmilieu, dat gedeeltelijk op een klimaatdijk wordt gebouwd. In de bypass en de daaraan grenzende Onderdijkse Waard wordt ruim 400 hectare nieuwe natuur gerealiseerd. Daardoor ontstaat een ecologische verbinding tussen de IJsseluiterwaarden en de Veluwerandmeren. Ook het verbeteren van de toeristisch-recreatieve infrastructuur is een doel van de gebiedsontwikkeling. Andere projecten in het Programma IJsseldelta-Zuid zijn de inpassing van de Hanzelijn (spoor), de ontwikkeling van de stationslocatie Kampen-Zuid, de verbreding van de N50 en capaciteitsuitbreiding van de N307 en de versterking van de agrarische structuur.



Op 28 januari 2008 heeft de stuurgroep ‘Gebiedsontwikkeling IJsseldelta-Zuid’ Gedeputeerde Staten van Overijssel en Flevoland geadviseerd als voorkeursalternatief te kiezen voor een bypass die in open verbinding staat met het Vossemeer. Dit voorkeursalternatief wordt gekenmerkt door ‘hoog dynamische’ natuur met een grote peildynamiek door de invloed van peilfluctuaties in het Vossemeer op de bypass. Op 9 november 2009 heeft de stuurgroep besloten het gekozen voorkeursalternatief voor het SNIP3 besluit verder uit te werken zonder stormkering bij Roggebot.

De bypass Kampen is als concreet omschreven project opgenomen in het Nationaal Waterplan.

1.3 Gefaseerde uitvoering

Medio 2009 heeft de regio aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat voorgesteld de uitvoering van IJsseldelta-Zuid in twee fasen te splitsen en in fase 1 de uitvoering te combineren met het Ruimte voor de Rivierproject Zomerbedverlaging Beneden-IJssel. Dit voorstel is uitgewerkt in een business case op grond waarvan het kabinet op 4 september 2009 heeft besloten €167 miljoen te reserveren voor de gefaseerde uitvoering en €22,4 miljoen uit het Nota Ruimtebudget beschikbaar te stellen voor de gebiedsontwikkeling. Per brief d.d. 5 oktober 2009 heeft de staatssecretaris van V&W gemeld dat, aanvullend op de in de PKB Ruimte voor de Rivier beschikbare €46 miljoen voor de zomerbedverlaging, €167 miljoen wordt gereserveerd voor de aanleg van de hoogwatergeul bij Kampen. De bijdrage uit het Nota Ruimte budget is vastgelegd in een door de minister van VROM d.d. 31 december 2009 afgegeven beschikking. In de gefaseerde uitvoering wordt in de eerste fase de zomerbedverlaging uitgevoerd in combinatie met de inrichting van het bypassgebied. In de periode 2021 – 2025 worden een aantal kunstwerken gebouwd voor het via de bypass vanaf 2025 kunnen afvoeren van hoogwaterpieken op de IJssel.

1.4 Bestuursovereenkomst

Op 15 februari 2010 is als vervolg op het kabinetsbesluit een Bestuursovereenkomst afgesloten tussen het Rijk, de provincies Overijssel en Flevoland, de gemeenten Kampen, Zwolle, Dronten en Oldenbroek, de waterschappen Groot Salland en Zuiderzeeland, evenals Staatsbosbeheer. In deze overeenkomst zijn onder andere de gereserveerde financiële bijdragen van Rijk, provincie Overijssel en gemeente Kampen vastgelegd. Ook is hierin opgenomen dat de provincie Overijssel ter voorbereiding van de Projectbeslissing (SNIP 3 besluit) de adviesnota voor de bypass Kampen laat uitwerken en Rijkswaterstaat die voor de zomerbedverlaging.

1.5 Verandering projectscope in 2011

De Ruimte voor de Rivier maatregel ‘Zomerbedverlaging Beneden-IJssel’ voorzag in het over 22 kilometer verdiepen van de IJssel met gemiddeld 1,7 meter. Najaar 2011 is geconcludeerd dat heroverweging van dit project nodig is als gevolg van de negatieve effecten op onder andere de drinkwaterwinning bij Zwolle. Op 26 september 2011 is door de Bestuurlijke Begeleidingscommissie Zomerbedverlaging en de Stuurgroep IJsseldelta-Zuid aan de staatssecretaris van I&M geadviseerd om een verkorte zomerbedverlaging (7 in plaats van 22 kilometer) te combineren met een versnelde, gedeeltelijke inzet van de bypass voor het afvoeren van de uiterste hoogwaterpieken ($>15.500 \text{ m}^3/\text{s}$) op de IJssel.



Op basis van in het najaar van 2011 uitgevoerde haalbaarheidsonderzoeken is geconcludeerd, dat via het huidige Roggebotsluis complex, met een aantal aanpassingen, bij maatgevende rivierafvoeren en een eenmaal per jaar storm, 220 m³/s kan worden afgevoerd. Op 2 december 2011 zijn de conclusies van de haalbaarheidsonderzoeken door de Bestuurlijke Begeleidingscommissie Zomerbedverlaging en de Stuurgroep IJsseldelta-Zuid vastgesteld en is de staatssecretaris van I&M voorgesteld de plannen voor de verkorte zomerbedverlaging in combinatie met een versnelde, beperkte inzet van de bypass uit te werken voor het SNIP 3 besluit. Het voorliggende document is een van de hiervoor opgestelde producten.

1.6 De onderscheiden projectfasen

De uitvoering van de bypass blijft ondanks deze scopewijziging in twee fases gesplitst, met een doorkijk naar een derde fase. Voor de versnelde inzet van de bypass moeten wel een aantal aanvankelijk in fase 2 te bouwen kunstwerken in fase 1 worden gebouwd.

De fasen kenmerken zich na de scopewijzigingen als volgt:

1. Fase 1

Voor fase 1 (operationeel tussen begin 2017 t/m 2025) start de uitvoering in 2014. In 2017 is de bypass geschikt om te worden ingezet bij extreem hoge rivierafvoeren (>15.500 m³/s). In de uitvoering voor fase 1 vindt al het groot grondverzet plaats. Voorzien is in de aanleg van de totale inrichting en de bypassdijken (exclusief Drontermeerdijk), vervanging van de Nieuwendijk door een viaduct, nieuwe natuur, de toeristisch recreatieve voorzieningen (waaronder de vaargeul en recreatiesluis in de IJsseldijk), het inlaatwerk, een kering met twee keersluizen ten zuiden van het eiland Reeve en beschermingsmaatregelen bij de Roggebotsluis. Door de aanleg van de recreatiesluis kan de bypass in fase 1 als vaarroute voor recreatievaart worden gebruikt. Uitgangspunt is een robuust en flexibel ontwerp, dat ruimte biedt om in te spelen op toekomstige beleidsontwikkelingen en reeds op een veilige wijze een bijdrage levert aan de korte termijn Ruimte voor de Rivier taakstelling bij Zwolle.

Voor de versnelde inzet van de bypass moeten de aanvankelijk voor fase 2 te bouwen inlaat en een kering ten zuiden van het eiland Reeve al in fase 1 worden gebouwd. Gebruik makend van het huidige Roggebotcomplex kan in fase 1 maximaal circa 220 m³/s worden afgevoerd bij een maatgevende afvoer die samenvalt met een eenmaal per jaar stormsituatie of een verhoogd peil op Vossemeer door neerslag of IJsselaafvoer (NAP+0,6 m). De afvoer van circa 220 m³/s door de bypass veroorzaakt circa 12,8 cm waterstandsdaling bij Zwolle bij de maatgevende afvoer (16.655 m³/s). Bij een lagere waterstand dan NAP+0,6 m op het Vossemeer kan desgewenst een groter volume via de bypass worden afgevoerd, mits het waterpeil bij Roggebotsluis niet het peil van NAP+1,7 m overschrijdt.

De bypass moet in fase 1 pas als uiterste maatregel worden ingezet (kans 1/1100 per jaar¹). Voor de afvoer via de huidige Roggebotsluis en de spuikoker in de Roggebotkering worden beschermende voorzieningen aangebracht. Ook zijn voorzieningen nodig om de waterkerende functie te borgen, nadat de sluis is gebruikt om te spuien.

¹ Zie paragraaf 3.4.7 van de Systeemanalyse

De inlaat is loodrecht op de stroomrichting van het in te laten water gepositioneerd. Dat vergt een verlegging van de IJsseldijk in westelijke richting. Bij een extreme afvoersituatie ($>15.500 \text{ m}^3/\text{s}$) op de IJssel worden twee dynamische schuiven in het inlaatwerk geopend, waarmee de hoeveelheid in te laten water kan worden geregeld. De bypass is in fase 1 nog afgesloten van het IJsselmeer door de kering in de Roggebotsluis, maar staat onder dagelijkse omstandigheden in open verbinding met het Drontermeer. Om bij de afvoer van IJsselwater of bij opstuwing bij storm uitwisseling tussen IJsselwater en het Drontermeer en afvoer via de Veluwerandmeren te blokkeren wordt een kering gebouwd ten zuiden van het eiland Reeve.² In deze kering zijn twee keersluizen opgenomen. Een keersluis ter plaatse van het noordelijk sluishoofd voor de in fase 2 te bouwen nieuwe Roggebotsluis en een keersluis ter plaatse van een in fase 2 te bouwen spuivoorziening. Door de aanleg van twee keersluizen in de Reevedam wordt de belemmering voor de scheepvaart op de route Drontermeer-Vossemeer zoveel mogelijk gereduceerd en een nautisch veilige oplossing nagestreefd.

2. Fase 2

Voor fase 2 (operationeel vanaf 2025 t/m 2065) is rekening gehouden met een opzet van het winterstreefpeil van het IJsselmeer met 23 cm in 2100. De bypass zal in fase 2 ingezet (kunnen) worden voor de afvoer van maximaal circa $730 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een 1/2000 jaar hoogwater op de IJssel. In fase 2 zal deze afvoer via de bypass minimaal 30 cm waterstandsdeling nabij Zwolle veroorzaken bij een maatgevende afvoer ($16.655 \text{ m}^3/\text{s}$). Voor fase 2 is de uitvoering in de periode 2021 t/m 2024 gepland. Bij de inlaat zijn een aantal kleinere aanpassingen nodig, waaronder de aanleg van een migratiegeul. De bypass staat in fase 2 in open verbinding met het Vossemeer door verwijdering van de kering bij Roggebot. Deze wordt vervangen door een circa 100 meter lang viaduct, met klepbrug en doorvaarhoogte van 7,0 meter. Nu is die hoogte circa 4,5 meter. Ook moet de Drontermeerdijk voor fase 2 over een lengte van 2.700 meter worden versterkt en zijn voorzieningen tegen hoogwater nodig in het recreatiecomplex Roggebot.

Door de open verbinding met het IJsselmeer ontstaat er een grotere peildynamiek met een 'hoog dynamische' natuur. De bypass is gescheiden van het Drontermeer door de in fase 1 gebouwde kering ten zuiden van het eiland Reeve. Hierin zijn de twee keersluizen vervangen door een schutsluis en spuikoker.

3. Fase 3

Naast de bovengenoemde fasen, is er vanwege ontwerpredenen ook nog een fase 3 gedefinieerd (operationeel vanaf 2065). Voor fase 3 is in de ontwerpen van de dijken (ruimtereservering) en de kunstwerken (fundering) rekening gehouden met een opzet van het winterpeil ten opzichte van nu met 1,0 meter. Voor de klimaatdijk in het woongebied wordt al direct een kruinhoogte gerealiseerd die geschikt is voor een toename van het winterpeil van het IJsselmeer na 2065 met 1,5 meter.

In bijlage 1 is een overzicht van de voor fase 1 en fase 2 te realiseren objecten opgenomen.

1.7 SNIP 3 procedure

De plannen voor de verkorte Zomerbedverlaging Beneden-IJssel en de versnelde inzet van de bypass zijn in de periode 2010-2012 parallel uitgewerkt tot het zogeheten SNIP 3 beslisniveau.

² Deze kering heeft als werktitel de Reevedam



Alle hiervoor opgeleverde producten dienen ter onderbouwing van het SNIP3 besluit, de bestemmingsplannen en de vergunningen. Voor de besluitvorming over fase 1 is het noodzakelijk, dat relevante informatie voor fase 2 ook is uitgewerkt. Ook het ontwerp van fase 2 moet vergunbaar zijn. De fase 1 te bouwen objecten zijn onomkeerbare maatregelen voor fase 2.

Om het verschil tussen fase 1 en fase 2 duidelijk naar voren te laten komen, is in de systeemanalyse onderscheid gemaakt in de beschrijving van de verschillende fases en de verschillende objecten per fase.

Het eindresultaat van de SNIP3 procedure voor fase 1 omvat de volgende hoofdproducten:

- projectontwerp (het inrichtingsplan en het technisch ontwerp tezamen. In het technisch ontwerp voor de objecten tot VO-niveau uitgewerkt);
- conceptvergunningen en projectplannen Waterwet;
- ontwerpbestemmingsplan, Besluit-MER en Passende Beoordeling;
- onderbouwende onderzoeken.

Deze hoofdproducten en onderliggende onderzoeken moeten voldoen aan de eisen die gesteld zijn door de Bevoegd Gezagen en de eisen van de Programma Directie Ruimte voor de rivier (het Handboek SNIP). De uitwerking van de meeste producten voor het SNIP 3 procedure is gegund aan een Combinatie van Royal Haskoning, Witteveen+Bos en Tauw. De ontwerpbestemmingsplannen worden door de gemeente Kampen voorbereid. De provincie Overijssel levert producten zoals een inkoopplan en de benodigde onroerend goed gegevens.

De partijen die de bestuursovereenkomst in 2010 hebben ondertekend zijn nadien intensief betrokken bij de ontwikkeling en/of toetsing van de voor SNIP 3 uitgewerkte producten.

1.8 Doel voorliggend SNIP3 product

De voorliggende rapportage Hydraulische effecten en Veiligheid is onderdeel van deelproduct 9: Hydraulica en Veiligheid.

Het deelproduct Hydraulica en Veiligheid kent de volgende hoofddoelstellingen:

- een rivierkundige beoordeling waarin wordt aangetoond dat de bypass in fase 2 voldoet aan de taakstelling van minimaal 30,0 cm waterstandsdeling (incl. beheerruimte) op een locatie tussen kmr 979 en kmr 980 op de IJssel. Deze taakstelling is de taakstelling voor enkel de bypass;
- een rivierkundig beoordeling van de bijdrage van de bypass in fase 1 aan de RvdR taakstelling van minimaal 41 cm waterstandsdeling bij Zwolle bij MHW. Deze waterstandsdeling moet worden bereikt door een combinatie van de maatregelen Zomerbedverlaging, Westenholte en de Bypass en mogelijke aanvullende maatregelen. Doelstelling is om te bepalen welke waterstandsverlaging de bypass reeds in fase 1 kan bijdragen aan deze taakstelling. De 41 cm is formeel geen taakstelling voor de bypass, dat is de 30 cm voor fase 2. De inzet van de bypass in fase 1 is gecategoriseerd als “uiterste maatregel met tijdelijke aard”, zie hiervoor de Systeemanalyse [12];

- het bepalen van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor de waterbouwkundige objecten, zoals de dijken en de kunstwerken, in de bypass en langs het Drontermeer en Vossemeer (binnen de projectgrenzen) voor fase 1 en fase 2;
- een controle van de robuustheid van de bypass op de lange termijn (na 2065). In deze robuustheidsanalyse worden o.a. de volgende vragen beantwoord:
 - Wat betekent een toenemende afvoer tot 18.000 m³/s voor de taakstelling en de afvoercapaciteit van de bypass? Oftewel bij welke afvoer voldoet de bypass en de zomerbedverlaging (ZBIJ) niet meer aan de taakstelling?
 - Wat is het hydraulische effect van de morfologische effecten op de IJssel van de zomerbedverlaging en van de bypass zelf op de taakstelling en de afvoercapaciteit van de bypass?
 - Wat is het hydraulische effect van de toekomstige IJsselmeerpeilstijging?
- Het aantonen dat na fase 1 en 2 aan alle waterveiligheidseisen m.b.t. waterkeren wordt voldaan. Dit aspect wordt in samenwerking met het deelproduct Technisch Ontwerp [14] en het deelproduct Systeemanalyse [12] uitgewerkt;
- het inzichtelijk maken van de hydraulische effecten (o.a. scheepvaart, hoogwaterveiligheid, inundatiefrequentie, hinder derden) op diverse aspecten uit het Rivierkundig Beoordelingskader en de Leidraden voor effecten op de IJssel, het Drontermeer, het Vossemeer en in de bypass voor zowel fase 1 en fase 2.

1.9 Leeswijzer voorliggend SNIP3 product

Het rapport Hydraulica en Veiligheid is opgedeeld in drie delen, namelijk deel A tot en met deel C. Deel A is het inleidende deel waarin de uitgangspunten, werkwijze en schematisaties van het inrichtingsplan en huidige situatie worden gepresenteerd. In deel B wordt ingegaan op het aspect veiligheid en worden de hydraulische ontwerprandvoorwaarden gegeven. De hydraulische effectbeoordeling is gepresenteerd in deel C. Het geheel wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen.

Deel A: Na de inleiding in het eerste hoofdstuk, is de huidige situatie beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden de hydraulische kenmerken van het inrichtingsplan gepresenteerd. In hoofdstuk 4 volgen de uitgangspunten en werkwijze. De dagelijkse waterstanddynamiek is geanalyseerd op basis van historische data in hoofdstuk 5.

Deel B: Hoofdstuk 6 beschrijft de maatgevende waterstanden en ontwerppeilen voor de dijken en kunstwerken langs de bypass voor fase 1 en fase 2. De maatgevende golfkarakteristieken worden gepresenteerd in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op maatgevende stroomsnelheden langs de dijken en kunstwerken.

Deel C: In dit deel worden de hydraulische effecten van de ingreep voor fase 1 en 2 beoordeeld. In hoofdstuk 9 worden de effecten op de waterstand bij MHW gegeven. De effecten op de inundatiefrequentie van het gebied worden gepresenteerd in hoofdstuk 10. De effecten op het stroombeeld in de bypass en bij de in- en uitstroomopeningen volgen in hoofdstuk 11 en 12. In hoofdstuk 13 volgt het effect op de afvoerverdeling bij de IJsselkop. De robuustheid van het systeem voor toekomstige ontwikkelingen is beschouwd in hoofdstuk 14.

In hoofdstuk 15 volgt een beschouwing van de onzekerheden in de analyse en de onderbouwing voor de keuze van een robuust ontwerp. In hoofdstuk 16 volgen de eindconclusies. Tenslotte is in hoofdstuk 17 een literatuurlijst toegevoegd.



Tauw



In de bijlagen zijn nog een groot aantal figuren opgenomen. In de hoofdstukken wordt naar deze figuren gerefereerd. Belangrijk is bijlage B met een overzicht van de modelsettings.



Tauw



Witteveen

Bos



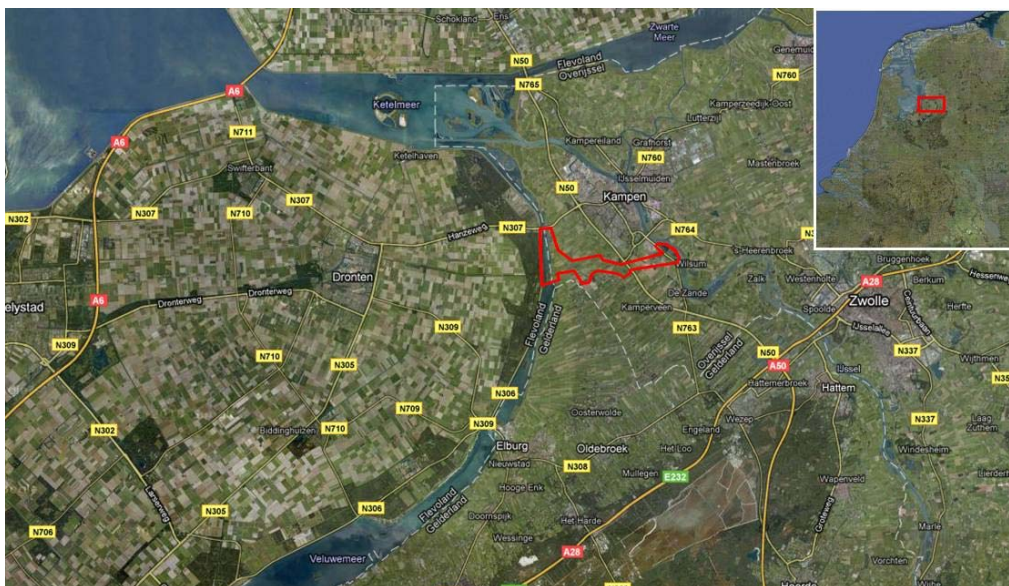
ROYAL HASKONING

2

HUIDIGE SITUATIE

Het projectgebied ligt ten zuiden van Kampen, ingesloten tussen de IJssel aan de oostelijke zijde en het Drontermeer aan de westelijke zijde. Het projectgebied ligt midden in de IJsseldelta.

Het projectgebied (figuur 2.1) bevindt zich binnen dijkkring 11 en raakt dijkkring 8. In paragraaf 3.5 wordt nader ingegaan op de normering van de huidige en nieuwe dijken.

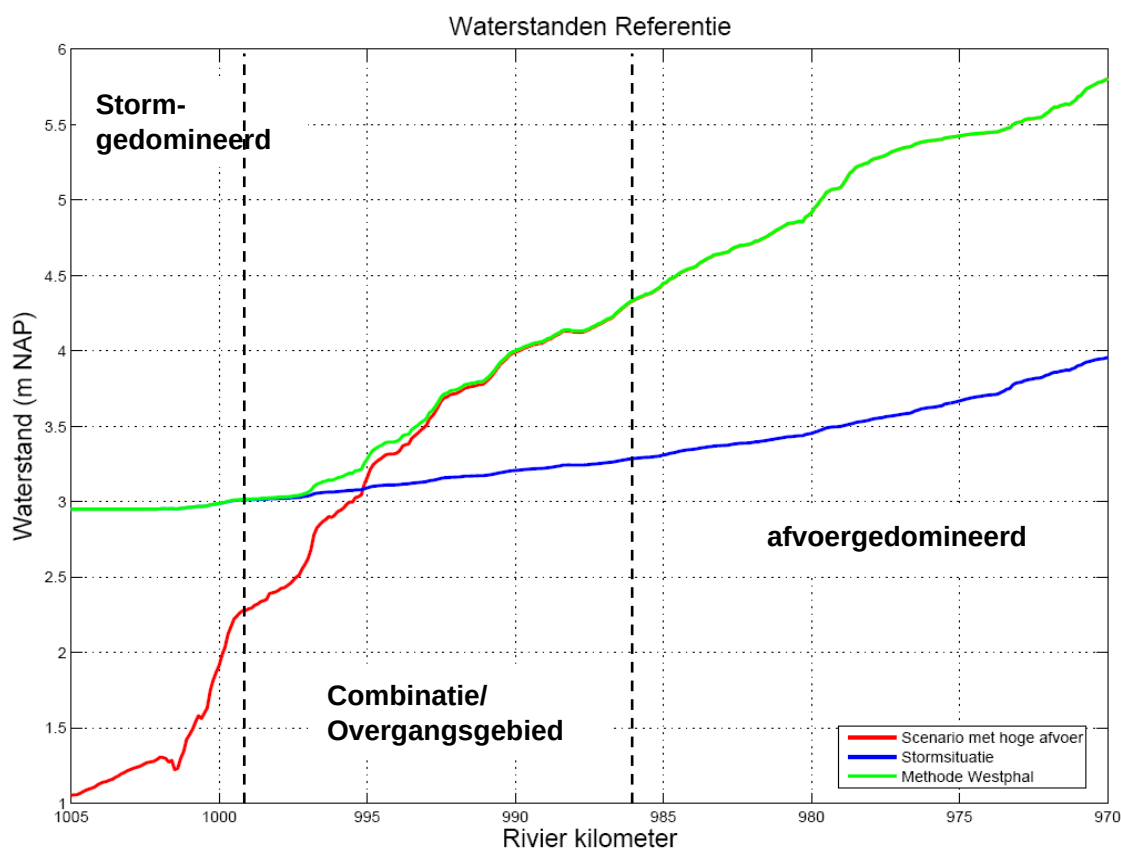


Figuur 2.1: Locatie projectgebied (bron: Witteveen+Bos, deelproduct 3: Waterkeringsplan)

Een hoogwater, wordt in de IJsseldelta bepaald door combinaties van effecten van een hoge IJsselafvoer, storm (wester- tot noordwester storm) en het actuele meerpeil. De maatgevende waterstand en de ontwerppeilen van de dijken en overige constructies worden dan ook bepaald op basis van een combinatie van verschillende effecten:

- In het deel van de IJssel benedenstrooms van Kampen (kmr 1006 t/m 999) wordt de maatgevende waterstand geheel bepaald door hoogwater ten gevolge van stormcondities op het IJsselmeer. Dit deel van de IJssel is daarmee stormgedomineerd;
- Vanaf kmr 986 wordt de maatgevende waterstand op de IJssel geheel bepaald door een hoge IJsselafoer, ofwel dit deel is afvoergedomineerd;
- In het gebied tussen kmr 999 en 986 is sprake van een overgangsgebied. Hier wordt de maatgevende waterstand bepaald op basis van een combinatie van storm en afvoer.

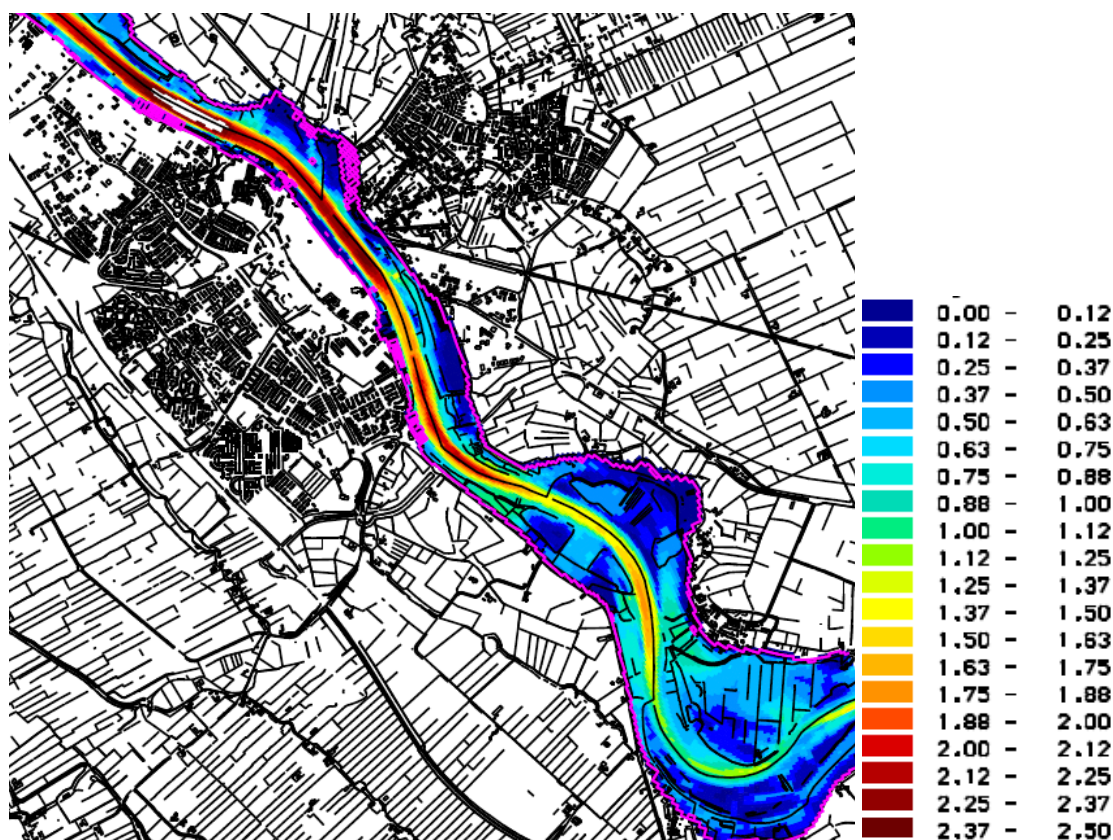
Conform de HR2006 systematiek wordt de maatgevende waterstand vereenvoudigd bepaald op basis van de combinatie van twee extremen. Deze vereenvoudigde methode wordt de methode Westhal genoemd (Rivierkundig beoordelingskader, bijlage 2, [1]). In figuur 2.2 tont de groene lijn de huidige maatgevende waterstanden voor dit deel van de IJssel, zoals bepaald volgens de methode Westphal. De blauwe lijn toont de waterstand op de IJssel bij een maatgevende storm. De rode lijn toont de waterstand op de IJssel bij een maatgevende rivierafvoer. Dergelijke grafieken zoals figuur 2.2 volgen in de loop van het rapport nog een aantal maal om het effect van de bypass te tonen.



Figuur 2.2: Maatgevende waterstanden op de IJssel in de huidige situatie. De groene lijn toont de gecombineerde maatgevende waterstand van een 1/2000 jaar IJsselaflvoer (de rode lijn) en 1/2000 jaar stormconditie op het IJsselmeer (de blauwe lijn)

Het toekomstige inlaatwerk van de bypass ligt op kmr 990,5 en ligt daarmee in het overgangsgebied van het storm- en afvoergedomineerde gebied. Echter door de verwachte peilstijging van het IJsselmeer, de geplande zomerbedverlaging van de IJssel en de aanleg van de bypass zal het stormgedomineerde gebied in bovenstroomse richting opschuiven. Hierdoor zal de opening van de bypass in de toekomst steeds meer in het stormgedomineerde gebied komen te liggen. In de huidige situatie (figuur 2.2) ligt het denkbeeldige snijpunt van de groen en blauwe lijn rond kmr 995. In de toekomst ligt dit denkbeeldige snijpunt, na uitvoering van de bypass en de zomerbedverlaging, rond kmr 990. Dit is afgebeeld in figuur 9.9, verderop in het rapport.

De stad Kampen en Zwolle vormen op dit moment een zogenaamde flessenhals in de Beneden-IJssel. Bij Kampen en Zwolle is de doorstroombreedte slechts ca. 400 tot 500 meter, terwijl op het traject tussen Kampen en Zwolle de doorstroombreedte bij hoogwater varieert tussen circa 700 m tot zelfs 1,5 km. Deze flessenhalzen zorgen voor opstuwing van de waterstand bij extreme afvoeren. In figuur 2.3 zijn de stroomsnelheden nabij Kampen bij een 1/2000 jaar IJsselaflvoer ($16.655 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith) weergegeven. De figuur toont dat de stroomsnelheden bij Kampen hoog zijn ($> 2 \text{ m/s}$). De bypass en de zomerbedverlaging moeten voor waterstandsverlaging zorgen zodat de hoogwaterveiligheid ter plaatse van Kampen en Zwolle toeneemt.



Figuur 2.3: Stroomsnelheden op de IJssel nabij Kampen bij een 1/2000 jaar afvoergolf

De huidige bodemligging van het projectgebied varieert van ca. NAP+1,0 tot 1,5 m aan de oostelijke zijde. Aan de oostelijke zijde wordt het bypass gebied begrensd door een oeverwal, welke is ontstaan door zandafzettingen bij hoge afvoeren. In het midden gedeelte, direct oostelijk en westelijk van de Knoop, is de bodemligging lager, ca. NAP+0 m tot NAP-0,5 m. Ten westen van de Nieuwedijkse brug is de maaiveldligging weer hoger, ca. NAP+0,5 tot NAP+1,0 m. Tegen het huidige Drontermeer is een oude afzetting aanwezig met een hoogte van ca. NAP+1,0 tot NAP+1,5 m. Deze afzetting is gevormd ten tijde van de Zuiderzee.

De westelijk gelegen uiterwaarden langs de IJssel tussen kmr 990 en 993 behoren ook tot het projectgebied. In dit gebied, de Onderdijkse Waard, zijn 2 voormalige zandwinputten aanwezig met een diepte van ca. NAP-6,0 m. Het omliggende maaiveld ligt op ca. NAP+1,5 a 2,0 m aan de bovenstroomse zijde en NAP+0 tot NAP+1,0 in het benedenstroomse- en midden gedeelte en langs de bandijk. De oeverwal langs de IJssel en tussen de twee plassen heeft een hoogteligging van NAP+1,0 tot NAP+1,5 m.

In het toekomstige traject van de bypass bestaat de huidige vegetatie voornamelijk uit akkerland. Ook de vegetatie in de Onderdijkse Waard bestaat voornamelijk uit akker- en grasland. De voormalige zandwinputten in de Onderdijkse Waard worden omgeven door bomenrijen en struikgewas.

In Bijlage A zijn de bodemhoogtes en vegetatiebeelden in het projectgebied voor de huidige situatie weergegeven, zoals deze is opgenomen in de Baseline modellen.



Tauw



3 INRICHTINGSPLAN

3.1 Ontwerpproces

De hydraulische beoordeling is uitgevoerd voor het inrichtingsplan van 29 mei 2012 [11].

Het inrichtingsplan is tot stand gekomen op basis van verschillende ontwerp sessies en workshops in 2010. In deze sessies is multidisciplinair naar de inrichting van het gebied gekeken. Vanuit de discipline hydraulica is ten eerste bewaakt dat de lange termijn taakstelling van 30 cm waterstands daling behaald wordt. De taakstelling is daarmee randvoorwaarde scheppend voor de inrichting van de bypass qua vegetatie beeld, bodemhoogte en dimensies van kunstwerken. Ten tweede is beoordeeld wat op basis van de dagelijkse waterstanden en peilschommelingen de verwachte inundatiefrequentie van bepaalde gebieds delen is. Deze inundatiefrequentie bepaalt sterk de verwachte vegetatie ontwikkeling en daarmee de hydraulische ruwheid. Als derde zijn de belangrijke hydraulische punten en gevoeligheden in het project gebied bepaald, dit om de werking van de bypass bij een hoge rivierafvoer te waarborgen voor nu, maar ook voor de toekomst. Als vierde is het inrichtingsplan ook geoptimaliseerd op morfologische effecten en mogelijke nadelige effecten voor de scheepvaart. Voor het ontwerpproces, de tussentijdse ontwerp wijzingen en de hydraulische en morfologische bevindingen wordt verwezen naar de notulen van deze workshops.

Tijdens enkele ontwerp sessies eind 2011 en begin 2012 is de oriëntatie van het inlaatwerk en het zuidelijke gedeelte van de IJsseldijk gewijzigd. Doel van deze wijziging is om de onttrekking van water vanuit de IJssel naar de bypass beter te stroomlijnen en ook de relatief nauwe IJssel passage ter plekke van kmr 990 te verruimen. De stroombaan is zo ontworpen dat deze meer gestroomlijnd aangetakt wordt op de IJssel. Hierdoor is een meer efficiënte aanstroming van het inlaatwerk gecreëerd, waardoor de dwarsstroming op de IJssel afneemt en het inlaatwerk minder breed kan worden uitgevoerd met behoud van het waterstands dalende effect bij een 1/2000 jaar afvoer. Tevens zorgt deze wijziging ervoor dat er in fase 1 een grotere waterstands daling gehaald kan worden bij MHW. Deze extra bijdrage van enkele centimeters waterstands daling door de gewijzigde oriëntatie is zeer bruikbaar in het streven naar een waterstands daling van 41 cm bij Zwolle op de korte termijn (RvdR taakstelling).

Voor de leesbaarheid van dit hoofdstuk is in bijlage J de objectenlijst weergegeven en in bijlage K een overzichtskaart met topografie. Verder wordt nadrukkelijk verwezen naar de systeemanalyse [12] en het inrichtingsplan [11].

3.2 Kenmerken Inrichtingsplan fase 1

De bypass is in fase 1 (operationeel tussen begin 2016 t/m 2025) in principe een afgesloten systeem dat in verbinding staat met het Drontermeer. Bij extreme rivierafvoeren ($> 15.500 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith) staat de bypass t.b.v. hoogwaterafvoer in open verbinding met de IJssel en het Ketelmeer/IJsselmeer. De inzet van de bypass als hoogwatergeul is bestempeld als een “uiterste maatregel van tijdelijke aard”. De doelstelling van RvdR is het behalen van 41 cm waterstands daling bij MHW bij Zwolle. De zomerbedverlaging en Westerholte nemen een belangrijk deel (ca. 2/3) van deze taakstelling voor hun rekening. De inzet van de bypass in fase 1 kan een bijdrage leveren voor dit laatste gedeelte.



Tot afvoeren van 15.500 m³/s te Lobith zorgen de zomerbedverlaging en Westerholte voor een voldoende verlaging van de waterstand. Bij piekafvoeren hoger dan 15.500 m³/s is deze bijdrage niet meer voldoende en is de inzet van de bypass benodigd om de waterstanden lager te houden dan de ontwerppeilen van de dijken langs de IJssel op traject Kampen-Zwolle.

De belangrijkste te realiseren objecten in fase 1 zijn:

- voor een veilige hoogwaterafvoer: het inlaatwerk in de IJsseldijk, de dijken langs de bypass, aanpassingen aan de schut- en spuisluis bij Roggebot en de Reevedam met twee keersluizen (om het Drontermeer af te scheiden van de bypass);
- en verder de recreatieschutsluis in de IJsseldijk, de recreatievaargeul en de Nieuwendijkse brug.

Belangrijke hydraulische kenmerken in fase 1 zijn:

- De bypass maakt onderdeel uit van het Drontermeer. Dit betekent dat de bypass de peildynamiek van de Randmeren (Drontermeer) zal hebben. In hoofdstuk 5 wordt in detail ingegaan op deze peildynamiek;
- De herinrichting van de Onderdijkse Waard is uitgevoerd:
 - de zandwinputten zijn deels verondiept en deels totaal opgevuld. Daar waar de putten totaal zijn opgevuld komt het maaiveld op NAP+0,8 m;
 - een permanent meestromende nevengeul tussen kmr 990,7 en 992,6 is aangelegd. Deze nevengeul heeft ten doel de KRW doelen te versterken. De nevengeul ligt ca. 40 m uit de oever van de IJssel en wordt begrensd door een oeverwal van ca. NAP+1,1 tot +1,3 m. Bovenstrooms is deze oeverwal verlaagd naar NAP+0,8 m om tijdens hoogwater zandafzettingen op de oeverwal en in de geul te realiseren. De breedte van de nevengeul is in hoofdlijnen ongeveer een derde van de breedte van de hoofdgeul, welke geldt als indicatie voor een stabiele nevengeul;
 - de recreatiegeul heeft een bodemligging van NAP-2,7 m;
 - bij de mond van de nevengeul zorgt een drempel voor regulering van de instroom. Deze regulering is noodzakelijk vanuit morfologisch oogpunt. Er is nu uitgegaan van een drempelhoogte van NAP+0,8 m met daarin een duiker welke een deel van de IJsselafoer zal onttrekken. Om de morfologische nadelige effecten te reduceren wordt met een knijpwerk of duiker deze onttrekking gereduceerd. In de rapportage morfologie [15] wordt op deze onttrekkingspercentages ingegaan;
 - de gehele Onderdijkse Waard wordt opnieuw ontwikkeld, inclusief het gebruik en beheer. Om in fase 1 een maximale waterstandsaling bij een maatgevende afvoer te behalen dient de Onderdijkse Waard in fase 1 intensief beheert te worden. In paragraaf 9.1 wordt hier nader op ingegaan.
- In fase 1 zal slechts een deel van de totale capaciteit van de inlaat worden gebruikt voor het inlaten van water naar de bypass. In fase 2 moet ongeveer 730 m³/s ingelaten kunnen worden, hierop is de totale effectieve breedte van 253 m gebaseerd. In fase 1 is de afvoer naar de bypass maximaal 220 m³/s (zie bijlage I en de systeemanalyse [12]). Dit betekent dat in fase 1 slechts 30% van de capaciteit van het uiteindelijke inlaatwerk ingezet hoeft te worden. Hiertoe kan (en moet) een groot gedeelte van het inlaatwerk in fase 1 nog gesloten blijven middels schotbalken.



Het inlaten van deze afvoer van 220 m³/s zal plaats vinden door middel van 2 regelbare schuiven. Deze schuiven zullen worden gepositioneerd in de 2 verlaagde segmenten van het inlaatwerk. In dit verlaagde gedeelte dient een bodemverdediging te worden aangebracht. De schuiven staan in normale toestand gesloten tot maatgevende hoogte (NAP+4,4 m). Met de schuiven is het mogelijk de afvoer richting de bypass controleerbaar te regelen. Mocht het noodzakelijk zijn dan moeten de schuiven te allen tijde gesloten kunnen worden tijdens een afvoersituatie. De schuiven worden geopend bij afvoergolven met een piekafvoer hoger dan 15.500 m³/s te Lobith. Voor de bediening van het inlaatwerk wordt in afstemming met alle waterbeheerders nog een bedieningsprotocol opgesteld (SNIP4). In de systeemanalyse is in meer detail ingegaan op de systeemwerking tijdens het spuien van 220 m³/s in fase 1;

- Bovenstrooms van het inlaatwerk naar de bypass wordt het huidige maaiveld verlaagd tot NAP+0,5 m (dit is ca. NAP+1,6 à +1,8 m in de huidige situatie), deze verlaging vormt de zogenaamde stroombaan voor afvoer naar de bypass. De stroombaan wordt minimaal 50 m uit de teen van de IJsseldijk gehouden. In deze zone van 50 m blijft de maaiveldhoogte onvergraven om mogelijke geotechnische effecten aan de dijk te voorkomen;
- Om verwarring bij de recreatievaart te voorkomen ten aanzien van de ligging van de recreatiegeul, wordt de kruising met de nevengeul goed weergegeven. De nevengeul is bovenstrooms en benedenstrooms begrensd met een door ruigte begroeide ondiepte. Ook het verschil met de migratiegeul moet goed inzichtelijk zijn voor de recreatievaart;
- De huidige oeverwal/strandwal (Categorie C-kering) tussen de rand van het Drontermeer en de bypass wordt afgegraven over het gedeelte van de vaargeul en het aangrenzende open water. Vanwege benodigde afvoercapaciteit 220 m³/s is een brede doorgang door deze kering noodzakelijk (zie ook het inrichtingsplan);
- In fase 1 is het Vossemeer afgesloten van het Drontermeer door de Reevedam. In de Reevedam komen twee keersluizen. De Reevedam en keersluizen zijn nodig om tijdens een afvoersituatie het IJsselwater buiten het Drontermeer te houden. Dit is vereist vanuit eisen voor hoogwaterveiligheid en waterkwaliteit. Er is gekozen voor twee keersluizen om de scheepvaart zo min mogelijk te hinderen. Bij een enkele keersluis is de hinder voor de scheepvaart niet acceptabel vanwege veiligheidsrisico's;
- De Roggebotkering blijft in fase 1 bestaan. Wel dient een aantal aanpassingen aan de bestaande constructies gerealiseerd te worden om een hoogwatergolf door de bypass af te kunnen voeren. Deze aanpassingen betreffen maatregelen aan de bodem- en oeverbescherming, bescherming van bedieningskelders, vergrendeling en bekleding van deuren en noodkeermiddelen. In het Technisch Ontwerp [14] wordt hier in detail een beschrijving van gegeven;
- Bij de aansluiting van de noordelijke bypassdijk op de IJsseldijk zijn een paviljoen en een parkeervoorziening geprojecteerd. Deze zijn in het inrichtingsplan gesitueerd op de oude IJsseldijk die hier naast de oprit van de Kamperstraatweg naar de nieuwe IJsseldijk ligt. Het inrichtingsplan geeft hier een principe-ordening weer en vergt nader ontwerp. Doordat het paviljoen zich op de oude IJsseldijk bevindt blijft de bebouwing buiten het buitendijkse gebied.

In bijlage A zijn de bodemhoogtes en vegetatiebeelden voor fase 1 van de bypass weergegeven, zoals deze zijn opgenomen in de Baseline en WAQUA modellen.

Het baseline model voor fase 1 heeft kenmerk 'ij_kamp_F1_b' en is opgebouwd uit diverse maatregelen. Een overzicht hiervan is gegeven in bijlage B.

3.3 Kenmerken Inrichtingsplan fase 2

In fase 2 (operationeel vanaf 2025 t/m 2065) zal de bypass volledig ingezet (kunnen) worden als hoogwater-afvoergeul en kunnen functioneren als lange termijn Ruimte voor de Rivier maatregel.

De bypass staat in fase 2 in open verbinding met de IJssel door de aanleg van de migratiegeul en migratievoorziening in de IJsseldijk en doordat het inlaatwerk permanent open staat. Het inlaatwerk staat standaard opgesteld met schotten tot een niveau van NAP+1,50 m. Hierdoor gaat de bypass bij afvoeren vanaf 8.500 m³/s (herhalingstijd 1/5 jaar) te Lobith meestromen. De bypass staat eveneens in open verbinding met het verlengde Vossemeer door verwijdering van de kering bij Roggebot. Door de directe verbinding met het IJsselmeer kent de bypass de waterstanden en peildynamiek van het IJsselmeergebied. De bypass doet dus slechts bij hoge rivierafvoeren (> 8.500 m³/s) dienst als hoogwatergeul. In de dagelijkse praktijk maakt de bypass onderdeel uit van het IJsselmeergebied. De bypass is een uitloper van het IJsselmeergebied.

De bypass en het verlengde Vossemeer zijn gescheiden van het Drontermeer door de in fase 1 reeds aangelegde Reevedam.

In fase 2 is één van de keersluizen in de Reevedam omgebouwd tot spuisluis en is de andere keersluis omgebouwd tot schutsluis.

Er is tevens een migratievoorziening voor vissen in de Reevedam opgenomen. Hiermee heeft de Reevedam met kunstwerken minimaal dezelfde functionaliteit en capaciteit als de huidige Roggebotkering met kunstwerken.

De bypass is vormgegeven als een tak in de delta van de IJssel, verbonden met het Drontermeer/Vossemeer. De bypass versmalt van west naar oost, van meer naar rivier. Het inrichtingsplan van de bypass omvat meer open water dan het VKA (ontwerp oktober 2009). Hydraulische berekeningen van het VKA (2009) hebben uitgewezen dat het VKA niet voldoende waterstandsdeling behaalt en niet voldoet aan de taakstelling. Er is daarom in het inrichtingsplan meer open water aanwezig, gericht op een groter doorstroomprofiel (ook op termijn) met een voldoende marge om een mate van verruiging in de overige delen mogelijk te maken. Het betreft vooral een vergroting van het wateroppervlak met een bodem op NAP-1,4 m, ofwel extra oppervlak aan zijgeulen en ondiepere delen van de hoofdgeul.

Belangrijke hydraulische kenmerken in fase 2 zijn:

- Om de taakstelling van 30 cm waterstandsdeling te bereiken, moet er meer dan 700 m³/s door de bypass gaan stromen bij maatgevende afvoercondities;
- De Onderdijkse Waard is heringericht zoals genoemd in fase 1;
- De migratiegeul stroomt mee. Het regelwerk in de migratiegeul (regelbare schuif in het inlaatwerk) reguleert de stroming door de geul zo dat er ca. 0,5% van de IJsselaafvoer, met een maximum van 3 m³/s, doorheen stroomt. Deze permanente onttrekking is als harde onttrekking en lozing in WAQUA gemodelleerd;



- De Knoop heeft een breedte van ca. 175 m bij de Hanzelijn brug en een breedte van ca. 190 m bij de N50 brug. Beide bruggen hebben 6 rijen met pijlers. De geulbreedte (incl. ondiepe oevers) onder de bruggen is ca. 75 tot 125 m;
- De nieuwe opening bij de voormalige Roggebotkering heeft een breedte van 100 m;
- De Nieuwendijkse brug is een geheel open constructie. De brug staat op pijlers. In de rivierkundige berekeningen is nog conservatief gerekend met een deels open en deels gesloten constructie. In het rekenmodel is de breedte van de open constructie is ca. 250 m, de taluds hebben een breedte van ca. 55 m aan de noordzijde en 100 m aan de zuidzijde;
- Voor de recreatievaart is een geul met een bodem op NAP-2,70 m nodig. De vaargeul van de recreatiegeul heeft een minimale breedte van 30 m en een maximale breedte van 60 m. Aan weerszijden van de vaargeul ligt een afgegraven nat gedeelte met een bodemhoogte van NAP-1,40 m. Dit oever gedeelte is maximaal 250 m breed en minimaal 75 m (onder de Knoop). De vaargeul breedte is zo geoptimaliseerd dat er zo min mogelijk kleiafdekking nodig is. Bij de aansluiting van de recreatiegeul op het Drontermeer of Verlengde Vossemeer, is een ruime aansluiting (trechtervormig) ontworpen;
- Tussen de sluis Reeve en het Drontermeer blijft de huidige vaargeulbreedte gehandhaafd, deze is circa 60 meter. Deze breedte voldoet ruim aan de gestelde eisen in de richtlijnen Vaarwegen 2011 [29];
- Het vegetatie- of natuurbeeld in de bypass is zeer gevarieerd. In het inrichtingsplan [11] is hier een toelichting op gegeven. In het westelijke gedeelte van de bypass is het vegetatiebeeld conform het interventieniveau. In het oostelijke gedeelte is er meer beheer noodzakelijk en mogelijk. De hogere delen van het gebied en de delen die door het uitzakken van het waterpeil in de loop van het jaar droogvallen zullen extensief worden begraasd met runderen en/of paarden.
De gebieden waar beheerders moeten kunnen komen (voor inspectie en onderhoud aan dijken of kunstwerken of natuurbehoud) wordt gemaaid;
- De recreatiegeul is geclassificeerd als 'nevengeul' in de ruwheids codering van Baseline. De gedeeltes op NAP-1,4 m zijn geclassificeerd als 'strang'. Hiermee heeft de recreatiegeul een hogere ruwheidswaarde dan de plassen. Deze ruwheids coderingen zijn overeengekomen met de PDR;
- Het inlaatwerk heeft een effectieve breedte van 253 m (bruto breedte). Een van de secties zal als veepassage worden gebruikt en heeft een hoogteligging van NAP+1,5 m. Twee secties liggen verlaagd op NAP-2,0 m vanwege de ligging van de migratiegeul. Er wordt gekozen om de schotten in de overige segmenten bij dagelijkse omstandigheden op NAP+1,5m te zetten;
- In fase 2 blijft het Vossemeer afgesloten van het Drontermeer door de Reevedam. De twee keersluizen uit fase 1 worden vervangen door een spui middel en een schutsluis. Tevens komt er een migratievoorziening en een ruimtereservering voor een gemaal in de Reevedam;
- Voor de hydraulische effectbeoordeling is uitgegaan van het ontwerp van de verkorte zomerbedverlaging Beneden-IJssel. In dit ontwerp wordt het zomerbed vergraven over een afstand van ca. 7 km. De start van de vergraving ligt ten zuiden van de Molenbrug. Om de waterstanddaling tijdens een representatieve gemiddelde zomerafvoer te beperken tot circa 5 cm, wordt het eerste deel van het traject minder diep vergraven dan het tweede deel. Op het eerste deeltraject (van km 993,2 tot km 996,3) wordt een gemiddelde vergraving van 1,8 m toegepast. Op het tweede deeltraject (van km 996,3 tot km 1000,4) wordt een gemiddelde vergraving van 2,3 m toegepast.

In Bijlage A zijn de bodemhoogtes en vegetatiebeelden voor fase 2 van de bypass weergegeven, zoals deze zijn opgenomen in de Baseline en WAQUA modellen. Het Baseline model voor fase 2 heeft kenmerk 'ij_kamp_F2_b' en is opgebouwd uit diverse maatregelen. Een overzicht hiervan is gegeven in bijlage B.

3.4 Meestromen bypass vanuit IJssel in fase 1

De inzet van de bypass in fase 1 is gecategoriseerd als “uiterste maatregel met tijdelijke aard” in het kader van Ruimte voor de Rivier. De doelstelling van RvdR is het behalen van 41 cm waterstandsdeling bij MHW bij Zwolle. Tot afvoeren van 15.500 m³/s te Lobith zorgen de zomerbedverlaging en Westerholte voor een voldoende verlaging van de waterstand. Bij piekafvoeren hoger dan 15.500 m³/s is deze bijdrage niet meer voldoende en is de inzet van de bypass benodigd om de waterstanden lager te houden dan de ontwerppeilen van de dijken langs de IJssel op traject Kampen-Zwolle.

Om IJsselwater te kunnen afvoeren door de bypass naar het Vossemeer moet de Roggebotsluis worden ingezet als spuisluis. Hierbij is vereist dat de waterstand bovenstrooms van de sluis (zuidzijde) niet hoger wordt dan een waterstand van NAP+1,70 m. Deze waterstand is gelijk aan dekzerkhoogte van het sluisplateau. Deze waterstand is maatgevend om twee redenen:

- om stromingen rondom en door de sluis controleerbaar te houden;
- maximaal toelaatbare stroomsnelheid door/in de sluis.

Een hogere waterstand dan NAP+1,7 m zorgt voor hydraulische belastingen op plaatsen die niet gewenst zijn en tot onacceptabele hoge stroomsnelheden. Dit kan dusdanige schade veroorzaken, dat de sluis en de brug langdurig in onbruik raken, hetgeen een potentieel veiligheidsrisico oplevert.

De Roggebotsluis heeft naast een spui- en scheepvaartfunctie namelijk ook een primaire kerende functie en maakt onderdeel uit van de primaire categorie-B kering. Bij een extreme noordwester storm moeten de keerdeuren een verhoogd Vossemeerpeil keren om de gebieden rondom de Veluwerandmeren te beschermen. Schade aan de sluis kan betekenen dat de primaire functies tijdelijk niet vervuld kunnen worden. Gegeven dit potentiële veiligheidsrisico is de inzet van de bypass in fase 1 gecategoriseerd als “uiterste maatregel met tijdelijke aard”. Deze situatie moet pas bij uiterste hoogwaterveiligheidsrisico ingezet worden en slechts een tijdelijke periode worden toegestaan (periode begin 2016 t/m 2025).

De huidige Roggebotsluis (met aanpassing aan de bodemverdediging, de instroming en het vastzetten van schutsluisdeuren) kan tot circa 195 m³/s afvoeren, gegeven de eis van een maximale waterstand van NAP+1,70 m bij de Roggebotsluis. Hierbij is rekening gehouden met een verhoogd peil op het Vossemeer van NAP+0,60 m (100 cm verhoogd t.o.v. winterstreefpeil). Met de inzet van de huidige spuiwerker kan ook nog circa 25 m³/s worden afgevoerd. Samen maakt dit 220 m³/s. Het peil van NAP+0,6 m op Vossemeer kan worden veroorzaakt door:

- een storm, deze zal gedurende enkele uren zorgen voor een verhoogd peil;
- een verhoogd Vossemeer peil door hoge afvoeren door de IJssel. Bij onvoldoende spui mogelijkheden in Afsluitdijk zal peil in IJsselmeer in periode van hoogwater langzaam stijgen.



Indien de waterstand op het Vossemeer lager staat dan NAP+0,6 m kan meer water worden afgevoerd, vanwege het grotere verval dat ontstaat.

De toevoer van water naar de bypass moet zodanig gereguleerd kunnen worden, dat de waterstand (inclusief windeffect) bij de Roggebotkering niet hoger wordt dan NAP+1,70 m. Het al dan niet overschrijden van de waterstand van NAP+1,70 m is afhankelijk van het verhang, dat zich zal opbouwen over de sluiskolk. Dit verhang is mede afhankelijk van de waterstand op het Vossemeer. Deze waterstand is niet te regelen en is sterk afhankelijk van windsnelheid, windrichting en waterpeil van het Ketelmeer. Bij een hoge afvoer op de IJssel zal het peil op het Ketelmeer/Vossemeer naar alle waarschijnlijkheid ook hoog zijn.

Om ondanks deze onzekere waterstand op het Vossemeer te zorgen, dat de waterstand bij de Roggebotsluis niet hoger wordt dan NAP+1,70 m, is een regelkraan nodig. Gezien het genoemde potentiële veiligheidsrisico is het noodzakelijk een sluitmiddel in het systeem te hebben, waarmee de afvoer naar de bypass kan worden gestopt. Anderzijds kan meer IJsselwater via de inlaat worden afgevoerd als de waterstand op het Vossemeer lager is dan NAP+0,6 m. Bij het volledig openzetten van de schuiven kan tot een maximum van 350m³/s worden afgevoerd. Bij een dergelijke afvoer is het verval over de sluis echter groter, waardoor deze 350 m³/s niet haalbaar is binnen de ontworpen bodembescherming. Een maximaal verval van 1,2 m over de sluis is mogelijk, gegeven de gedimensioneerde bodemverdediging.

Met losse schotten kan een dergelijke regelfunctie niet worden bereikt, daarom wordt gebruik gemaakt van 2 Stoney schuiven (verticaal te bewegen) in de twee migratie openingen.

De Stoney schuiven in de 2 segmenten van de migratievoorziening worden in fase 1 gerealiseerd en zullen in fase 2 worden gehandhaafd. In elk segment worden 2 schuiven aangebracht die onafhankelijk van elkaar kunnen worden geheven en neergelaten. Hierdoor ontstaan een systeem van nauwkeurige debietregeling door het aanpassen van de stand van de schuiven. Er is met dit systeem zowel een overlaat als onderlaat afvoer mogelijk.

Tijdens het scenario van de inzet van de bypass als hoogwatergeul in fase 1 moet afstemming zijn over het inlaatdebiet bij het inlaatwerk in de IJsseldijk (in welke mate moeten de twee schuiven open of dicht) en het spuidebiet bij Roggebot (afhankelijk van verhang en waterstand bij Roggebot). In de bypass dienen peilmeetopstellingen te worden aangebracht die de actuele waterstanden meten in de bypass (oost, midden, west), langs de Drontermeerdijk, bij de Reevedam en bij de Roggebotsluis. Via een communicatieverbinding moeten deze worden doorgegeven aan de bedieningscentrale van RWS-IJG op het Houtribsluizencomplex te Lelystad. Het is daarbij van belang dat de bediening van de kunstwerken in de Reevedam, IJsseldijk en Roggebotkering zodanig is dat het waterpeil van het Drontermeer inclusief het windeffect nooit hoger komt dan NAP +1,70 m.

In de systeemanalyse [12] is dit uitvoerig beschreven in hoofdstuk 3. Het wordt aanbevolen kennis te nemen van de gele blokken in dit hoofdstuk.

3.5 Meestromen bypass vanuit IJssel in fase 2

In fase 2 kan het inlaatwerk volledig ingezet worden als hoogwater-afvoergeul en in die hoedanigheid functioneren als lange termijn Ruimte voor de Rivier maatregel.



Deze lange termijn rivierkundige taakstelling van de bypass is het behalen van minimaal 30 cm waterstandsdeling op een locatie (in de as van de rivier) tussen km 979 en km 980 op de IJssel (nabij Zwolle).

Om de taakstelling van 30 cm waterstandsdeling bij Zwolle te behalen, is het noodzakelijk om meer dan 700 m³/s door het inlaatwerk naar de bypass te trekken bij een 1/2000 jaar IJsselaflow (zie paragraaf 9.3). Hiertoe is het inlaatwerk ontworpen met een drempelhoogte van NAP+0,5 m en een totale breedte van 253 m (bruto lengte). Met deze dimensies van het inlaatwerk kan de taakstelling worden bereikt.

De situatie waarbij de taakstelling behaald dient te worden is echter wel een fictieve situatie, aangezien er in de beoordeling van de taakstelling, conform afspraak met de PDR, geen rekening gehouden wordt met de zomerbedverlaging en de herinrichting van de Onderdijkse Waard. Met deze vereiste methode blijft de vergelijking gelijk aan de wijze waarop de taakstelling in het verleden is opgesteld.

In het voorontwerp van het inlaatwerk is gekozen voor een deels regelbare inlaat op basis van schotbalken en één segment met twee regelbare schuiven. De regelbare schuiven zorgen voor de regeling van de mate van onttrekking van IJsselwater naar de bypass door de migratievoorziening. Voor een verdere toelichting op de werking van het inlaatwerk en de momenten waarop de bypass open of gesloten moet zijn, wordt verwezen naar de Systeemanalyse [12] en het technisch ontwerp [14].

Het inlaatwerk is in fase 2 standaard ingesteld met schotten tot een niveau van NAP+1,5 m. De reden voor deze hoogte is bepaald op basis van redenen met betrekking tot ruimtelijke kwaliteit en frequentie van meestromen.

- Ruimtelijke kwaliteit: De hoogte van NAP+1,5 m sluit aan bij de omliggende terreinhoogte (de oude oeverwal heeft een dergelijke hoogte). Daarnaast blijft bij deze opstelling een opening zichtbaar tussen de inlaat en het wegdek, die de beleving van het inlaatwerk versterkt;
- Frequentie van meestromen. Bij deze standaard opstelling zal de bypass bij afvoeren vanaf circa 8.500 m³/s te Lobith gaan meestromen. Een dergelijke afvoer kent een overschrijdingsduur van eens per circa 5 jaar. Hiermee doet de bypass bij hoge rivierafvoeren dienst als hoogwatergeul. Dit frequenter meestromen helpt voor:
 - Maatschappelijke beleving: voor omwonenden en gebruikers helpt het periodiek meestromen voor de beleving en bewustwording van de functie van de bypass;
 - Natuur: voor natuurontwikkeling is licht stromend water (enkele dm/s) gewenst gedurende 10 dagen eens in de 5 jaar;
 - Testen: het kunnen testen van de inlaat is een wettelijke vereiste; de mogelijkheid om het systeem ook 'nat' te testen is geen vereiste, maar wel een goede aanvulling. Deze mogelijk ontstaat door de ligging van de migratiegeul op NAP-2,0 m over een breedte van 20 m ter plaatse van het inlaatwerk en de aanwezigheid van één sectie van het regelwerk met een regelbare klep. Hierdoor ontstaat er voldoende flexibiliteit om de bypass elke 5 jaar te testen of door te spoelen over een langere aaneengesloten tijdsduur.

Indien het gewenst is het IJsselwater niet of minder door de bypass te laten stromen, kan besloten worden om extra schotten in het inlaatwerk te hijsen en de inlaat verder dicht te zetten. Dit is echter niet de standaard procedure, maar de mogelijkheid is er mocht er zich een calamiteit voordoen.

Tabel 3.1 toont de waterstanden in de huidige en toekomstige situatie bij de inlaat bij verschillende afvoeren. De afvoer met een herhalingstijd van eens per 5 jaar, is een afvoer van ca. 8.500 m³/s. Bij deze afvoer is de waterstand in de toekomst ca. NAP+1,45 m.

Tabel 3.1: Waterstanden op de IJssel in de huidige en toekomstige situatie nabij het inlaatwerk bij verschillende afvoeren

Afvoer bij Lobith	Afvoer op IJsselkop	Huidige waterstand bij de inlaat	Waterstand bij de inlaat na uitvoering SNIP3 ZBIJ	gemiddelde overschrijdings-frequentie	Herhalingstijd
[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m+NAP]	[m+NAP] ³	[gem. aantal dagen/jaar]	[gem. aantal dagen/jaar]
1.250	218	-0,08	-0,11	312	312
1.500	249	-0,05	-0,10	264	264
2.000	287	-0,01	-0,08	166	166
2.500	319	0,04	-0,03	100	100
3.000	389	0,21	0,11	59	59
3.500	452	0,35	0,20	37	37
4.000	502	0,46	0,31	24	26
4.500	562	0,58	0,40	16	17
5.000	632	0,72	0,51	11	8
5.500	703	0,88	0,63	7	5
6.000	776	1,09	0,81	5	4
					[gem aantal jaar]
7.000	935	1,45	1,11	2	2 jaar
8.000	1.094	1,66	1,35	1	4 jaar
				[eens per gemiddeld x jaar]	
9.000	1.287	1,9	1,56	1/2 jaar	7 jaar
10.000	1.465	2,2	1,85	1/7 jaar	14 jaar
13.000	1.975	2,8	2,44	1/125 jaar	125 jaar
16.000	2.593	3,7	3,30	1/1250 jaar	1250 jaar
16.655	2.740	3,9	3,48	1/2000 jaar	2000 jaar

NB: In deze tabel is onderscheid gemaakt tussen de herhalingstijd en de gemiddelde overschrijdings-frequentie. Op basis van de dagelijkse afvoeren over een meetperiode van 52 jaar (1950 - 1980 en 1989 - 2009) zijn de overschrijdingsfrequenties vastgesteld. Zo blijkt een afvoer hoger dan 7.000 m³/s 107 maal voor te komen, ofwel een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld 2 dagen per jaar. Echter doordat dergelijke afvoeren over het algemeen binnen een meerdaagse afvoergolf voorkomen, is de herhalingstijd van een dergelijke afvoer slechts 2 jaar. In dit rapport wordt steeds gerefereerd naar de herhalingstijd van een betreffende afvoer.

De waterstanden in de kolom 'huidige waterstand bij de inlaat' zijn gebaseerd, tot een afvoer van 8.000 m³/s, op de betrekkinglijn 2001 van RWS. Bij hogere afvoeren zijn de waterstanden gebaseerd op de uitgevoerde WAQUA berekeningen bij 10.000, 16.000 en 16.655 m³/s. De waterstanden bij 9.000 en 13.000 m³/s zijn geïnterpoleerde waarden.

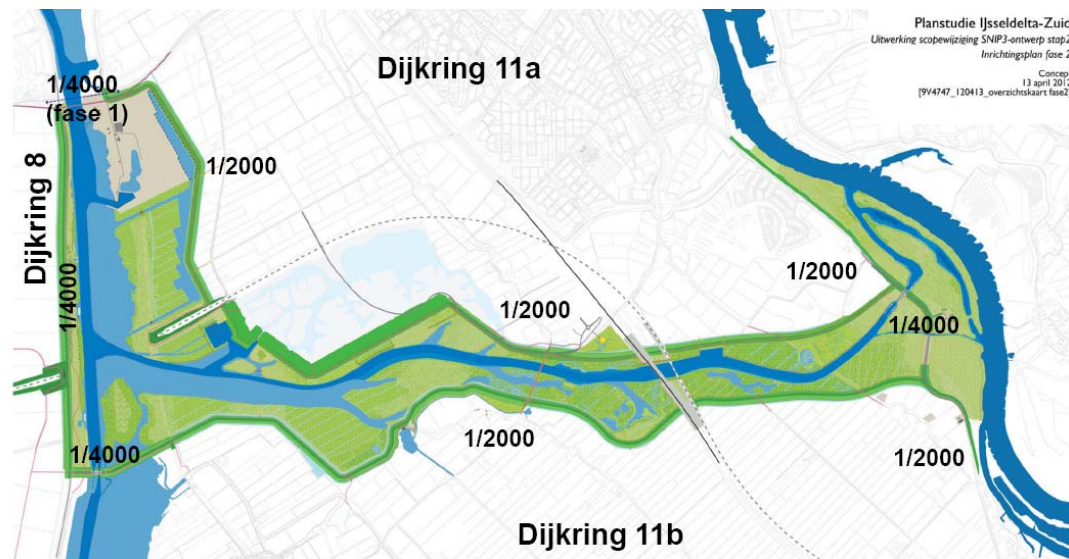
³ Waterstandseffect van RvdR-project ZBIJ is bepaald op basis van een aangeleverde tabel met waterstandseffecten, aangeleverd door projectteam ZBIJ, januari 2012.

3.6 Normering dijken

Er is uitgegaan van de onderstaande normen voor de (nieuwe) dijklichamen:

- Het Rijk moet nog een uitspraak doen over de normering voor de door de bypass opgesplitste dijkkring 11 en dus voor de normering van de dijken rondom de bypass (object 1B). Gesteld kan worden, en aangenomen is, dat de norm gelijk moet zijn aan de norm voor de IJsseldijken (dijkkring 11), namelijk 1/2000. Voor dijken van het Drontermeer (Flevopolder, dijkkring 8) geldt 1/4000, de geldende norm (maximale overschrijdingskans) voor de Flevopolder;
- IJsseldijkgedeelte van dijkkring 11b (object 1A7, nieuwe gedeelte IJsseldijk ten zuiden van het inlaatwerk) heeft een norm van 1/2000, gelijk aan de norm van de IJsseldijk. Ook hier dient het Rijk nog formeel nog een uitspraak te doen over de normering;
- De norm van de IJsseldijk (object 1A) verbindende waterkering (als primaire kering categorie b) is voorlopig vastgesteld op 1/4000 per jaar, gelijk aan de achterliggende primaire kering van dijkkring 8 en de overige verbindende keringen van de randmeren. Hierbij is er aangenomen dat het falen van de IJsseldijk invloed heeft op de faalkans van de Drontermeerdijken. De 1/4000 is een maximale norm. Een gewogen lagere norm zou eventueel ook mogelijk zijn. Uiteindelijk dient het rijk de status van deze waterkering vast te stellen;
- De norm van de waterkering Drontermeer-Vossemeer (Reevedam, object 1C) bij eiland Reeve, aan te leggen in fase 1 (als verbindende primaire kering van categorie b) bedraagt 1/4000;
- De norm van de Roggebotkering (object 1E1-1) in fase 1 is 1/4000 per jaar. Bovenstaande normen leiden tot een totaal overzicht aan normen zoals in figuur 5.1 weergegeven. In fase 3 moet rekening worden gehouden met een mogelijk strengere normering. Hoe deze zal uitpakken is niet bekend;
- De kunstwerken krijgen dezelfde normering als het dijkvak waarin het kunstwerk zit. De betrouwbaarheid van sluiten is normaliter een factor 10 hoger. Echter dit is niet overall direct van toepassing. Een toelichting hierop is gegeven in het Technisch Ontwerp [14].

Bovenstaande normen leiden tot een totaal overzicht aan normen zoals weergegeven in figuur 3.1. In fase 3 moet rekening worden gehouden met een strengere normering. Hoe deze zal uitpakken is nog niet bekend.



Figuur 3.1: Normering waterkeringen fase 1 en fase 2 geprojecteerd op het Inrichtingsplan (systeemanalyse [12])



Tauw



Bos



ROYAL HASKONING

4 WERKWIJZE EN UITGANGSPUNTEN

Dit hoofdstuk bevat de werkwijze (fasering) en de uitgangspunten voor de werkzaamheden binnen het onderdeel Hydraulica en Veiligheid. Deze uitgangspunten zijn eerder gepresenteerd in de notitie 'Hydraulische Randvoorwaarden en Uitgangspunten' van 11 juni 2010 [20]. Deze uitgangspunten zijn geactualiseerd na aanzien van de scopewijzigingen.

4.1 Uitgangspunten Hydraulica Fase 1

4.1.1 Toetsing PKB Ruimte voor de Rivier

Door de scopewijzigingen wordt reeds in fase 1 een bijdrage gevraagd van de bypass aan de korte termijn PKB RvdR taakstelling. Bij afvoeren hoger dan 15.500 m³/s te Lobith wordt de bypass ingezet als hoogwatergeul met een maximale onttrekking van 220 m³/s bij een 1/2000 jaar afvoer (of meer als de waterstand op het Vossemeer lager is dan NAP+0,6 m). De uitgangspunten die gelden voor de toetsing van de bijdrage van deze onttrekking aan de korte termijn PKB RvdR taakstelling zijn:

- de taakstelling uit de PKB RvdR is het behalen van minimaal 41,0 cm waterstanddaling op tenminste één locatie (in de as van de rivier) tussen kmr 979 en kmr 980 op de IJssel. Deze waterstandsdeling moet worden bereikt door een combinatie van de zomerbedverlaging, Westenholte en de bypass en mogelijke aanvullende maatregelen⁴;
- de bijdrage aan de taakstelling wordt bepaald bij 2 maatgevende condities volgens de methode Westphal. Voor de 2 condities gelden de voorwaarden (geval Q en U met T₀=2000) zoals vermeld in bijlage 2 van het RBK [1]. Deze zijn uitvoerig besproken met en akkoord bevonden door de PDR. Er geldt:
 - voor de afvoergedomineerde conditie Q een 1/2000 jaar afvoer op de IJssel van 2.556 m³/s op de IJsselkop (ca. 16.655 m³/s te Lobith). Stroomafwaarts komen hier nog de nodige laterale afvoeren bij, waardoor de afvoer bij Olst 2.740 m³/s is. De waterstand (incl. stormopzet) op het Ketelmeer is NAP+1,0 m (1/jaar stormconditie) bij een meerpeil van ca. NAP-0,35 m;
 - voor de stormgedomineerde conditie U een 1/1 jaar afvoer op de IJssel van 900 m³/s op de IJsselkop. Stroomafwaarts komen hier geen laterale afvoeren bij, waardoor de afvoer bij Olst ook 900 m³/s is. De waterstand (incl. stormopzet) op het Ketelmeer is NAP+2,95 m (1/2000 stormconditie).
- het referentiemodel is het Simona_Rijn_PKB_3_4 model. Dit is het model van de huidige situatie. De overige RvdR-maatregelen, dus ook de zomerbedverlaging, blijven buiten beschouwing. Binnen dit project wordt de individuele bijdrage van de bypass aan de taakstelling beoordeeld, de pakkettoets is aan de PDR/Deltares.

4.1.2 Hydraulische effectbeoordeling

De hydraulische effectbeoordeling voor fase 1 wordt uitgevoerd volgens het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) [1].

⁴ De 41 cm is formeel geen taakstelling voor de bypass, dat is de 30 cm voor fase 2. De 41 cm is de werктаakstelling voor enkel de zomerbedverlaging. Omdat enkel de zomerbedverlaging deze taakstelling niet haalt, is de taakstelling aangepast tot hetgeen geformuleerd in dit punt.

Voor fase 1 richt de effectbeoordeling voor de herinrichting van de Onderdijkse Waard en het meestromen van de bypass bij extreem hoge afvoeren zich op:

- de hydraulische aspecten uit het RBK [1]. De aspecten die kwantitatief zijn beoordeeld zijn aspect 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 en 2.3 uit tabel 4 van het RBK [1]. De aspecten die betrekking hebben op de afvoerverdeling (aspect 1.3, 1.4, 2.4 en 2.5) zijn niet modelmatig beoordeeld, maar op basis van een kwalitatieve beschouwing. Aspect 3.1 en 3.2 (morfologie en bodemligging) zijn uitgevoerd binnen het deelproduct Morfologie [15]. Tabel 4.1 toont voor fase 1 de beoordeelde condities en gebruikte modellen per beoordeeld rivierkundig aspect;
- het referentiemodel is het Simona_Rijn_PKB_3_4 model, dit is een model van de huidige situatie, ofwel zonder zomerbedverlaging. De effectbeoordeling wordt uitgevoerd op basis van het plan inclusief het SNIP3 ontwerp van de zomerbedverlaging. Dit is conform de afspraak met RWS-ON (begin maart 2012). Opgemerkt wordt dat door deze werkwijze het bepaalde effect altijd het gezamenlijke effect van ZBIJ en Bypass is.

Tabel 4.1: Overzicht te beoordelen aspecten en te maken berekeningen voor effectbeoordeling fase 1

Aspect	nr. aspect	Beoordelingseis	Conditie of randvoorwaarde	referentiemodel en methodiek
MHW stand binnen en buiten de as van de rivier (vaste afvoerverdeling)	1.1, 1.2	Taakstelling t.b.v. PDR $\Delta h > 41$ cm op kmr 979-980.	2 afvoer/wind condities voor 1/2000 jaar (vast).	Simona_Rijn_PKB_3_4, Methode Westphal; WAQUA (Simona 2007_01).
Afvoerverdeling bij 15.000 m ³ /s	1.3	Geen berekening nodig, het projectgebied bevindt zich te ver van splitsingspunt om significant effect te hebben. Op basis van waterstandsverschil wordt een inschatting gemaakt.		
Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	1.4, 2.4			
Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	2.1	In beeld brengen verandering waterstanden t.b.v. vegetatie en derden.	nvt	Geen berekening, Effectbeoordeling o.b.v. de Q-h relatie, de verhanglijnen en het bodemhoogtemodel.
Stroombeeld in de uiterwaard	2.2	Geen hinder of schade aan derden.	10.000 m ³ /s te Lobith (vast).	Simona_Rijn_PKB_3_4, WAQUA (Simona2007_01).
Stroombeeld in de hoofdgeul bij de aan- en aftakking van de nevengeul	2.3	Q < 50 m ³ /s: $\bar{U} < 0,3$ m/s; -- Q > 50 m ³ /s: $\bar{U} < 0,15$ m/s;	2.000 / 4.000 / 6.000 / 8.000 / 10.000 / 16.000 m ³ /s te Lobith (vast).	Simona_Rijn_PKB_3_4, WAQUA (Simona2007_01).
Afvoerverdeling bij lage afvoeren	2.5	Geen berekening nodig, projectgebied te ver van splitsingspunt om bij lage afvoeren effect te hebben.		

De effectbeoordeling van de aansluiting van de bypass op het Drontermeer richt zich op:

- Onderzocht wordt wat de effecten van fase 1 zijn op de stromingen naar het Drontermeer, op de optredende golfhoogtes en op de scheepvaart (vaargeul door Drontermeer). Hierbij wordt voornamelijk gekeken naar de effecten van de bypass voor de gebruiker van het Drontermeer. Hierbij wordt het onderzoekgebied (en modeldomein) begrensd tot de locatie waar de Reevedam komt. Alleen de effecten op het gedeelte van het Drontermeer noordelijk van deze dijk wordt beoordeeld;

- Peildynamiek en peilvariaties (hoogte en tijdsduur) die binnen de bypass vanuit het Drontermeer gedurende het jaar kunnen optreden. Beoordeeld zijn de minima en maxima en optredende fluctuaties per dag en per 10 minuten. De peildynamiek en peilvariaties zijn relevant voor het behalen van de mitigerende en compenserende natuurwaarden, maatregelen ter beperking van de eutrofiering, het opstellen van de beheervisie en voor de inrichting van gebruiksfuncties van het gebied. Op basis van historische data is inzichtelijk gemaakt welke peilen kunnen optreden in de bypass;
- De peildynamiek en peilvariaties hebben consequenties voor de stroomsnelheden in de bypass. Deze snelheden zijn echter dusdanig laag dat de stroomsnelheden bij een afvoersituatie maatgevend zijn voor het ontwerp van de oeverbescherming en dijkbekleding. Er is geen inschatting gemaakt van de stroomsnelheden bij dagelijkse fluctuaties.

4.1.3 Hydraulische ontwerpbelastingen

De optredende maatgevende belastingen voor de dijken en kunstwerken in en langs de bypass worden volledig bepaald door de condities voor fase 2. Voor fase 1 zijn daarmee geen maatgevende condities te verwachten voor de dijken en kunstwerken langs de bypass.

4.2 Uitgangspunten Hydraulica Fase 2

4.2.1 Toetsing PKB Ruimte voor de Rivier en Nationaal Waterplan

Voor fase 2 heeft de bypass een taakstelling in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier en het Nationaal Waterplan. Bij hoge afvoeren op de IJssel wordt de bypass ingezet als hoogwatergeul. De uitgangspunten die gelden voor de PKB RvdR taakstelling zijn:

- het behalen van minimaal 30,0 cm waterstanddaling op tenminste één locatie (in de as van de rivier) tussen kmr 979 en kmr 980 op de IJssel;
- voor de combinatie van zomerbedverlaging en bypass geldt een taakstelling van 41 cm waterstanddaling op tenminste één locatie (in de as van de rivier) tussen kmr 979 en kmr 980 op de IJssel. Deze taakstelling is geen officiële taakstelling voor de bypass (dat is punt 1), maar wel voor de combinatie van maatregelen;
- de taakstelling wordt bepaald bij 2 maatgevende condities volgens de methode Westphal. Voor de 2 condities gelden de voorwaarden (geval Q en U met $T_0=2000$) zoals vermeld in bijlage 2 van het RBK [1]. Deze zijn uitvoerig besproken met de PDR. Er geldt:
 - voor de afvoergedomineerde conditie Q een 1/2000 jaar afvoer op de IJssel van $2.556 \text{ m}^3/\text{s}$ op de IJsselkop (ca. $16.655 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith). Stroomafwaarts komen hier nog de nodige laterale afvoeren bij, waardoor de afvoer bij Olst $2.740 \text{ m}^3/\text{s}$ is. De waterstand (incl. stormopzet) op het Ketelmeer is NAP+1,0 m (1/jaar stormconditie) bij een meerpeil van ca. NAP-0,35 m;
 - voor de stormgedomineerde conditie U een 1/1 jaar afvoer op de IJssel van $900 \text{ m}^3/\text{s}$ op de IJsselkop. Stroomafwaarts komen hier geen laterale afvoeren bij, waardoor de afvoer bij Olst ook $900 \text{ m}^3/\text{s}$ is. De waterstand (incl. stormopzet) op het Ketelmeer is NAP+2,95 m (1/2000 stormconditie) bij een meerpeil van ca. NAP-0,35 m.
- het ontwerp van de bypass voor fase 2 moet te allen tijde (jaarrond, geen onderscheid in seizoenen) een waterstands daling van 30,0 cm bewerkstelligen. Het is daarom raadzaam uit te gaan van een beheerruimte, die is afgestemd met de rivierbeheerder en de eindbeheerder.

Het ontwerp moet ruimte laten voor vegetatiebeheer en voor het accommoderen van bodemveranderingen in de bypass, zonder dat direct de waterstanddaling terug te brengen onder de 30 cm;

- het referentiemodel is het Simona_Rijn_PKB_3_4 model. De overige RvdR-maatregelen, dus ook de zomerbedverlaging, blijven buiten beschouwing. Ook de herinrichting van de Onderdijkse Waard is niet beschouwd. De maaiveldverlaging bovenstrooms van het inlaatwerk is wel onderdeel van de bypass en van de beoordeling van de taakstelling. Dit klinkt vreemd, maar hiermee is de wijze van beoordeling 1 op 1 gelijk aan de wijze waarop eerder de taakstelling van 30 cm is bepaald. Hiermee blijft de controle over het al dan niet voldoen aan de taakstelling van 30 cm waterstandsdaling in lijn met eerdere berekeningen.

4.2.2 Hydraulische effectbeoordeling

Voor Fase 2 wordt de effectbeoordeling voor de IJssel als volgt uitgevoerd:

- Het gehele plan wordt beoordeeld volgens het RBK [1]. Het referentiemodel is het Simona_Rijn_PKB_3_4 model, dit is een model van de huidige situatie, ofwel zonder zomerbedverlaging. De effectbeoordeling wordt uitgevoerd op basis van het plan inclusief het SNIP3 ontwerp van de zomerbedverlaging. Dit is conform de afspraak met RWS-ON (begin maart 2012). Opgemerkt wordt dat door deze werkwijze het bepaalde effect altijd het gezamenlijke effect van ZBIJ en bypass is;
- De hydraulische aspecten uit het RBK [1]. De aspecten die kwantitatief zijn beoordeeld zijn aspect 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 en 2.3 uit tabel 4 van het RBK [1]. De aspecten die betrekking hebben op de afvoerverdeling (aspect 1.3, 1.4, 2.4 en 2.5) zijn niet modelmatig beoordeeld, maar op basis van een kwalitatieve beschouwing. Aspect 3.1 en 3.2 (morfologie en bodemligging) zijn uitgevoerd binnen het deelproduct Morfologie [15]. Tabel 4.2 toont voor fase 2 de beoordeelde condities en gebruikte modellen per beoordeeld rivierkundig aspect.

Tabel 4.2: Overzicht te beoordelen aspecten en te maken berekeningen voor effectbeoordeling fase 2

Aspect	nr. aspect	Beoordelingseis	Conditie en randvoorwaarde	referentiemodel en methodiek
MHW stand binnen en buiten de as van de rivier	1.1, 1.2	Taakstelling t.b.v. PDR $\Delta h > 30$ cm op kmr 979-980.	2 afvoer/wind condities voor 1/2000 jaar	Simona_Rijn_PKB_3_4, Methode Westphal; WAQUA (Simona 2007_01).
MHW stand binnen en buiten de as van de rivier	1.1, 1.2	Waterstandseffect hoogwaterveiligheid t.b.v. RWS-ON.	2 afvoer/wind condities voor 1/2000 jaar	Simona_Rijn_PKB_3_4, Methode Westphal; WAQUA (Simona 2007_01).
Afvoerverdeling bij 15.000 m ³ /s	1.3	Geen berekening nodig projectgebied te ver van splitsingspunt om significant effect te hebben. Op basis van waterstandsverschil wordt inschatting gemaakt.		
Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	1.4, 2.4			
Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	2.1	In beeld brengen verandering waterstanden t.b.v. vegetatie en derden.	nvt	Geen berekening, Effectbeoordeling o.b.v. de Q-h relatie, de verhang en bodem.
Stroombeeld in de uiterwaard	2.2	Geen hinder of schade aan derden.	10.000 m ³ /s te Lobith (vast).	Simona_Rijn_PKB_3_4 WAQUA (2007_01).
Stroombeeld in de hoofdgeul bij de aan-	2.3	$Q < 50$ m ³ /s; $\bar{U} < 0,3$ m/s;	2.000 / 4.000 / 6.000 / 8.000 /	Simona_Rijn_PKB_3_4 WAQUA (2007_01).

Aspect	nr. aspect	Beoordelingseis	Conditie en randvoorwaarde	referentiemodel en methodiek
MHW stand binnen en buiten de as van de rivier	1.1, 1.2	Taakstelling t.b.v. PDR $\Delta h > 30$ cm op kmr 979-980.	2 afvoer/wind condities voor 1/2000 jaar	Simona_Rijn_PKB_3_4, Methode Westphal; WAQUA (Simona 2007_01).
MHW stand binnen en buiten de as van de rivier	1.1, 1.2	Waterstandseffect hoogwaterveiligheid t.b.v. RWS-ON.	2 afvoer/wind condities voor 1/2000 jaar	Simona_Rijn_PKB_3_4, Methode Westphal; WAQUA (Simona 2007_01).
Afvoerverdeling bij 15.000 m ³ /s	1.3	Geen berekening nodig projectgebied te ver van splitsingspunt om significant effect te hebben. Op basis van waterstandsverschil wordt inschatting gemaakt.		
Afvoerverdeling bij normaal hoogwater	1.4, 2.4			
Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	2.1	In beeld brengen verandering waterstanden t.b.v. vegetatie en derden.	nvt	Geen berekening, Effectbeoordeling o.b.v. de Q-h relatie, de verhang en bodem.
Stroombeeld in de uiterwaard	2.2	Geen hinder of schade aan derden.	10.000 m ³ /s te Lobith (vast).	Simona_Rijn_PKB_3_4 WAQUA (2007_01).
en aftakking van de nevengeul		$Q > 50$ m ³ /s; $\bar{U} < 0,15$ m/s;	10.000 / 16.000 m ³ /s (vast).	
Afvoerverdeling bij lage afvoeren	2.5	Geen berekening nodig, projectgebied te ver van splitsingspunt om bij lage afvoeren effect te hebben.		

Voor fase 2 richt de effectbeoordeling op het Vossemeer zich op:

- de effecten op de stromingen in de bypass en in het Vossemeer, de optredende golfhoogtes en de effecten op de scheepvaart (vaargeul Vossemeer). Hierbij worden voornamelijk de effecten van de bypass beoordeeld voor de gebruiker (zoals beroeps- en recreatievaart) van het Vossemeer. De beoordeling van deze effecten gebeurt op basis van de gemaakte WAQUA en SWAN berekeningen;
- peildynamiek en peilvariaties (hoogte en tijdsduur) die binnen de bypass vanuit het Vossemeer gedurende het jaar kunnen optreden. Onder normale omstandigheden kunnen onder invloed van wind de waterstanden snel dalen en stijgen. Beoordeeld zijn de minima en maxima en optredende fluctuaties per dag en per 10 minuten. De peildynamiek en peilvariaties zijn relevant voor het behalen van de mitigerende en compenserende natuurwaarden, maatregelen ter beperking van de eutrofiering, het opstellen van de beheervisie en voor de inrichting van gebruiksfuncties van het gebied. Op basis van historische data is inzichtelijk gemaakt welke peilen kunnen optreden in de bypass;
- de peildynamiek en peilvariaties hebben consequenties voor de stroomsnelheden in de bypass. Deze snelheden zijn echter dusdanig laag dat de stroomsnelheden bij een afvoersituatie maatgevend zijn voor het ontwerp van de oeverbescherming en dijkbekleding. Er is geen inschatting gemaakt van de stroomsnelheden bij dagelijkse fluctuaties;
- de effecten worden beoordeeld volgens de richtlijnen uit het RBK [1], de Leidraad Zee- en Meerdijken [21], het Addendum Leidraad Zee- en Meerdijken [22] de Leidraad Rivieren [18], en de Richtlijn Vaarwegen 2011 [29].

4.2.3 Hydraulische ontwerpbelastingen

Door de open verbinding met het IJsselmeer en de functie als volledig meestromende hoogwatergeul, zijn de hydraulische belastingen die optreden voor fase 2 maatgevend voor het ontwerp van de dijklichamen en de kunstwerken.

De volgende maatgevende ontwerpbelastingen moeten gekwantificeerd worden:

- voor het dijkontwerp moeten de maatgevende stroomsnelheden langs de dijklichamen en kunstwerken worden bepaald;
- voor het dijkontwerp en het ontwerp van de kunstwerken moeten de maatgevende golfkarakteristieken (strijklengte, golfhoogte, -en golfperiode) en maatgevende waterstanden worden bepaald. De illustratiepunten worden zo gekozen dat voor elke dijksectie en elk kunstwerk de maatgevende conditie wordt bepaald;
- voor het ontwerp van oever- en bodembescherming moeten de maatgevende stroomsnelheden en waterdieptes in de geul worden bepaald;
- Peildynamiek en peilvariaties (hoogte en tijdsduur) die binnen de bypass vanuit het Vossemeer gedurende het jaar kunnen optreden moet inzichtelijk worden gemaakt.

Omdat er nog geen Hydra model van de bypass beschikbaar is, is op basis van de beschikbare uitvoerpunten uit Hydra-M en Hydra-VIJ een set van mogelijke maatgevende condities opgesteld voor het Vossemeer en de IJssel. Binnen deze set is onderscheid gemaakt in windgedomineerde condities (condities U) en afvoergedomineerde condities (condities Q). Enerzijds wordt de bypass belast door extreme afvoeren, anderzijds wordt de bypass belast door extreme noordwester stormcondities. Een combinatie van beide is natuurlijk ook een mogelijkheid. Om de maatgevende waterstanden te bepalen is uiteindelijk een set van 25 condities samengesteld. Deze set is weergegeven in tabel 4.3.

In deze set is uitgegaan van de veiligheidsnorm van de omringende dijken van de bypass en de kunstwerken, zoals gegeven in paragraaf 3.5. Elke conditie in de set heeft een kans van optreden die gelijk is aan deze veiligheidsnorm. Het heeft geen zin om condities te beoordelen met een lagere overschrijdingskans dan deze veiligheidsnorm. Een 1/2000 jaar afvoer in combinatie met een 1/2000 jaar storm wordt dus niet beoordeeld, dit zou te conservatief zijn.

Bij het beoordelen van de condities is het van belang om in acht te nemen dat er op een zijspoor van deze studie een probabilistische studie is uitgevoerd door HKV/Svasek [28]. Het doel van deze studie is het bepalen van de maatgevende belastingen (golven en waterstanden) voor alle mogelijke combinaties van condities.

Hieronder is per (set) conditie(s) weergegeven wat de relevantie van de conditie is:

- condities Westphal Q1 en U1, zijn de condities die moet worden gehanteerd vanwege het voorgeschreven gebruik van de methode Westphal voor het toetsen van het ontwerp aan de taakstelling. De conditie Q bevat een 1/2000 jaar afvoer op de IJssel in combinatie met een 1/1 jaar stormpeil bij de IJsselmonding. Dit stormpeil komt volgens het uitvoerpunt in Hydra-VIJ overeen met een ca. 1/3 jaar voorkomend stormpeil. Hiermee is deze conditie Q1 dus conservatief ($1/2000 \cdot 1/3 = 1/6000$ jaar). Ditzelfde geldt voor conditie U1, waar een 1/1 jaar afvoer op de IJssel wordt gecombineerd met een windopzet van NAP+2,95 bij de IJsselmonding, een dergelijke waterstand komt volgens het ontwerp punt in Hydra slechts ca. 1/4000 jaar voor. Ook conditie U1 van de methode Westphal is dus conservatief;

- condities Q1 en Q4 t/m Q9 betreffen een combinatie van een hoge afvoer met een maatgevende stormconditie op het IJsselmeer (windrichting 300°). Om de gecombineerde overschrijdingskans te handhaven op 1/2000 jaar, is er voor gekozen om de afvoer in 6 stappen te reduceren van 1/2000 naar 1/5 jaar. De windsnelheid loopt op van 1/1 jaar naar 1/400 jaar. Uit deze condities moet blijken of een combinatie van storm en hoge afvoer maatgevend is. Er is gekozen voor een:
 - 1/2000 jaar afvoer (Q1) omdat dit de ontwerpnorm is voor de dijken langs de bypass en langs het benedenstroomse gedeelte van de IJssel;
 - 1/1250 jaar afvoer (Q4) omdat dit elders langs de IJssel de veiligheidsnorm is;
 - 1/500 jaar afvoer (Q5) omdat er in eerdere studiefases van de bypass gesproken is over een instroomfrequentie van de bypass van 1/500 jaar;
 - 1/5 jaar afvoer (Q8), omdat dat de mogelijke actuele instroomfrequentie zal worden van de bypass;
 - 1/2000 jaar met wind (Q9) om ook een conditie met wind te hebben bij een 1/2000 jaar afvoer. Q1 heeft geen windveld over het domein, enkel op de rand;
 - 1/100 (Q6) en 1/25 jaar (Q7) afvoer, om een volledig spectrum te hebben.
- condities Q2 en Q3 zijn bedoeld om het effect van meerpeilstijging van het IJsselmeer mee te nemen. Ten opzichte van Q1 is een peilstijging meegenomen van 30 cm (Q2) en 1,0 m (Q3) op het huidige winter(streef)peil (NAP-0,35 m). Het effect van een peilstijging van 10 cm in 2065 wordt geïnterpoleerd uit conditie Q1 en Q2. Samen met de ontwerpcondities U1, U2 en U3, kan met behulp van de methode Westphal het MHW-peil worden berekend en kan de consequentie van de mogelijke meerpeilstijging worden bepaald;
- condities U2, U3 en U3b zijn bedoeld om het effect van meerpeilstijging van het IJsselmeer mee te nemen. Ten opzichte van U1 is het extra MHW-effect ten gevolge van de meerpeilstijging opgeteld bij het normale winterpeil. In U2 is een peilstijging van 30 cm meegenomen, in U3 een peilstijging van 1,0 m en in U3b van 1,5 m. Op basis van de studie 'toekomstvastheid van de hoogwatergeul in de IJsseldelta' [9] is bekend dat het MHW-effect ter plaatse van de IJsselmonding 17 cm is bij een meerpeilstijging van 30 cm. Bij een stijging van 1,0 m is het MHW-effect 55 cm en bij een stijging van 1,5 m is dit 84 cm. Het MHW-peil bij een peilstijging van het winterpeil van 10 cm in 2065 wordt geïnterpoleerd uit conditie U1 en U2;
- condities U4 t/m U7 bevatten de maatgevende windcondities op het IJsselmeer volgens de uitvoerpunten op het Vossemeer en Ketelmeer uit Hydra-M en Hydra-VIJ. Deze condities zijn gegeven voor een veiligheidsnorm van 1/2000 en 1/4000 jaar. De uitvoerpunten in Hydra-M en Hydra-VIJ tonen dat de maatgevende windrichting voor ontwerppeilen en golfhoogtes op het Ketelmeer en Vossemeer, windrichtingen van 270 en 300 graden zijn. Bij deze set condities wordt geen rekening gehouden met een peilstijging van het winterpeil;
- conditie U8 t/m U15 bevatten de maatgevende windcondities uit de officiële methode van de Leidraad Rivieren voor het ontwerp van rivierdijken [18]. Met deze condities kan beoordeeld worden welke golfcondities kunnen ontstaan op de dijken van de bypass bij een maatgevende afvoer. Omdat de dijken van de bypass verschillend georiënteerd zijn, is het noodzakelijk om alle windrichtingen (per 45 graden) te beoordelen. Hoewel de windsnelheden veel lager zijn dan de 1/2000 en 1/4000 jaar windsnelheden, kan het zijn dat deze windsnelheden uit de methode van de Leidraad Rivieren [18] toch voor bepaalde dijksecties de maatgevende golfhoogtes zullen genereren⁵.

⁵ Er is door de Waterdienst opgemerkt dat bovenstaande windsnelheden niet meer zinvol zijn. De gekozen windsnelheden voor conditie U8 t/m U15 zijn bepaald met een verouderde methode. Meer



Voor de condities Q1 t/m Q9 en U1 t/m U7 worden de waterstanden met WAQUA bepaald en de golfkarakteristieken met SWAN. In het SWAN model wordt gebruik gemaakt van de waterstanden en stroomsnelheden uit het WAQUA model. Voor condities (U8 t/m U15) worden de golfkarakteristieken bepaald met SWAN. De waterstanden volgen uit de WAQUA berekening voor conditie Q1.

Aandachtspunten voor de bepaling van de ontwerpbelastingen voor fase 2 zijn:

- het korte termijn peilbesluit. In paragraaf 5.3 wordt hier nader op ingegaan;
- voor het dijkontwerp voor 2065 wordt gerekend met een meerpeilstijging van 10 cm op het dagelijkse winterpeil. Dit is conform de aanbeveling van Leidraad Zee- en Meerdijken [21, 22] en volgt het middenklimaatsscenario (KNMI'06 G/G+) van het IPCC. Dit betekent geen toename van het winterpeil in 2050 en een stijging van 23 cm voor 2100;
- peildynamiek en peilvariaties (hoogte en tijdsduur) die binnen de bypass vanuit het Vossemeer gedurende het jaar kunnen optreden (zie paragraaf 4.2.2);
- als robuustheidtoeslag worden de golfhoogtes en –periodes verhoogd met 10%;
- wat betreft de diepte wordt gecontroleerd of de berekenende golfhoogtes wel kunnen optreden ($H_{s,max} < 0,67 \cdot \text{diepte}$). Er geldt echter dat wordt uitgegaan van een conservatieve benadering, dus geen aanwezige vegetatie en geen voorland.

correcte windsnelheden voor het ontwerp van rivierdijken liggen rond de 20 m/s. Dit heeft echter geen consequenties voor de bepaalde ontwerpbelastingen in deze studie. In deel B blijkt dat alle maatgevende belastingen worden gedomineerd door de extreme windsnelheden van meer dan 30 m/s (condities U1 t/m U7). De resultaten van conditie U8 t/m U15 kunnen terzijde worden geschoven, zonder dat de conclusies van dit onderzoek wijzigen.



Tabel 4.3: Conditie voor fase 2

Nr	Conditie	Afvoer IJsselkop [m ³ /s]	Over- schrijdings- kans afvoer [1/ x jaar]	Normaal winterpeil IJsselmeer [m+NAP]	Waterstand bij Ketelmeerdijk tijdens storm [m+NAP]	waterstand rand WAQUA tijdens storm [m+NAP]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [° tov N]	Overschrijdings- kans windconditie [1/ x jaar]	Model en doel [-]	Meerpeil- stijging meerpeil [m]
1	Westphal Q1	2556	2000	nvt	0.7	1	nvt	nvt	nvt	Bepalen waterstand, golfhoogte	0
2	Westphal Q2	2556	2000	nvt	1	1.3	nvt	nvt	nvt		0.3
3	Westphal Q3	2556	2000	nvt	1.7	2	nvt	nvt	nvt		1
4	Q4	2461	1250	-0.35	0.45	0.71	20.5	300	2		0
5	Q5	2136	500	-0.35	0.65	0.87	22	300	4		0
6	Q6	1850	100	-0.35	0.97	1.28	25	300	20		0
7	Q7	1512	25	-0.35	1.26	1.64	27.53	300	80		0
8	Q8	1160	5	-0.35	1.61	2.05	30.26	300	400		0
9	Q9	2556	2000	-0.35	Ca. 0.35	0.53	19.0	300	1		0
10	Westphal U1	900	1	nvt	nvt	2.95	nvt	nvt		Bepalen waterstand, golfhoogte	0
11	Westphal U2	900	1	-0.05	2.14 (+17 cm)	2.63 (+17 cm)	32.75	300	2000		0.3
12	Westphal U3	900	1	+0.65	2.52 (+55 cm)	3.01 (+55 cm)	32.75	300	2000		1.0
12b	Westphal U3b	900	1	+1.15	2.81 (+84 cm)	3.30 (+84 cm)	32.75	300	2000		1.5
13	U4	900	1	-0.35	1.97	2.46	36.38	270	2000		0
14	U5	900	1	-0.35	1.97	2.46	32.75	300	2000		0
15	U6	900	1	-0.35	2.12	2.64	37.6	270	4000		0
16	U7	900	1	-0.35	2.12	2.64	33.85	300	4000		0
17	U8	2556	2000	nvt	0.7	1	9	0	leidraad rivieren		0
18	U9	2556	2000	nvt	0.7	1	9	45	leidraad rivieren	Bepalen golfhoogtes o.b.v.	0
19	U10	2556	2000	nvt	0.7	1	9	90	leidraad rivieren		0
20	U11	2556	2000	nvt	0.7	1	9	135	leidraad rivieren	waterstand WAQUA Q1	0
21	U12	2556	2000	nvt	0.7	1	11	180	leidraad rivieren		0
22	U13	2556	2000	nvt	0.7	1	13	225	leidraad rivieren	Inzet van SWAN	0
23	U14	2556	2000	nvt	0.7	1	13	270	leidraad rivieren		0
24	U15	2556	2000	Nvt	0.7	1	11	315	leidraad rivieren		0

4.3 Uitgangspunten Hydraulica Fase 3: Lange termijn

Na het bepalen van de effecten en ontwerpbelastingen voor fase 1 en 2 wordt een doorkijk gemaakt naar de robuustheid van het ontwerp op de lange termijn (fase 3). Met robuustheid wordt de draagkracht van het systeem bedoeld bij voorziene toekomstige condities welke extremer zijn dan de condities voor fase 1 en 2.

De commissie Veerman heeft de overheid geadviseerd voor de lange termijn een bovengrens van 1,5 m meerpeilstijging aan te nemen. De Waterdienst adviseert waarschijnlijk een verhoging van maximaal 1,0 m van het winterpeil en een verhoging van maximaal 1,5 m van het zomerpeil. In de winter is minder zoetwaterberging noodzakelijk, dan in de zomer. Over deze zaken moet echter nog een definitief besluit genomen worden. Wel is er een kabinetsuitspraak geweest over dit onderwerp, 'de concessieverlening van IJburg'.

Voor het ontwerppeil van 2115 is gerekend met een peilstijging van 1,0 m op het dagelijkse winterpeil. Dit is consistent 'de concessieverlening van IJburg'. Door de scheefstand resulteert een peilverhoging van 1,0 m van het normale dagelijkse peil, in een verhoging van 55 cm van de MHW-stand op in de IJsselmonding. Een verhoging van 1,5 m resulteert in een verhoging van 84 cm [9].

Conform het addendum Leidraad Zee- en Meerdijken [22] wordt voor het jaar 2115 voor de ontwerpbelastingen uitgegaan van een meerpeilstijging van tenminste 30 cm (65/50*23 cm). De overige 70 cm dient als reserveringsruimte in het ontwerp van de waterkering of kunstwerk te worden meegenomen. In de genoemde scenario's in paragraaf 5.3 wordt hier nog nader op ingegaan.

De klimaatdijk heeft een ontwerphorizon die verder reikt dan 2115. Vanwege de robuustheid van deze klimaatdijk is er door het Waterschap Groot Salland en de Gemeente kampen op aangedrongen deze klimaatdijk te ontwerpen volgens de bovengrens van Veerman, ofwel een peilverhoging van 1,5 m.

Voor de doorkijk naar de robuustheid zijn de volgende zaken onderzocht:

- Het effect van de toekomstige morfologische veranderingen ten gevolge van de bypass, de herinrichting van de Onderdijkse Waard en de zomerbedverlaging. Met twee WAQUA berekeningen wordt bepaald wat het effect is van deze morfologische veranderingen na 40 jaar op de hydraulische werking van het systeem. Het effect wordt bepaald volgens de methode Westphal bij conditie Q1 en U1⁶;
- De effectiviteit van de bypass bij toenemende maatgevende afvoer van 16.000 m³/s naar 18.000 m³/s te Lobith bij een IJsselmeerpeilstijging van 0,23 m (jaar 2100). Er wordt bij elke afvoer gekeken wat de bereikte waterstandsdeling is op kmr 979-980 en of deze nog voldoet aan de geformuleerde taakstelling van 30 cm voor de bypass. Dit wordt bepaald op basis van de methode Westphal (zie tabel 4 en paragraaf 3.1). Voor de windconditie wordt één WAQUA berekening gemaakt bij een 1/1 jaar afvoer en een 1/2000 jaar storm op het IJsselmeer;

⁶ Deze berekeningen zijn nog niet uitgevoerd vanwege het ontbreken van de resultaten van de gecombineerde morfologische berekeningen van de zomerbedverlaging en de bypass. Op moment dat deze resultaten beschikbaar zijn, kunnen de genoemde hydraulische berekeningen uitgevoerd worden.

- Inzichtelijk wordt gemaakt wat de invloed is van een geopend of gesloten inlaatwerk op de maatgevende waterstanden in de IJssel tijdens stormcondities⁷. Met diverse WAQUA berekeningen bij verschillende stormcondities (U1 t/ U7, tabel 4.3) is berekend wat het MHW-effect is bij een geopend of gesloten inlaatwerk;
- Een ander aandachtspunt voor de robuustheid van het systeem is de invloed van het sluiten van de kering bij Ramspol. Als de Balgstuw is gesloten, kan ten gevolge van de afgenomen berging in het Zwarte Water, bij een stormgedomineerde situatie de waterstand op de IJssel toenemen met ca. 25 cm bij Kampen. In de modelberekeningen voor alle fases (fase 1 t/m 3) is het uitgangspunt dat de kering bij Ramspol is gesloten. Er ligt een harde rand in het model, waardoor de eventuele berging in het Zwarte water niet is meegenomen.

4.4 Modelinstrumentarium en Methodiek

Voor de uitvoering van de effectbeoordeling en bepalen van de hydraulische belastingen zijn een groot aantal berekeningen uitgevoerd. In bijlage B is een overzicht gegeven van de naamgeving van deze berekeningen. Onderstaand volgt een overzicht van de toegepaste modellen en methodieken in deze studie.

Baseline en WAQUA

Het 2-dimensionale stromingsmodel WAQUA en de GIS-applicatie Baseline worden gebruikt voor de hydraulische berekeningen, hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

- de geldende Baseline versie is Baseline 3.31 PKB batch. De schematisaties worden aangemaakt volgens de eisen en richtlijnen van RWS-ON (Vos, 2007);
- het vigerende referentie model is 'Simona_Rijn_PKB_3_4';
- de te gebruiken WAQUA versie is Simona 2007_01, patch 13. Deze versie is gelijk aan 2007_01 patch 12, met dit verschil dat patch 13 gereed is gemaakt voor Windows⁷. Dit heeft geen effecten op de gepresenteerde resultaten;
- het rekenrooster dat gebruikt zal worden voor de berekeningen is 'r40m_4_bypass.rgf'. Dit is een aangepaste versie van het standaard rekenrooster dat bij de Simona_Rijn_PKB_3_4 geleverd wordt;
- het domein van het model wordt ingekort door het rekenrooster te knippen ter plaatse van de IJsselkop. Hiervoor wordt de randen file (rrb.ijs) gebruikt die aangeleverd is door PDR. Dit inkorten is gedaan om de rekenduur te verminderen;
- de geldende codering voor de vegetatietypen is gegeven in de Excel file 'HR2001-PKB-HR2006 060921.xls en het bestand 'ruw.k416aug06b';
- de effectbeoordeling vindt plaats op basis van het Rivierkundig Beoordelingskader [1], de Leidraad Rivieren [18] en de Leidraad Zee- en Meerdijken [21] en bijbehorend addendum [22];
- in bijlage B is een overzicht gegeven van de uitgevoerde berekeningen, de uitgevoerde verificaties en de belangrijkste modelsettings.

⁷ In eerdere studies is naar dit effect gerefereerd met het begrip 'rondpompen'. Ons inziens geeft dit begrip geen goed beeld van het fenomeen. Met begrip 'rondpompen' kan o.i. dit effect onjuiste associaties oproepen. Het begrip 'rondpompen' wordt niet meer gebruikt in deze studie

SWAN

De golfkarakteristieken voor de hydraulische ontwerpbelastingen worden bepaald met behulp van het golfmodel SWAN, (meest recente versie bij start project, ondertussen nieuwere versie aanwezig) versie 40.72. Er is gekozen voor gebruik van SWAN, omdat de resultaten van BretView meer discussie zullen veroorzaken en SWAN nauwkeuriger is. De gebruikte modelsettings zijn te vinden in paragraaf 7.2.

Methode Westphal

De waterstanden in de monding van de IJssel worden bepaald door allerlei factoren: de afvoer van de IJssel en de Vecht, de waterstand op het IJsselmeer en het Ketelmeer, de windsnelheid en –richting en de sluitingsstrategie van de stormvloedkering bij Ramspol. Dat betekent dat een kritieke toestand op allerlei manieren kan worden bereikt. Om deze samenhang van verschillende factoren mee te nemen in de ontwerppeilen, dient een veelvoud van verschillende combinaties te worden beoordeeld.

Binnen deze studie is met een beperkt aantal condities het ontwerppeil bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van de methode Westphal (RBK, bijlage 2). Deze methode betreft een pragmatisch recept waarmee de ontwerpwaterstanden voor het overgangsgebied bepaald kunnen worden. De methode Westphal is in statistisch opzicht een sterk een sterk vereenvoudigde methode.

Hydra

Op dit moment is er geen Hydrapakket beschikbaar waarin de bypass geschematiseerd is. Er zijn daardoor in deze studie geen Hydra berekeningen uitgevoerd.

Om echter te bepalen welke condities de maatgevende condities zullen zijn, is wel gebruik gemaakt van de bestaande Hydra databases. Op basis van de beschikbare uitvoerpunten rondom de bypass in Hydra-VIJ, Hydra-M en Promovera is een inschatting gemaakt van de set van maatgevende wind-afvoercondities die gaan gelden voor de bypass.

Hydra-M is het rekenmodel voor het toetsen van de kerende hoogte van waterkeringen in het IJsselmeer, Markermeer, Ketelmeer, Vossemeer, Gooi-Eemmeer en IJburg. In deze studie is gebruik gemaakt van versie 1.4 uit 2005 van het toenmalige RIZA.

Hydra-VIJ is het toetsprogramma voor de hoogte van waterkeringen in de Vecht en IJsseldelta. In deze studie is gebruik gemaakt van versie 3.1.0 uit 2008.

Promovera is het rekenmodel voor het berekenen van kruinhoogtes in de Veluwe-randmeren. In deze studie is gebruik gemaakt van versie 1.2.1 uit 2004.

5 WATERSTANDDYNAMIEK

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de huidige waterstanddynamiek op het Drontermeer, het Vossemeer en Ketelmeer en op de IJssel nabij het toekomstige inlaatwerk (kmr 990,5). Dit overzicht is gebaseerd op historische waterstanddata (dagelijks en per 10 minuten) bij de meetpunten Roggebot Noord, Roggebot Zuid en Kampen voor de periode van 1995 tot 2009.

Inzicht in de dagelijkse waterstanden is noodzakelijk voor het ontwerp van de bypass, voor het opstellen van het natuurbeeld, het bepalen van het benodigde beheer- en onderhoud en voor het bepalen van de gebruikersfuncties zoals de recreatievaart en scheepvaart. Hiertoe zijn de toekomstige waterstanden in de bypass voor de periode 2015 tot 2045 inzichtelijk gemaakt. Hierbij zijn de veranderingen ten gevolge van de korte en lange termijn peilveranderingen en de peilveranderingen ten gevolge van de Ruimte voor de Rivier projecten meegenomen. Voor de korte termijn peilverandering is het Deltaprogramma 2012 [27] als uitgangspunt genomen.

5.2 Huidige streefpeilen

De huidige streefpeilen op het IJsselmeer en op de Randmeren zijn weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1: Huidige winter en zomer streefpeilen

	Randmeren (Drontermeer etc.)	IJsselmeer (incl. Ketelmeer en Vossemeer)
winterstreefpeil	NAP – 0,30 m	NAP – 0,40 m
zomerstreefpeil	NAP – 0,05 m	NAP – 0,20 m

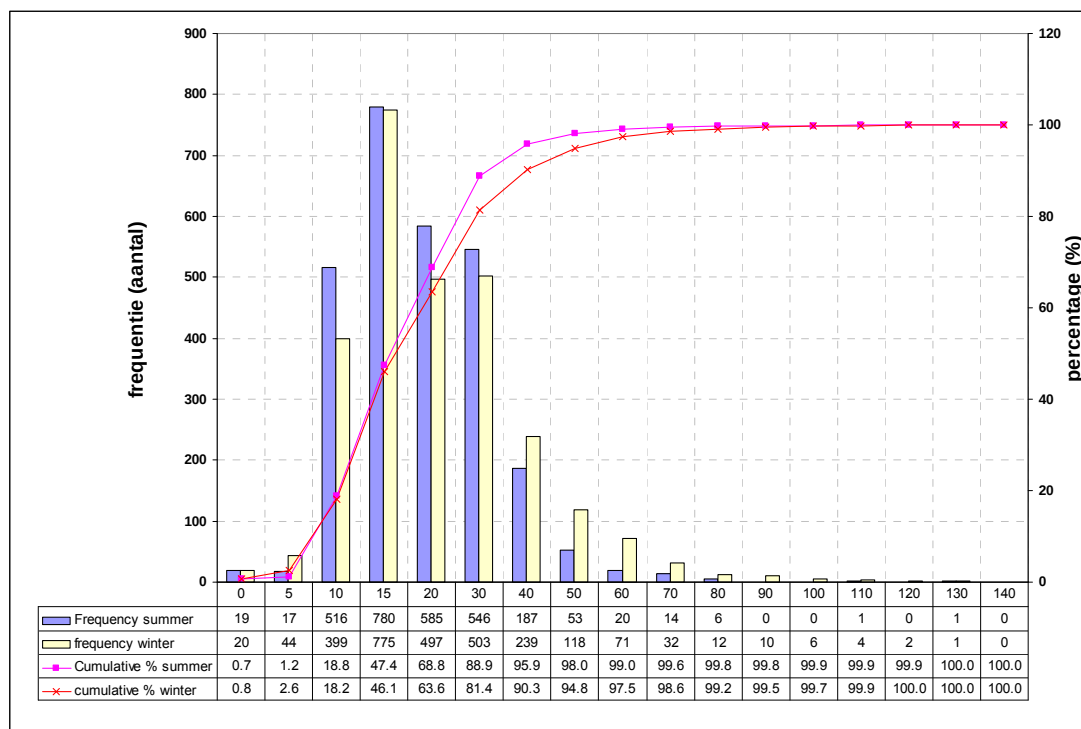
Bij de bovenstaande huidige streefpeilen wordt het volgende opgemerkt:

- Ten gevolge van de windsnelheid en windrichting treedt een bepaalde scheefstand op in de meren, hetgeen er voor zorgt dat de waterstand schommelt rondom het streefbeeld.
 - In het Vossemeer is deze schommeling tussen de minimale en maximale waterstand op een dag ca. 10 tot 30 cm in de winter en de zomer. In het winterseizoen komen wel vaker grotere schommelingen voor dan in de zomer, doordat de invloed van wind in de winterperiode groter is;
 - In het Drontermeer zijn deze schommelingen ca. 5 tot 20 cm in het winterseizoen en ca. 0 tot 10 cm in het zomerseizoen.

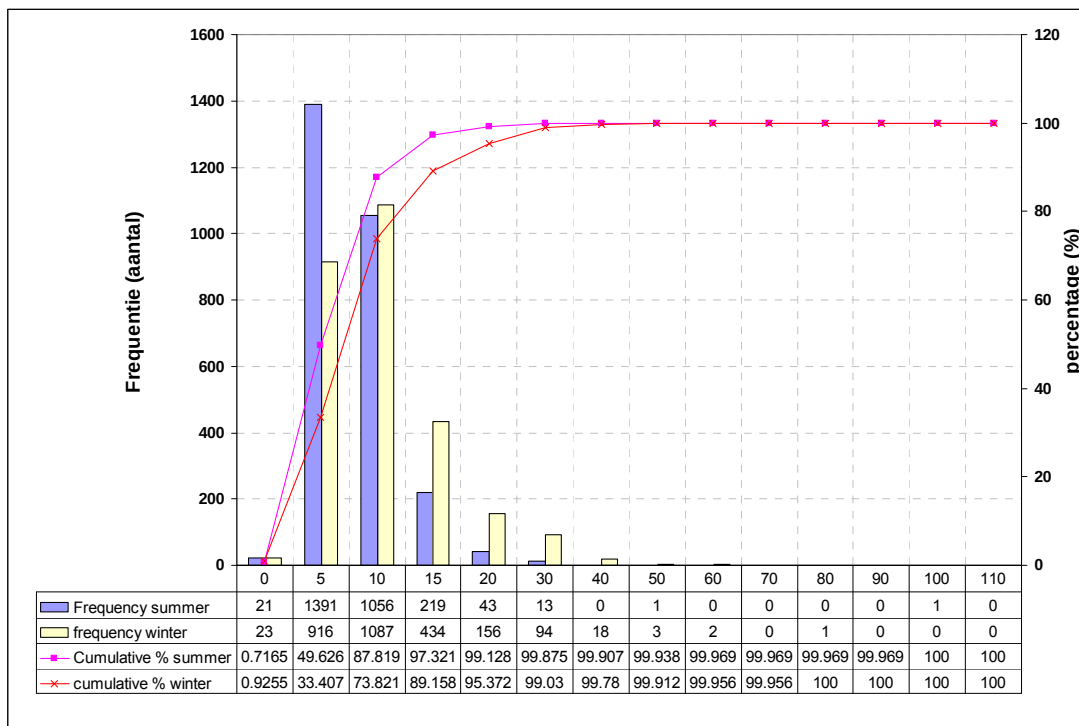
Figuur 5.1 en 5.2 tonen het verschil tussen de minimale en maximale waterstanden binnen één dag voor het gehele jaar. Deze minimale en maximale waterstand is de minimaal gemeten waterstand en de maximaal gemeten waterstand op een dag, gemeten per uur.

Bijlage F toont inzicht in de schommelingen die per uur kunnen plaatsvinden op basis van waterstanden die per 10 minuten worden gemeten;

- Het streefpeil wordt voornamelijk in de wintermaanden niet gehaald. Op het Drontermeer is het gemiddelde peil ca. NAP -0,20 m en op het Vossemeer ca. NAP -0,30 m. Dit verschil treedt op doordat het streefpeil eigenlijk wordt gehanteerd als spuipeil. Op moment dat de waterstand in de winter lager dan het streefpeil komt, wordt gestopt met spuien. Hierdoor ligt het gemiddelde peil altijd boven het streefpeil in de winter. In de zomer wordt gespuid als de waterstand hoger wordt dan het streefpeil, waardoor de gemiddelde waterstand lager ligt dan het streefpeil (voornamelijk in begin van de zomerperiode). Echter, in de zomer is het lastiger om de waterstand in de meren op het streefpeil te handhaven vanwege de grotere watervraag en de geringere afvoer van de IJssel. Hierdoor zakt gedurende de zomermaanden de waterstand onder het streefpeil. In oktober is de gemiddelde waterstand in het Drontermeer nog ca. NAP-0,10 m;
- Op het IJsselmeer en daarmee ook op het Vossemeer kunnen buistoten, bui-oscillaties, seiches en windgolven optreden. Hierdoor kan de waterstand zeer kortstondig (korter dan 10 minuten) wisselen ten gevolge van zware (onweers)buien, stormen of resonantie-verschijnselen. Deze kortstondige variaties in waterstand kunnen zorgen voor zeer heftige schommelingen in waterstand, welke hoger zijn dan de waterstanden die per 10 minuten worden gemeten. Op de Randmeren (Drontermeer en Veluwemeer) kunnen deze verschijnselen ook optreden, maar in veel mindere mate.



Figuur 5.1: Verschillen tussen de maximale en minimale gemeten waterstand binnen één dag (o.b.v. metingen per uur) in het Vossemeer bij Roggebot Noord. Af te lezen is dat een verschil tussen de 5 en 10 cm, 516 maal voorkomt in de zomer en 399 maal in de winter voor 5448 dagen (15 jaar, 1995-2009). In de winter komen iets grotere schommelingen voor dan in de zomer



Figuur 5.2: Verschillen tussen de maximale en minimale gemeten waterstand binnen één dag (o.b.v. metingen per uur) in het Drontermeer bij Roggebot Zuid. Af te lezen is dat een verschil tussen de 5 en 10 cm, 1056 maal voorkomt in de zomer en 1087 maal in de winter voor 5448 dagen (15 jaar, 1995-2009). In de winter komen grotere schommelingen voor dan in de zomer

5.3 Verloop dagelijkse waterstanden bypass (streefpeilen)

Voor fase 1 (2015-2025) geldt dat de bypass waterstanden heeft, welke gelijk zijn aan de dagelijkse waterstanden in de Randmeren. Door de open verbinding (afsluitbaar door middel van keerdeuren) in de Reevedam blijft de Bypass verbonden met het Drontermeer. Voor fase 2 (vanaf 2025) zijn de waterstanden gelijk aan de waterstanden op het IJsselmeer. Hoe de streefpeilen van de Randmeren en het IJsselmeer in de toekomst zullen zijn is onderwerp van discussie op dit moment. Onderstaand is de huidige stand van zaken aangegeven.

Korte termijn

In het Nationaal Waterplan [10] is het beleidsvoornemen gepresenteerd om vanaf 2013 het zomerpeil op het IJsselmeer en op de Randmeren met maximaal 30 cm te verhogen. Dit werd het korte termijn peilbesluit genoemd. De voornaamste reden voor dit besluit is het op orde houden van de zoetwater buffervoorraad in de zomer. In het Nationaal Waterplan was nog geen besluit genomen over de wijze waarop deze verhoging zou worden doorgevoerd.

In het recent verschenen Deltaprogramma 2012 [27] is geadviseerd op dit moment nog geen korte termijn peilbesluit te nemen. Uit de uitgevoerde probleemverkenning is namelijk gebleken dat er (1) nog voldoende zoetwater buffervoorraad aanwezig is (zeker tot het jaar 2050), dat (2) een peilverhoging aanzienlijke kosten oplevert en dat (3) het voorgestelde tijdschema te kort is voor een goede integratie.

Gegeven de conclusie uit het Deltaprogramma wordt een peilverandering van de streefpeilen op korte termijn niet verwacht. Uit de tekst zou zelfs geïnterpreteerd kunnen worden dat deze niet noodzakelijk is tot tenminste 2050. In de hydraulische analyse is op dit moment uitgegaan van het uitblijven van het korte termijn peilbesluit, dit is ook zo verwerkt in de tabellen, zoals tabel 5.2 en 3.1. Er wordt echter niet uitgesloten dat op korte termijn toch wordt besloten de peilen (geleidelijk) te wijzigen.

Binnen het project zijn de streefpeilen erg belangrijk voor het natuurbeeld, de maaiveldhoogtes in de bypass, de scheepvaart en het beheer- en onderhoudsplan. Hiertoe is er een gevoeligheidsanalyse in het natuurinrichtingsplan opgenomen m.b.t. een eventuele peilstijging van het zomerpeil op korte termijn. In deze gevoeligheidsanalyse is inzichtelijk gemaakt in welke mate de inrichting van de bypass gevoelig is voor een wijziging in zomerstreefpeil op de korte termijn. Hierin is geconcludeerd is dat een lichte verschuiving in de verwachte ruimtelijke spreiding (zoals weergegeven in het inrichtingsplan) van natuurtypen plaats zal vinden bij het uitblijven van een korte termijn peilwijziging. Deze verschuiving en verandering van het natuurbeeld is in hoofdlijnen als acceptabel beoordeeld. In de bypass kunnen enkele te grote negatieve effecten op de vereiste natuurwaarden en de vereiste hydraulische prestatie door plaatselijke beheermaatregelen worden opgevangen. Samenvattend kan gesteld worden dat de natuurontwikkeling in bypass en Onderdijkse Waard gevoelig is voor het al dan niet doorgaan van het korte termijn peilbesluit, maar dat de situatie beheersbaar is. Het inrichtingsplan blijft gebaseerd op het wel doorgaan van het korte termijn peilbesluit, ofwel het inrichtingsbeeld wordt niet aangepast ten opzichte van het beeld zoals gegeven in de eerdere SNIP3 uitlevering van eind augustus 2011.

Lange termijn

Ook voor de lange termijn is er nog veel onzekerheid over het te volgen scenario peilstijging IJsselmeer. Deze onzekerheid heeft te maken met de onzekerheid rondom de scenario's van zeespiegelstijging, de realisatie van extra spuisluizen en de aanpassing van de oude spuisluizen (ESA: Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk).

Voor de stijging van de streefpeilen op de lange termijn, zijn 4 scenario's aangehouden. Deze scenario's volgen uit de WB21 klimaatscenario's [23], het addendum Leidraad Zee- en Meerdijken [22] en het advies van de Commissie Veerman en het (verplichte) PDR scenario.

- Scenario 1: streefpeilen op basis van het minimum scenario van de WB21 zeespiegelstijging scenario's. Hierin wordt uitgegaan van een zeespiegel stijging van 20 cm in 2100. De streefpeilen (zomer- en winter-) blijven dan gelijk aan de huidige situatie in 2050 en 2100, dus totaal geen meerpeilstijging;
- Scenario 2: streefpeilen op basis van het midden scenario van de WB21 zeespiegelstijging scenario's. Hierin wordt uitgegaan van een zeespiegel stijging van 60 cm in 2100. De streefpeilen (zomer- en winter-) stijgen dan met 23 cm in 2100. Tot 2050 kan het streefpeil gehandhaafd blijven op het huidige niveau (excl. eventuele korte termijn zomerpeilstijging). Dit scenario 2 is gelijk aan het scenario uit het addendum Leidraad Zee- en Meerdijken [22]. De PDR heeft dit scenario ook als uitgangspunt verplicht gesteld voor de PDR RvdR projecten;
- Scenario 3: streefpeilen op basis van het maximum scenario van de WB21 zeespiegelstijging scenario's. Hierin wordt uitgegaan van een zeespiegel stijging van 1,1 m in 2100. De streefpeilen (zomer- en winter-) stijgen dan met 72 cm in 2100. In 2050 moet het streefpeil dan verhoogd worden met 12 cm (excl. eventuele korte termijn zomerpeilstijging);

- Scenario 4: streefpeilen volgens de bovengrens van de Commissie Veerman. Dit advies is gebaseerd op het waarborgen van de zoetwater buffervoorraad. Het overstijgt qua peilen het advies dat is gebaseerd is op enkel zeespiegelstijging. Het maximale scenario t.g.v. zeespiegelstijging (scenario 3) leidde tot ca. 70 cm peilstijging. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de peilstijging t.g.v. de zoetwatervraag nog enkele decimeters tot bijna een meter in de zomer is. Scenario 4 betekent een stijging van het streefpeil met 1,5 m. Later is door de Waterdienst geadviseerd deze zoekrichting te vertalen naar een stijging van het zomerstreefpeil van maximaal 1,5 m in 2100 en een stijging van het winterstreefpeil van maximaal 1,0 m in 2100. Deze peilopzet zou kunnen worden ingevoerd vanaf 2035 voor het winterpeil en na 2045 voor het zomerpeil.

Verder is aangenomen dat de Randmeren (o.a. Drontermeer), qua peilbeleid, worden losgekoppeld van het IJsselmeer. Dit betekent dat enkel de eventuele korte termijn peilstijging doorwerkt op het Drontermeer. Vanwege praktijk ervaringen is dit noodzakelijk, zodat er vanuit de Randmeren gelooft kan worden op het Vossemeer. Wat er na 2035 met het winterstreefpeil van het Drontermeer zal gebeuren, is nog onduidelijk. Inzicht hierin is op dit moment voor de meeste objecten (Reevedam met schutsluis, spuisluis en migratievoorziening) en functies van het Drontermeer in het SNIP3 besluit niet relevant. Dit is mogelijk wel relevant voor de ruimtereservering voor het gemaal in de Reevedam.

Tabel 5.2 toont de consequenties voor de toekomstige zomer- en winterpeilen voor de 4 scenario's voor de korte en lange termijn. De figuren in bijlage C tonen het waterstandverloop in de tijd van het streefpeil voor zowel winter- als zomerpeil voor de bypass tot 2100. Tot 2025 (fase 1) heeft de bypass de waterstand van de Randmeren en na 2025 (fase 2) van het IJsselmeer. In de grafieken is het waterstandverloop volgens de 4 scenario's weergegeven. Uitgegaan is van een continu stijgend streefpeil (gelijk aantal centimeters per jaar). Dit is echter nog onzeker, een beslissing hierover is pas over een aantal jaren te verwachten.

Tabel 5.2: Toekomstige zomer- en winterstreefpeilen (m+NAP) in het Drontermeer, Vossemeer en de Bypass o.b.v. de 4 scenario's. Voor de bypass is enkel scenario 2 weergegeven

	2015	2025	2035	2045	2100
IJsselmeer (Zomerstreefpeil)	-0,20	-0,20 (Deltapr.) -0,10 (NWP)	-0,20 (Deltapr.) 0,0 (NWP)	-0,20 (deltapr.) +0,10 (NWP)	-0,20 (scenario 1) 0,03 (scenario 2) 0,52 (scenario 3) 1,30 (scenario 4)
IJsselmeer (Winterstreefpeil)	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40 (scenario 1 t/m 3) -0,25 (scenario 4)	-0,40 (scenario 1) -0,17 (scenario 2) 0,32 (scenario 3) 0,60 (scenario 4)
Drontermeer (zomerstreefpeil)	-0,05	-0,05 (Deltapr.) 0,05 (NWP)	-0,05 (Deltapr.) 0,15 (NWP)	-0,05 (Deltapr.) 0,25 (NWP)	-0,05 of 0,25 (scenario 1 t/m 4)
Drontermeer (Winterstreefpeil)	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3 (scenario 1 t/m 4)

	2015	2025	2035	2045	2100
Bypass (Zomerstreefpeil)	-0,05	-0,20	-0,20	-0,20	0,03 (scenario 2)
Bypass (Winterstreefpeil)	-0,3	-0,40	-0,40	-0,40 (scenario 2)	-0,17 (scenario 2)

5.4 Maximale en minimale gemeten waterstanden

Uit de boxplots in bijlage D en E blijken ook de minimale en maximale gemeten waterstanden in de afgelopen 15 jaar. Onderscheid kan worden gemaakt tussen de daggemiddelde gemeten waterstanden (meetperiode 1995-2009) en de gemeten waterstanden per 10 minuten (meetperiode 2004-2009).

Bij het interpreteren van de data is het belangrijk om in ogenschouw te nemen dat de onderstaande waarden zijn gebaseerd op slechts 15 jaar metingen (1995-2009). De waarden zijn dus geen extreme waarden of representatief voor gebruik voor maatgevende extreme condities. Daarnaast kunnen op het IJsselmeer en Vossemeer buistoten, bui-oscillaties, seiches en windgolven optreden, waardoor de waterstand zeer kortstondig (korter dan 10 minuten) kan wisselen. De metingen geven geen inzicht in deze verschijnselen, maar kunnen wel leiden tot hogere of lagere maximale of minimale waterstanden dan degene die onderstaand zijn gegeven.

Tabel 5.3: Maximale en minimale gemeten waterstanden bij Roggebot Noord, Roggebot Zuid en op de IJssel ter hoogte van het toekomstige inlaatwerk, gemeten tussen 1995 en 2009 (en tussen 2004 en 2009 voor de 10-minuten waarden)

Locatie	Maximum (waterstand in m+NAP)		Minimum (waterstand in m+NAP)	
	daggemiddeld	10-minuten	daggemiddeld	uurgemiddeld
Roggebot Noord (Vossemeer)	0,70 (winter)	1,50 (winter)	-0,90 (winter)	-0,90 (winter)
	0,40 (zomer)	0,70 (zomer)	-0,40 (zomer)	-0,50 (zomer)
Roggebot Zuid (Drontermeer)	0,35 (winter)	0,55 (winter)	-0,40 (winter)	-0,50 (winter)
	0,20 (zomer)	0,30 (zomer)	-0,20 (zomer)	-0,25 (zomer)
Inlaatwerk (IJssel)	2,25 (winter)	2,30 (winter)	-0,70 (winter)	-0,95 (winter)
	1,10 (zomer)	1,20 (zomer)	-0,40 (zomer)	-0,40 (zomer)



Tauw



Bos



Deel B: Hydraulische belastingen



Tauw



Bos



6 ONTWERPPEILEN

6.1 Inleiding

In dit deel B van het rapport zijn de hydraulische belastingen voor de bypass beschreven. Het gaat om de maatgevende waterstanden, de ontwerppeilen, de golfhoogtes en maximale stroomsnelheden. Deze hydraulische belastingen zijn input voor het ontwerp van de dijklichamen, zoals beschreven in het Waterkeringsplan [13], en het ontwerp van de kunstwerken en oeverbescherming, zoals beschreven in het Technisch Ontwerp [14].

Dit hoofdstuk gaat in op de ontwerppeilen. Binnen het kader van deze studie zijn aan de hand van een beperkt aantal condities de ontwerppeilen bepaald. Het streven was om voor fase 2 gebruik te maken van een set van maximaal 20 condities. Dit is uiteindelijk een set van 25 condities geworden, zoals gepresenteerd in tabel 4.3. De 25 condities bevatten combinaties van storm- en afvoercondities met een normfrequentie van 1/2000 of 1/4000 jaar.

Bij het beoordelen van de condities is het van belang om in acht te nemen dat er op een zijspoor van deze studie een probabilistische studie is uitgevoerd door HKV/Svasek [28]. Het doel van deze studie is het bepalen van de maatgevende belastingen (golven en waterstanden) voor alle mogelijke combinaties van condities. De hieronder geformuleerde condities voor fase 1 en 2 hebben ten doel om op een snellere, betrouwbare wijze de maatgevende belastingen te bepalen. Uiteindelijk zijn de resultaten van deze studie door DHV (in opdracht van de provincie Overijssel) vergeleken met de resultaten van de probabilistische berekeningen. De notitie van DHV⁸ over deze vergelijking is als bijlage L opgenomen in deze rapportage. In de notitie zijn de ontwerppeilen en kruinhoogtes uit beide studies naast elkaar gelegd en is de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van de hydraulische belastingen beoordeeld. De belangrijkste conclusies uit deze notitie zijn:

- Uit beide studies volgt dat de bypass wind gedomineerd is;
- Voor beide studies zijn verschillende uitgangspunten t.a.v. bypass layout en de inlaatwerk gehanteerd. HKV heeft gewerkt met het VKA 2009, terwijl in deze studie is gewerkt met het inrichtingsplan [11];
- De verschillen in hoogte en type inlaatconstructie die voor beide berekeningen gehanteerd zijn hebben niet veel consequenties voor de berekende dijkhoogtes. Beide studies tonen dat de dijkhoogte voornamelijk afhankelijk is van windgedomineerde situaties;
- De in deze studie berekende kruinhoogtes voor de 2065 situatie zijn hoger dan de berekende waarden uit de probabilistische studie. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de waarden uit deze studie conservatief zijn. Dit is conform de verwachting: een deterministische benadering is over het algemeen conservatief in vergelijking met de probabilistische aanpak. Er dient wel opgemerkt te worden dat van enigszins verschillende dijkprofielen is uitgegaan in beide berekeningen.

⁸ DHV (Johan Henrotte, Marius Sokolewicz), Probabilistische verificatie kruinhoogte berekeningen IJsseldelta Zuid, notitie, 13 december 2010, LW-AF20100141

6.2 Modelopzet en uitgangspunten

De ontwerppeilen zijn bepaald met behulp van WAQUA. Hierbij is onderstaande aanpak gehanteerd. Let wel, dit gaat dus enkel over de aanpak van de berekeningen (tabel 4.3) voor de ontwerppeilen en niet over de aanpak van de berekeningen voor de effectbeoordeling (tabel 4.1 en 4.2).

De aanpak is als volgt:

1. Omdat er nog geen Hydra model van de bypass beschikbaar is, zijn op basis van de uitvoerpunten uit Hydra-M en Hydra-VIJ de maatgevende condities opgesteld voor het Vossemeer en de IJssel. Aangenomen is dat de condities die leiden tot de ontwerppeilen op deze bekende uitvoerpunten, ook leidend zijn voor de ontwerppeilen voor de bypass.
2. Er is onderscheid gemaakt in windgedomineerde condities (condities U) en afvoergedomineerde condities (condities Q). Uiteindelijk is er een set van 25 condities opgesteld, deze zijn weergegeven in tabel 4.3. In bijlage B is een overzicht gegeven van de settings van de uitgevoerde WAQUA berekeningen.
3. Voor elke conditie (tabel 4.2 en 4.4) zijn de volgende modelinstellingen in WAQUA opgelegd:
 - a. De rand van het WAQUA model ligt dicht bij het uitvoerpunt F095 Ketelmeerdijk uit Hydra-M. Voor elke conditie is met Hydra-M bepaald wat de waterstand is op dit punt. Deze waterstand is vervolgens als rand in het WAQUA model gehanteerd. Hierdoor bevat de modelrand in de IJsselmonding dus het waterstandseffect ten gevolge van een hogere windsnelheid;
 - b. De windsnelheid is als een uniforme, stationaire wind opgelegd in WAQUA. Hierbij is niet gerekend met een 9-urige voorflank, een 2-urige piek en een 9-urige achterflank (conform HR2006). In het model is vanaf het begin de piekwindsnelheid stationair opgelegd. Daarnaast is er geen beschutting (wind hiding factor) boven land of ten gevolge van vegetatie of bebouwing meegenomen. Het windveld is dus uniform over het hele modeldomein, met dezelfde richting en snelheid. De interne opzet t.g.v. windopzet in het systeem is dus meegenomen bij de berekeningen t.b.v. het bepalen van de ontwerppeilen. Voor de berekeningen met de methode Westphal is geen interne windopzet verrekend. De berekeningen voor de methode Westphal zijn enkel gebruikt voor het toetsen van de taakstelling en niet voor het bepalen van de ontwerppeilen;
 - c. De afvoer is als afvoerhoogte op de IJsselkop opgelegd, bijkomende lateralen zijn bijgevoegd volgens de tabel met de lateralen bij een 1/1250 jaar afvoer. Bij de stormgedomineerde condities zijn geen lateralen op de IJssel toegevoegd. Zie hiervoor ook bijlage B;
 - d. Voor fase 1 en 2 is de Reevedam als gesloten modelrand gehanteerd. In werkelijkheid zijn de keersluizen in de Reevedam geopend onder normale omstandigheden. De WAQUA simulaties voor fase 1 zijn gemaakt bij een extreme afvoer situatie, op dat moment zijn de keersluizen gesloten. Dit verklaard de gesloten modelrand bij Reeve. Er zijn geen modelsimulaties met WAQUA gemaakt onder normale omstandigheden.
Voor fase 1 is de Roggebotsluis en Roggebotkering gesloten, in fase 2 is de opening bij Roggebot geopend (100 m breed). In de berekeningen voor bepalen van waterstandseffect van 220 m³/s afvoer door de bypass, is de modelrand bij Roggebot gesloten gehouden. Middels lateralen is de afvoer van 220 m³/s toegevoegd en onttrokken.

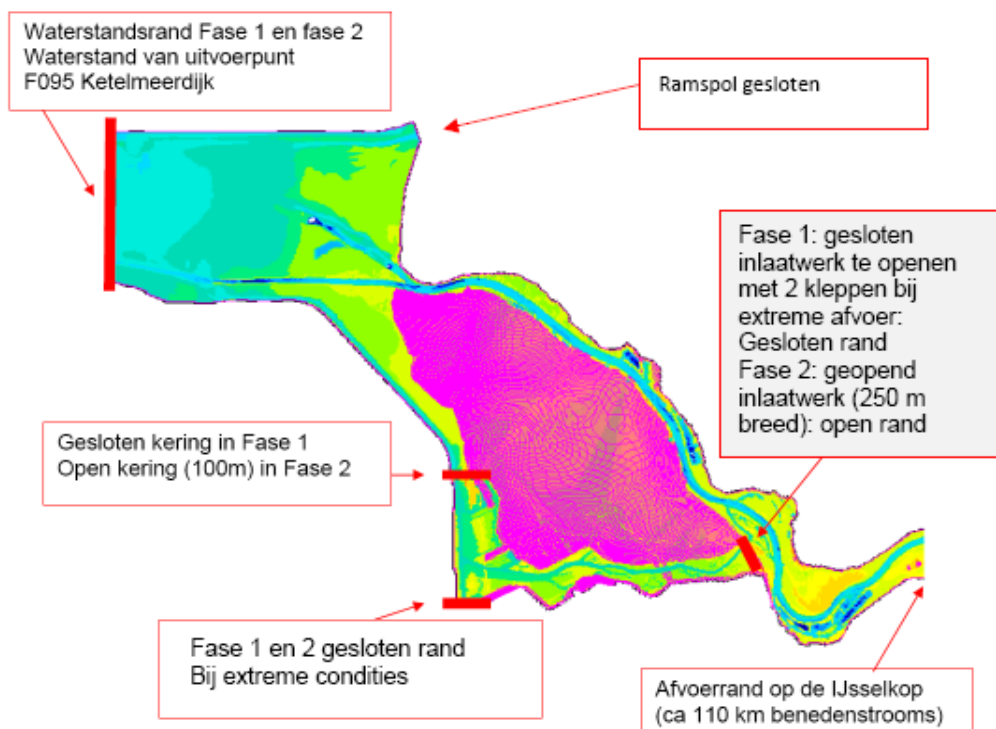
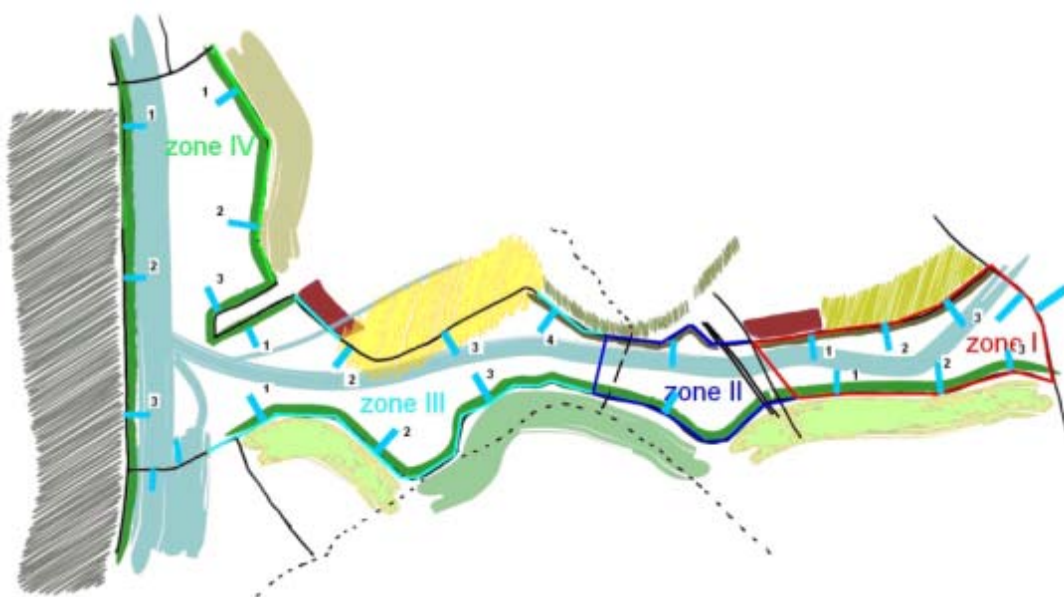
Bij alle afvoercondities (Q-condities) voor fase 2 is het inlaatwerk open gezet, voor de windcondities (U-condities) fase 2 is het inlaatwerk zowel geopend als gesloten meegenomen. Dit betekent dat alle windcondities dus tweemaal zijn berekend;

- e. Het model waarmee de ontwerppeilen zijn bepaald bevat het inrichtingsplan voor de bypass, de herinrichting van de Onderdijkse Waard en het SNIP2a ontwerp van de zomerbedverlaging IJssel. Voor de effectbeoordeling (zie deel C van dit rapport) zijn andere modellen en referentiesituaties gebruikt;
 - f. Voor de condities waarin de mogelijke toekomstige lange termijn meerpeilstijging is meegenomen is de open rand op het Ketelmeer verhoogd met de bij de peilstijging behorende stijging van de MHW-stand op deze rand. Bij een meerpeilstijging van 30 cm, stijgt de MHW-stand (U-condities) bij F095 met 17 cm, bij 1,0 m met 55 cm [9]. Bij de Q-conditie is de totale meerpeilstijging opgeteld op de rand;
 - g. Figuur 6.1 toont het modeldomein met randen voor fase 1 en fase 2.
4. De WAQUA berekeningen zijn uitgevoerd en de resultaten geanalyseerd. Op de gespecificeerde illustratiepunten (figuur 6.2) voor de dijken en de kunstwerken zijn per fase de maatgevende waterstand bepaald voor de situatie met een open en een gesloten inlaatwerk. In het Waterkeringsplan [13] zijn deze zelfde illustratiepunten gebruikt. De bypass is opgedeeld in 4 zones; Zone 1 ligt in het oosten en zone IV in het westen. Voor illustratiepunten IV West 1, IV West 2, IV West 3, Reevedam Noord en Zuid, IJsseldijk Oost en West geldt een ontwerpnorm van 1/4000 jaar. Voor de overige punten geldt een norm van 1/2000 jaar;
 5. De waterstanden worden vertaald naar ontwerppeilen voor het jaar 2065 en 2115. Het jaar 2065 wordt gebruikt voor het dijkontwerp met een ontwerpduur van 50 jaar. Het jaar 2115 geldt voor de dijken en kunstwerken die voor 100 jaar worden ontworpen. Voor dijkontwerpen uitgevoerd als grondlichaam geldt een ontwerpperiode van 50 jaar. Voor waterkerende kunstwerken (en kerende constructies welke onderdeel zijn van de dijk) geldt een ontwerpduur van 100 jaar. De klimaatdijk heeft een aparte status, deze wordt ontworpen voor meer dan 100 jaar;
 6. Volgens het te hanteren midden scenario (PKB scenario) voor klimaatverandering (scenario 2, paragraaf 5.3) geldt voor 2065 een meerpeilstijging van 10 cm op het winterpeil van het IJsselmeer. Voor 2115 geldt een meerpeilstijging van 30 cm van het winterpeil van het IJsselmeer en 70 cm reserveringsruimte, conform scenario 2 (paragraaf 5.3). Als doorkijk is ook scenario 4, peilstijging van 1,0 m van het winterpeil van het IJsselmeer, beoordeeld ⁹. Voor de klimaatdijk (2115+) geldt een meerpeilstijging van 1,5 m van het winterpeil;
 7. Om de berekende maatgevende waterstanden om te rekenen naar ontwerppeilen worden de volgende toeslagen verrekend, zie tabel 6.1. Voor 2115 wordt niet opnieuw de robuustheidstoeslag van 20 cm meegerekend. In de ruimtereservering voor 2115, hoeft niet opnieuw dezelfde toeslag te worden meegerekend als de toeslag die reeds voor 2065 is meegerekend.

⁹ Deze toeslag is niet direct hard bij het berekende ontwerppeil opgeteld, maar is in de modelberekeningen meegenomen om zo de juiste scheefstand mee te reken bij deze peilopzet. Een peilopzet van 30 cm zorgt bijvoorbeeld voor een toename van het ontwerppeil van 17 cm op de modelrand in het Ketelmeer. Een peilopzet van 1 meter zorgt voor een toename van het ontwerppeil van 55 cm op de modelrand in het Ketelmeer. 10 cm peilopzet zal door de scheefstand zorgen voor circa 6 cm op het ontwerppeil op de modelrand in het Ketelmeer (zie ook tabel 4.3).

Tabel 6.1: Verrekenende toeslagen voor ontwerppeilen voor 2065, 2115 en 2115+

Toeslagen	2065	2115	2115+
Bodemdaling	5 cm	10 cm	10 cm
Slingeringen (buistoten, seiches en oscillaties)	10 cm	10 cm	10 cm
Robuustheid	20 cm	-	20 cm
<i>totaal</i>	<i>35 cm</i>	<i>20 cm</i>	<i>40 cm</i>


Figuur 6.1: Modeldomein fase 1 en fase 2 met specificatie open randen

Figuur 6.2: Weergave illustratiepunten bepaling hydraulische belastingen voor dijkontwerp. Voor de illustratiepunten voor de kunstwerken is een locatie nabij de kunstwerken gekozen

6.3 Ontwerppeilen voor fase 1

De optredende maatgevende belastingen voor de dijken en kunstwerken in en langs de bypass worden volledig bepaald door de condities voor fase 2, als de inlaat volledig functioneert en de bypass door de opening bij Roggebot aangesloten is op het Vossemeer.

Vanwege de verlengde uitvoeringsduur van de dijken langs de bypass is het echter ook relevant om te beschouwen welke maximale belastingen kunnen optreden in fase 1.

Tevens geldt voor de Drontermeerdijk dat de dijkversterking t.b.v. HWBP worden uitgesteld naar fase 2. Ook voor deze dijk is het relevant wat reeds de maximale belastingen zijn in fase 1.

Als derde punt geldt de speciale eis bij de zuidzijde van de Roggebotkering. Tijdens de situatie van afvoer door de bypass en de Roggebotsluis mag de waterstand hier niet hoger worden dan maximaal NAP+1,70 m. Dit laatste ten behoeve van de veiligheid (standzekerheid van sluiskolk).

6.3.1 IJsseldijk

Het nieuwe gedeelte IJsseldijk is een primaire kering categorie b [13] met een norm van 1/4000 jaar. Het is een verbindende waterkering die het achterliggende dijkringgebied 8 en 11 beschermt. Voor de bepaling van de maatgevende waterstand in fase 1 wordt onderscheid gemaakt tussen de bypasszijde en de IJsselzijde van de IJsseldijk.

Bypasszijde

Voor fase 1 geldt dat de maatgevende waterstanden aan de bypasszijde van de IJsseldijk gegeven kunnen worden tijdens twee optredende scenario's:

- Scenario 1) het openen van het inlaatwerk tijdens een extreem hoge afvoer op de IJssel. Bij een onttrekking van $220 \text{ m}^3/\text{s}$ is de waterstand circa NAP+1,85 m nabij de bypasszijde van de IJsseldijk. Indien hierbij rekening gehouden wordt met een windsnelheid van 20 m/s^{10} uit westelijke richting, neemt deze waterstand toe tot NAP+2,05 m.
- Scenario 2) Een verhoogd waterpeil vanuit het Drontermeer bij extreme stormcondities (zuidwester storm). De Reevedam is weliswaar aangelegd, maar de keersluizen in de Reevedam worden slechts eenzijdig kerend uitgevoerd, waardoor een hoge waterstand vanaf Drontermeer niet gekeerd wordt. Bij een 1/4000 jaar windsnelheid ($33,8 \text{ m/s}$) uit zuidwestelijke richting (240°) is de maatgevende waterstand bij de Gelderse Sluis NAP+2,29 m. Deze waterstand volgt uit het pakket Promovera. Op basis van een nieuwe WAQUA berekening met de bypass is een maatgevende waterstand uitgerekend voor de westelijke zijde van de IJsseldijk. De WAQUA berekening resulteert in een maatgevende waterstand van NAP+2,92 m aan de westelijke zijde van de IJsseldijk. Door de striklengte van 6 km over de bypass stuwt het water bij deze conditie (240° storm met $33,8 \text{ m/s}$) nog circa 60 cm extra op ten opzichte van de maatgevende waterstand bij de Gelderse Sluis.

Scenario 2 is dus maatgevend voor de hoogte van de bypasszijde van de IJsseldijk in fase 1. De maatgevende waterstand voor fase 1 is NAP+2,92 m, gebaseerd op een 1/4000 jaar windconditie uit zuidwestelijke richting (240°), in het Waterkeringsplan [13] wordt het ontwerp van de IJsseldijk, gegeven deze waterstand, toegelicht. De IJsseldijk wordt direct ontworpen op de fase 2 belasting, welke maatgevend is voor het ontwerp.

¹⁰. In oktober 2010 is door de Waterdienst opgemerkt dat de genoemde windsnelheden uit leidraad rivierdijken mogelijk te laag zijn. Meer correcte, robuuste windsnelheden liggen rond de 20 m/s .



IJsselzijde

In fase 1 heeft de IJsselzijde van de IJsseldijk (verbindende waterkering) een kerende functie. Indien de IJsseldijk het water niet keert kunnen de waterstanden in het bypassgebied stijgen tot het MHW-peil dat op de IJssel heerst (NB; er zal zich een verhang instellen over de bypass richting Vossemeer indien de Roggebotsluis en spuikoker worden geopend in deze situatie). De dijken rondom het bypassgebied zijn in (begin) fase 1 (door de verlengde uitvoeringsduur dijken) nog niet op een voldoende sterkte dat ze deze extreme waterstanden aankunnen. Een stijging van de waterstanden tot dit niveau zou zonder deze primaire kering kunnen leiden tot inundatie van de dijkringen 8 en 11.

De maatgevende waterstand aan de IJsselzijde van de IJsseldijk wordt in fase 1 bepaald door een combinatie van een 1/2000 jaar noordwesterstorm en 1/2000 jaar afvoer (methode Westphal, zie paragraaf 3.4).

De maatgevende waterstand is NAP+3,93 m op de IJssel, in 2065 is dit NAP+4,0 m (geen toeslagen, scenario 2 meerpeilstijging). Deze laatste waterstand bepaald de kruinhoogte van de IJsseldijk voor zowel fase 1 als fase 2.

Direct ten zuiden van het inlaatwerk ligt nog een nieuw gedeelte IJsseldijk welke geen onderdeel is van de verbindende waterkering. De norm voor dit gedeelte is 1/2000, zoals de overige IJsseldijken in deze IJsseldelta. De maatgevende waterstand in fase 1 is NAP+3,77 m op de IJssel voor dit gedeelte in fase 1. In 2065 is dit NAP+3,9 m (geen toeslagen, midden scenario meerpeilstijging).

6.3.2 Reevedam

Aangezien de Reevedam direct op de benodigde kerende hoogte voor fase 2 wordt aangelegd (NAP+4,6 m bij normstelling 1/4000 jaar), zijn de optredende condities tijdens fase 1 aan de zuid- en noordzijde niet maatgevend voor de hoogte.

Bij een extreme storm vanuit het zuiden zullen de keersluizen niet worden gesloten. De situatie bij een extreme zuidwesterstorm blijft ongewijzigd ten opzichte van de huidige situatie.

Bij inzet van de bypass als een hoogwaterafvoergeul worden de deuren van de keersluizen in de Reevedam gesloten. De tijd tussen het openzetten van de inlaat en dat het water in de bypass weer gezakt is naar streefpeil (in de praktijk zal de waterstand op het Drontermeer waarschijnlijk nog boven streefpeil zijn) duurt circa 10 tot 15 dagen. Deze periode is gebaseerd op de duur van een gestandaardiseerde 1/1250 – 1/2000 jaar afvoergolf. Gedurende deze dagen zijn de keerdeuren in de Reevedam gesloten en de scheepvaart gestremd. Een Rijnafvoer bij Lobith van 15.500 m³/s of hoger heeft een kans van voorkomen van 1/1100 jaar per jaar.

De eenzijdig kerende deuren in de keersluizen moeten een hoge IJsselaflow door de bypass kunnen keren (maximaal NAP+1,85 m, bij 20 m/s noorderwind) in combinatie met laag peil op Drontermeer (NAP-0,5 m). Maximaal verval tussen noord- en zuidzijde van circa 2,35 m.

6.3.3 Roggebotkering

Aan de noordzijde van de Roggebotkering blijven de maatgevende waterstanden ongewijzigd t.o.v. de huidige situatie in fase 1. De maatgevende waterstand met norm 1/4000 jaar is NAP+3,4 m.

Aan de zuidzijde van de Roggebotkering treden de maximale waterstanden tijdens fase 1 op tijdens een situatie van een extreme zuidwesterstorm. Bij een zuidwesterstorm met voorkomen van 1/2000 jaar treden er waterstanden van NAP+2,23 m op bij Roggebot Zuid. Bij een 1/4000 jaar storm is dit NAP+2,38 m.

Bij een situatie van een extreme afvoer ($>15.500 \text{ m}^3/\text{s}$) wordt water vanuit de IJssel door de bypass afgevoerd. Aan de zuidzijde van de Roggebotkering is de eis dat de waterstand niet hoger mag worden dan NAP+1,70 m (inclusief eventueel windeffect). Deze waterstand is maatgevend in verband met de dekzerkhoogte van de schutsluis. Zie voor de achtergrond van deze eis de systeemanalyse [12] en de beschouwing in paragraaf 3.3.

Het inlaatwerk in de IJsseldijk zal in fase 1 controleerbaar en regelbaar worden uitgevoerd om overschrijding van deze waterstand te voorkomen. Indien tijdens een afvoersituatie een sterk wind opsteekt, waardoor de waterstand bij Roggebot (zuidzijde) de waterstandseis van NAP+1,70 m overschrijdt, zullen de regelbare schuiven iets verder dicht gezet moeten worden. Hierdoor blijft de waterstand onder de NAP+1,70 m maar neemt de onttrekking naar de bypass wel af. Hierdoor neemt het waterstandsverlagende effect op de IJssel af.

Om deze eis te controleren en beheersen dient in de bypass en het Drontermeer (nabij Roggebot) een peilmeetopstelling te worden aangebracht die de actuele waterstand in de bypass en het Drontermeer meet en deze vervolgens via een communicatieverbinding doorgeeft aan een bedieningscentrale. Deze bedieningscentrale zou bijvoorbeeld op het Houtribsluizencomplex te Lelystad kunnen komen.

Deze bedieningscentrale zal onderdeel moeten zijn van een groter meetnet (waarin ook waterstanden bij gemalen zijn opgenomen) welke een relatie heeft met kunstwerken van RWS-IJG, RWS-ON, WGS en wellicht van de Provincie (recreatieschutsluis). Een dergelijke bediening op basis van waterstandgegevens is een haalbare optie. De uitwerking hiervan zal in een volgende fase moeten worden uitgewerkt in een bedieningsprotocol.

6.3.4 Bypassdijken

Voor de bypassdijken geldt dat de maatgevende waterstand in fase 1 wordt gegeven door een zuidwester storm. De versnelde aanleg van de Reevedam heeft mogelijk een licht reducerende werking op de maximale waterstanden langs de Drontermeerdijk, vanwege de geringe breedte van de twee keersluizen.

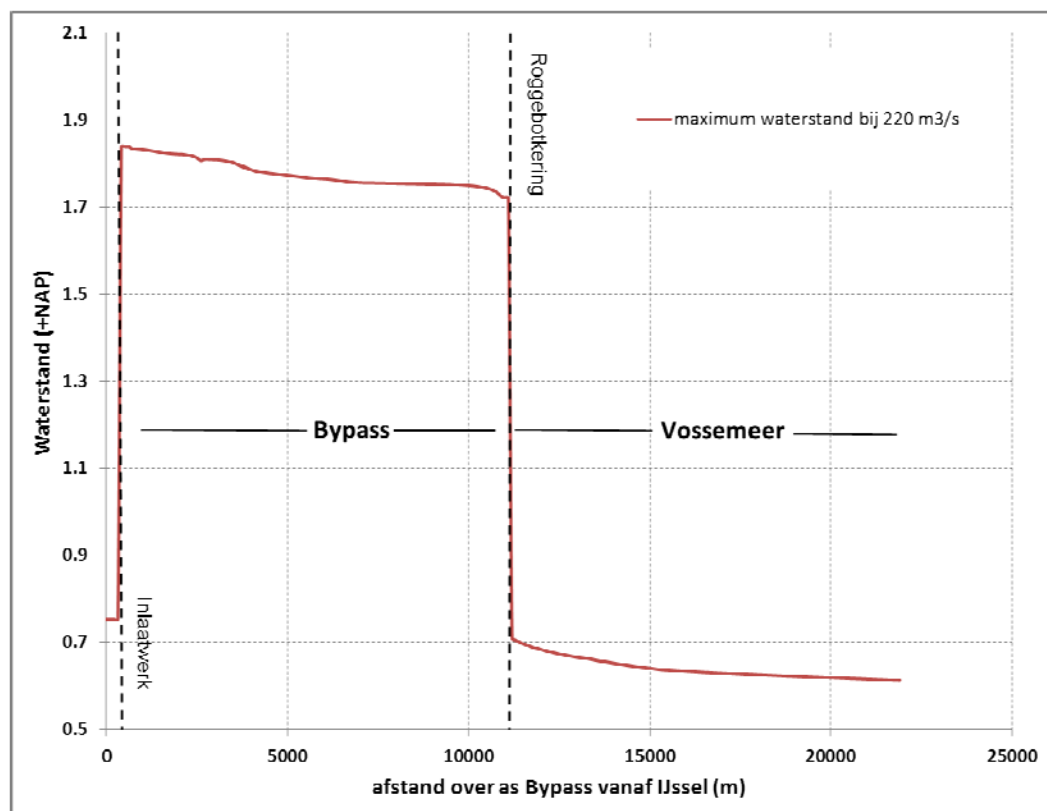
De maximale waterstanden (1/2000 jaar conditie) langs de bypassdijken in fase 1 liggen tussen de 2,20 m in het westelijke gedeelte en 2,70 m in het oostelijke gedeelte.

Deze maximale waterstanden voor fase 1 zijn meer dan een meter lager dan de maatgevende waterstanden die kunnen plaatsvinden voor fase 2.

Een andere extreme belasting op de bypassdijken en de Drontermeerdijk is de belasting van een verhoogd peil ten gevolge van het inlaten van een deel van de hoge IJsselafoer maatgevend voor de bypassdijken en de Drontermeerdijk in fase 1. Indien er bij een extreme IJsselafoer maximaal $220 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt ingelaten variëren de waterstanden langs de IJsseldijken bij een windstille situatie tussen de NAP+1,85 m bij het inlaatwerk, NAP+1,75 m bij het hoekpunt van de Drontermeerdijk en Reevedam en de maximale waterstand van NAP+1,70 m bij de Roggebotkering.

Als de Bypassdijken als rivierdijken worden benaderd in deze fase 1 situatie van een hoge IJsselafoer en een onttrekking door de bypass, dient te worden gerekend met windsnelheden van circa 20 m/s. Bij deze windsnelheid is de windopzet bij het inlaatwerk circa 20 cm, waardoor de maatgevende waterstand toeneemt tot circa NAP+2,15 m bij $220 \text{ m}^3/\text{s}$.

Wat betreft de eindhoogte van de bypassdijken en de Drontermeerdijk is en blijft fase 2 maatgevend. Echter vanwege de verlengde uitvoeringsduur (consolideren van de grondlichamen) is vereist dat de dijken reeds in fase 1 een maximale waterstand van NAP+2,2 m (exclusief toeslagen) in het westen en NAP+2,7 m in het oosten veilig moeten kunnen keren. De maatgevende waterstanden en ontwerppeilen voor de bypass dijken zijn in paragraaf 6.4 gepresenteerd.



Figuur 6.3: Waterstanden in de bypass bij onttrekkingsdebiet van $220 \text{ m}^3/\text{s}$ door het inlaatwerk. In de waterpeilen is geen rekening gehouden met windinvloed

6.3.5 Drontermeerdijk

De maatgevende waterstanden langs de Drontermeerdijk zal niet toenemen door de aanleg van de bypass voor fase 1. Het extra bergende volume dat door de aanleg van de bypass bij de Randmeren komt, zal geen toename van de maatgevende waterstanden veroorzaken. Daarnaast worden de ontwerppeilen van de Drontermeerdijk bepaald door stormen met een richting van 240 graden. De bypass heeft geen effect op de strijklengtes bij deze windrichting. De maatgevende waterstand is circa NAP+2,38 m bij een 1/4000 jaar zuidwesterstorm.

Een effect van de aanleg van de bypass is wel dat de potentiële strijklengte richting de Drontermeerdijk toeneemt bij oostenwind. Hierdoor zou de golfbelasting op de Drontermeerdijk mogelijk kunnen toenemen. Bij een sterke oostenwind zal de bypass echter voor een groot gedeelte droog staan. Alleen in de vaargeul zal dan nog water staan. Dit zal niet leiden tot een toename van het maatgevende peil.

Voor de Drontermeerdijk wijzigen de maatgevende waterstanden dus niet voor fase 1. In fase 2 is dit wel het geval, voor het deel langs het nieuwe verlengde Vossemeer (ten noorden van de Reevedam). Deze waterstanden worden genoemd in paragraaf 6.4.

6.3.6 Recreatiegebied

Een punt van aandacht is het recreatiegebied 't Haasje. Dit gebied grenst aan het verlengde Vossemeer ten zuiden van de Roggebotsluis en ten noorden van de Hanzelijn. In het gebied zijn partyhotel 't Haasje, een camping en een jachthaven gevestigd.

In fase 1 zal als gevolg van de aanleg van de bypass de situatie m.b.t. de waterveiligheid niet verslechteren en zijn er daarvoor geen voorzieningen nodig. Door de aanwezigheid van de Reevedam zal de stormopzet licht minder zijn (door de smalle openingen van de keersluizen) dan in de huidige situatie terwijl een afvoer van hoogwater door de bypass een kans van voorkomen heeft van 1/1100 en daardoor niet (significant) bijdraagt aan de overstromingskans.

Mocht de situatie van hoogwaterafvoer zich voordoen, dan kunnen noodmaatregelen getroffen worden, zoals het amoveren van de jachten, boten e.d. uit de bypass en eventueel het aanleggen van noodkeringen met zandzakken rondom kostbare objecten. Hiervoor geldt een waarschuwingstijd van 2 dagen.

6.3.7 Samenvatting

De maatgevende waterpeilen voor fase 1 zijn samengevat in tabel 6.2. De maximale vervallen voor fase 1 zijn samengevat in tabel 6.3

Tabel 6.2: Maatgevende waterstanden (geen toeslagen) voor fase 1 voor enkele dijken en kunstwerken langs de bypass

Dijksectie / kunstwerk	Maatgevend event	Waterstand (m+NAP)
IJsseldijk IJsselzijde, verbindende waterkering	1:4000 storm noordwest	3,93
IJsseldijk IJsselzijde, IJsselgedeelte	1:2000 storm noordwest	3,77
IJsseldijk bypasszijde	1:4000 storm zuidwest	2,90
Bypassdijken oostzijde	1:2000 storm zuidwest	2,70
Bypassdijken westzijde	1:2000 storm zuidwest	2,20
Reevedam Noord	1:2000 storm zuidwest	2,15
Reevedam Zuid	1:2000 storm zuidwest	2,15
Roggebot Noord	1:4000 storm noordwest	3,40
Drontermeerdijk	1:4000 storm zuidwest	2,38
Roggebot Zuid	1:4000 storm zuidwest	2,38

Tabel 6.3: Maximale vervallen bij kunstwerken voor fase 1

Dijksectie / kunstwerk	Maatgevend event	Verval (m)
IJsseldijk (Inlaatwerk en Recreatieschutsluis)	Oost naar West	4,15
IJsseldijk (Inlaatwerk en Recreatieschutsluis)	West naar Oost	0,8
Keersluis Reevedam	Noord naar Zuid	2,35

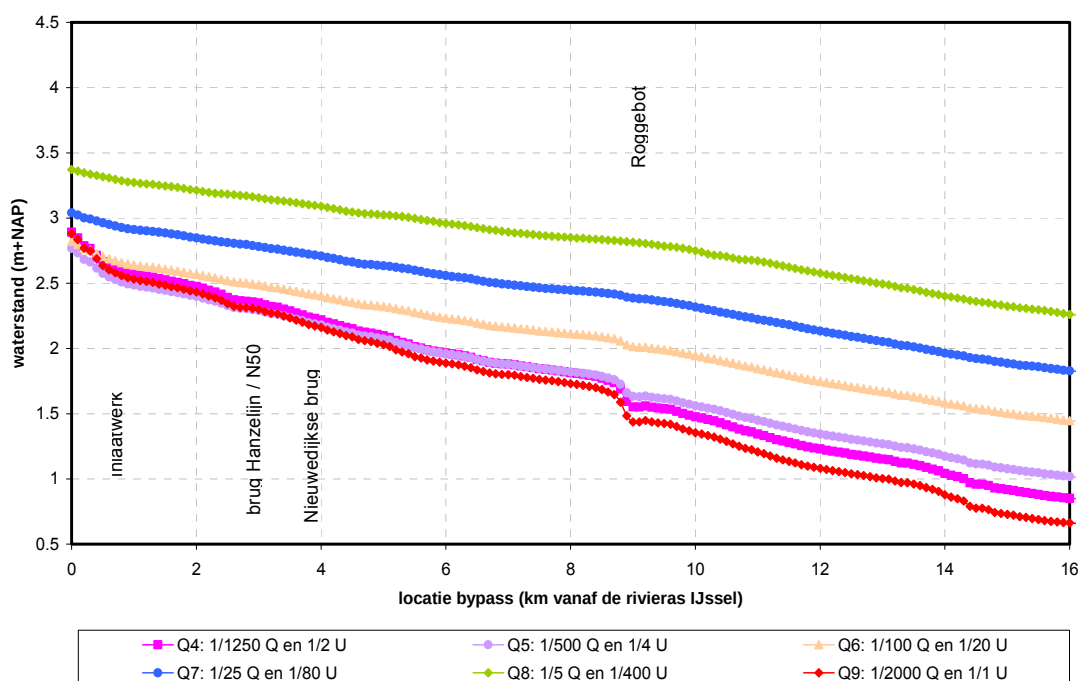
6.4 Ontwerppeilen fase 2

6.4.1 Stormgedomineerd

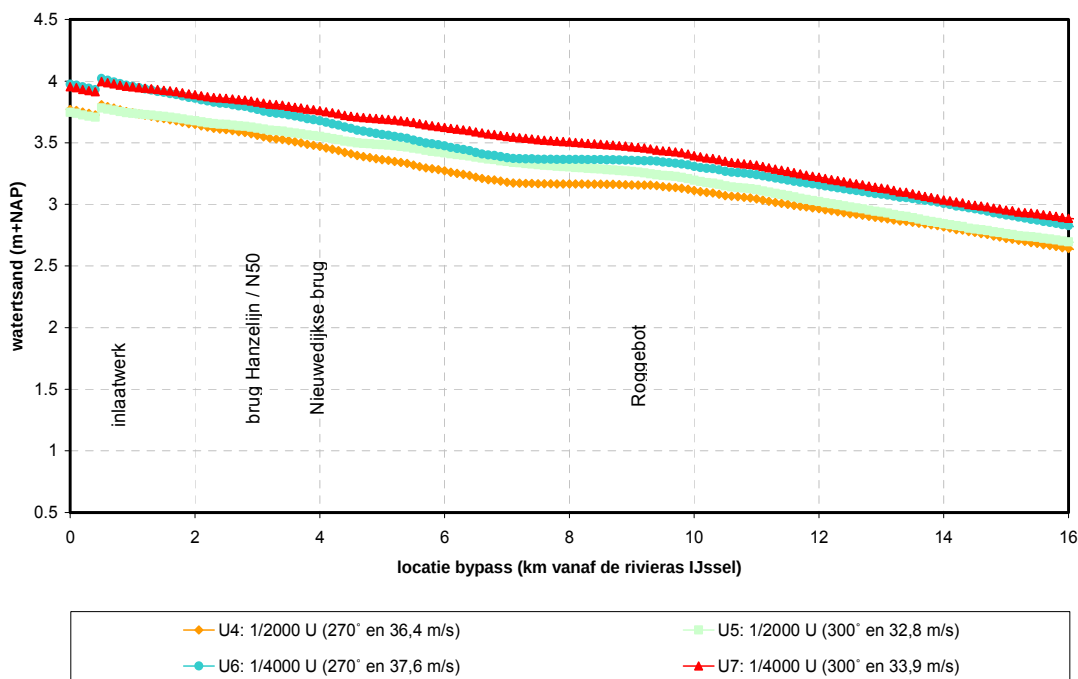
De hydraulische belastingen die optreden voor fase 2 zijn, door de open verbinding met het IJsselmeer en de functie als hoogwatergeul, maatgevend voor het ontwerp van de dijklichamen en de kunstwerken. Voor fase 1 zijn de maximale waterstanden in de bypass nog ca. NAP+1,7 m tot NAP+2,15 m (van west naar oost bij een afvoersituatie van 220 m³/s door de bypass), terwijl voor fase 2 de maatgevende waterstanden, afhankelijk van de locatie en normering, tussen de NAP+3 m en NAP+4 m liggen.

Figuur 6.4 en 6.5 tonen de waterstanden in de bypass bij verschillende afvoer- en verschillende stormcondities. Duidelijk te zien is dat de waterstand in de bypass bij extreme stormcondities hoger is (ca. één meter hoger) dan bij extreme afvoercondities. De maatgevende waterstanden in de bypass zijn dus duidelijk stormgedomineerd.

Figuur 6.5 toont dat de 1/4000 jaar waterstanden, logischerwijs, hoger liggen dan de 1/2000 jaar waterstanden. Nabij het inlaatwerk leidt een 270° windrichting tot een hogere waterstand dan de 300° windrichting, in de rest van de bypass wordt de maatgevende waterstand gedomineerd door de 300° windrichting.



Figuur 6.4: Waterstand in de as van de bypass voor een geopende bypass bij de beoordeelde afvoer- windcondities (Q4 t/m Q9 (tabel 4.3)). Deze condities bevatten een combinatie van afvoer en windcondities met een overschrijdingskans van 1/2000 jaar



Figuur 6.5: Waterstand in de as van de bypass voor een gesloten bypass bij de beoordeelde windcondities (U4 t/m U7 (tabel 4.3))

In tabel 6.5 en 6.7 zijn de maatgevende waterstanden gegeven voor de illustratiepunten van de kunstwerken en van de dijken. Deze waterstanden zijn de resultaten uit de WAQUA modellen en bevatten nog geen toeslagen.

In tabel 6.6 en 6.8 zijn de ontwerppeilen gegeven voor de illustratiepunten van de kunstwerken en van de dijken. Deze ontwerppeilen zijn opgebouwd uit de maatgevende waterstanden inclusief de geldende toeslagen.

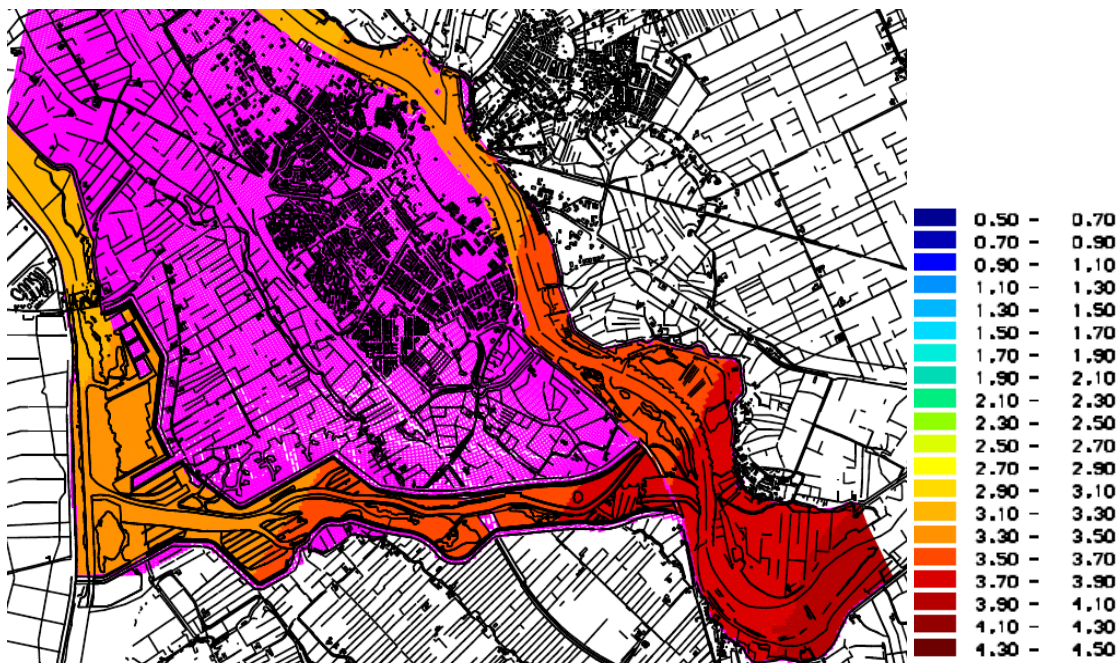
6.4.2 Bypass dijken

De ontwerppeilen in de bypass zijn op elk van de gedefinieerde illustratiepunten (voor zowel dijken als kunstwerken) puur storm gedomineerd. De afvoer en windcombinaties die zijn doorgerekend t.b.v. de ontwerppeilen zijn weergegeven in tabel 4.3. Alle afvoercondities (Q1 t/m Q9, conditie met een 1/2000 afvoer en condities met een combinatie van afvoer met storm) geven een lagere waterstand dan de condities met een volledige stormgedomineerde situatie (U1 t/m U7, 1/2000 of 1/4000 jaar storm met richtingen van 270° en 300°).

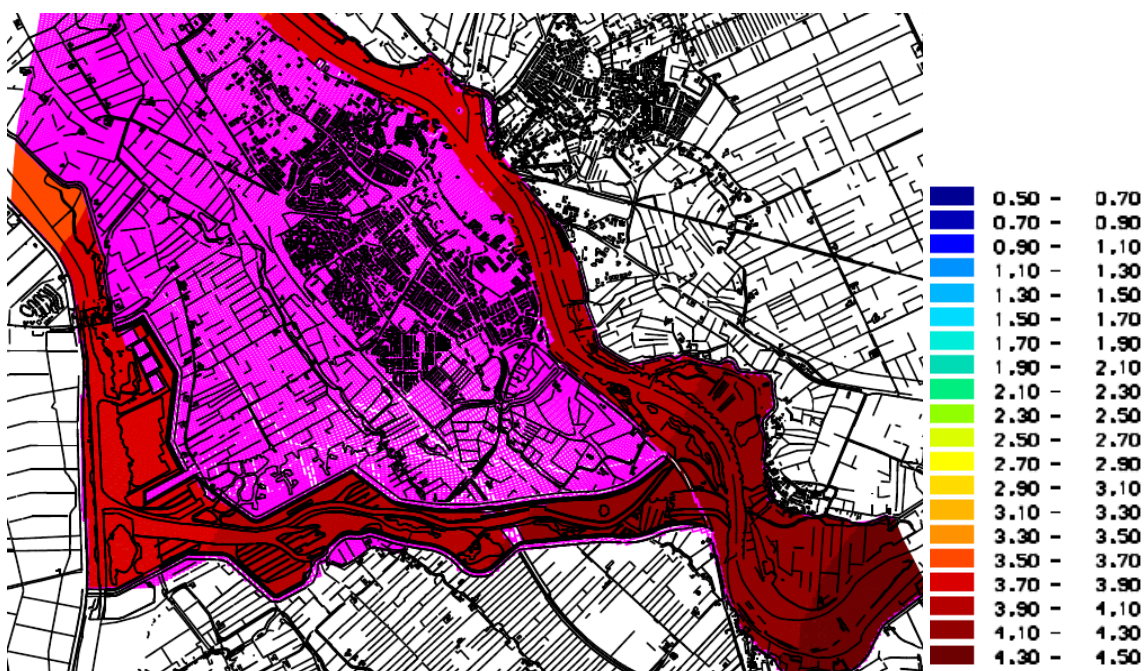
De maatgevende waterstanden worden bepaald door de stormgedomineerde condities. De ontwerpnorm voor de bypassdijken is 1/2000 jaar. Voor de meeste dijksecties van de bypassdijken geldt dat een 1/2000 jaar noordwesterstorm (300°, conditie U5) leidt tot de maatgevende waterstand. Enkel de waterstanden voor de dijksecties in het oostelijke uiteinde van de bypass (illustratiepunt zone I Noord I en Zuid I uit figuur 6.2) zijn gedomineerd door een westerstorm (300°, conditie U4). De maatgevende waterstanden van de bypassdijken voor 2065 liggen tussen de NAP+3,4 m in het meest westelijke gedeelte, tot NAP+3,85 m in het meest oostelijke gedeelte van de bypass. Als gevolg van de meerpeilstijging (1m in 2115) worden de maatgevende waterstanden NAP+3,8 tot NAP+4,2 m.

In deze berekening is uitgegaan van een gesloten inlaatwerk. Met de scopewijzigingen is in samenspraak met RWS-ON en Waterschap Groot Salland besloten het inlaatwerk standaard in te stellen op NAP+1,5 m in fase 2. Hiermee is het inlaatwerk slechts gedeeltelijk gesloten. Bij een geopend inlaatwerk tot NAP+1,5 m zullen de maatgevende waterstanden langs de bypassdijken licht lager zijn, maximaal 5 cm aan de oostzijde. Hiermee zijn de maatgevende waterstanden robuust voor een situatie waarin toch besloten wordt het inlaatwerk geheel te sluiten bij een extreme stormsituatie. In paragraaf 6.4.6 wordt hier nader op ingegaan.

Figuur 6.6 en 6.7 tonen de berekende maximale waterstanden voor de situatie met een gesloten inlaatwerk voor een meerpeilstijging van resp. 30 cm en 1 m (conditie U2 en U3a).



Figuur 6.6: Maatgevende waterstanden voor 2065 met een gesloten inlaatwerk voor een combinatie van 1/2000 jaar condities (conditie U2) en een peilstijging van 10 cm



Figuur 6.7: Maatgevende waterstanden voor 2115 met een gesloten inlaatwerk voor een 1/2000 conditie (300 graden en 32,8 m/s) en een peilstijging van 1 meter

6.4.3 Klimaatdijk

De klimaatdijk heeft een aparte status, deze wordt ontworpen voor meer dan 100 jaar. Vanwege de geplande bebouwing op deze klimaatdijk is er door het Waterschap Groot Salland en de Gemeente Kampen aangestuurd op een robuust ontwerp. Voor de klimaatdijk geldt daarom een andere norm.

Er wordt voor de maatgevende waterstanden van de klimaatdijk gerekend met een meerpeilstijging van 1,5 m.

De illustratiepunten van de klimaatdijk zijn 'Zone III Noord 3' en 'Zone III Noord 2'. In tabel 6.5 en 6.6 zijn de maatgevende waterstanden voor 2065 en 2115 gegeven. Voor 2115+ zijn de waterstanden en ontwerppeilen voor de klimaatdijk weergegeven in onderstaande tabel 6.4. Bij de maatgevende waterstanden is een toeslag van 40 cm opgeteld (zie tabel 6.1). Door voor de klimaatdijk een 2115+ scenario (1,5 m meerpeilstijging) te hanteren, worden de maatgevende waterstanden ca. 0,25 m hoger dan zou gelden voor een 2115 scenario (1,0 m meerpeilstijging).

Tabel 6.4: Maatgevende waterstanden en ontwerppeilen voor de klimaatdijk (2115+)

	Maatgevende waterstand (excl. toeslagen)		Ontwerppeil (incl. toeslagen)	
	Waterstand (m+NAP)	Maatgevende Conditie	Waterstand (m+NAP)	Maatgevende Conditie
Zone III Noord 2	4,16	U3b	4,60	U3b
Zone III Noord 3	4,20	U3b	4,56	U3b

6.4.4 Drontermeerdijk, Vossemeerdijk en Reevedam

Door het openen van de Roggebotsluis en het aanleggen van de Reevedam, wijzigen de maatgevende condities voor de bestaande dijken aan de Flevoland zijde (tussen de Reevedam en Roggebot, object 1D). Het dijkgedeelte tussen de Reevedam en de Roggebotkering wordt tijdens fase 2 gedomineerd door de windopzet in de IJsselmonding, in plaats van de windopzet op de Randmeren, zoals voor fase 1 nog het geval was.

De veiligheidsnorm van de Drontermeerdijk (object 1D) is 1/4000 jaar. De huidige maatgevende waterstanden voor dit deel van de dijken zijn ca. NAP+2,3 tot NAP+2,4 m. De huidige dijk heeft een vrij constant dwarsprofiel met een kruin tussen NAP +2,75 m en NAP +2,85 m.

De WAQUA berekeningen tonen dat voor fase 2 de maatgevende waterstanden worden bepaald door noordwesterwind (300°, conditie U7). Voor fase 2 geldt een maatgevende waterstand van NAP+3,5 tot 3,6 m voor 2065. Voor 2115 is dit NAP+3,95 tot 4,05 m. Dit betekent dus dat voor fase 2 de kruinhoogte van de Drontermeerdijk (object 1D) fors moet worden verhoogd. De maatgevende waterstanden nemen toe met ca. 1,2 m voor 2065 en met 1,65 m voor 2115. In het Waterkeringsplan [13] is de vernieuwde kruinhoogte en ontwerp voor dit deel van de Drontermeerdijk gegeven. In dit rapport wordt een minimale dijktafelhoogte van NAP+4,45 m berekend.

De dijkhoogte van de Vossemeerdijk ten noorden van Roggebot hoeft niet te worden gewijzigd. Bij een extreme afvoersituatie nemen de waterstanden op het Vossemeer weliswaar toe (zie hoofdstuk 9.4), echter deze waterstanden zijn niet maatgevend voor het dijkontwerp. De ontwerppeilen worden namelijk bepaald door extreme noordwester stormen. Bij deze condities wijzigt de maatgevende waterstand niet, mogelijk worden de waterstanden zelfs iets lager omdat de Roggebotkering deels wordt verwijderd in fase 2.

De maatgevende waterstand voor de Reevedam is NAP+3,64 m voor 2065 en 4,06 m voor 2115. Deze waterstand kan optreden aan de Vossemeerzijde van de Reevedam.



Aan de Drontermeerzijde van de Reevedam wordt een maatgevende waterstand aangehouden van NAP+2,38 m, gelijk aan de huidige maatgevende waterstand voor Roggebot Zuid.

In het "Projectplan Waterwet, verbindende waterkering Roggebotsluis" (28 september 2010, Min VenW) is een kruinhoogte bepaald van NAP+ 5,20 m voor dijksectie ten noorden van de Roggebotsluis. In dit rapport is voor illustratiepunt zone 'IV West 1' een ontwerppeil van NAP+3,95 m voor 2065 bepaald. De minimaal benodigde kruinhoogte is NAP+4,45 m. Dit verschil van 75 cm kan verklaard worden uit het feit dat:

- de hellingshoek van de dijkprofielen en de hoogte van de bermen is een bepalende factor in de benodigde kruinhoogte. Het verschil tussen een 1:3 of 1:4 profiel is ca. 80 cm (bron: R.Slomp, Waterdienst);
- het verschil tussen een overslagdebiet van 1 l/s/m of 0,1 l/s/m scheelt ca. 1 m bij een norm van 1/4000 jaar (bron: R.Slomp, Waterdienst);
- In de huidige situatie stuwt water op tegen de gesloten Roggebot kering. Voor fase 2 is dit niet aan de orde, door de open verbinding bij Roggebot;
- Er zijn kleine verschillen in de modelinstrumenten van 1998 en 2006.

6.4.5 IJsseldijk

De IJsseldijk vormt een verbindende waterkering tussen de noordelijke en zuidelijke bypassdijken. De veiligheidsnorm van deze kering moet nog definitief worden vastgesteld. Voorlopig wordt uitgegaan van een 1/4000 jaar normstelling.

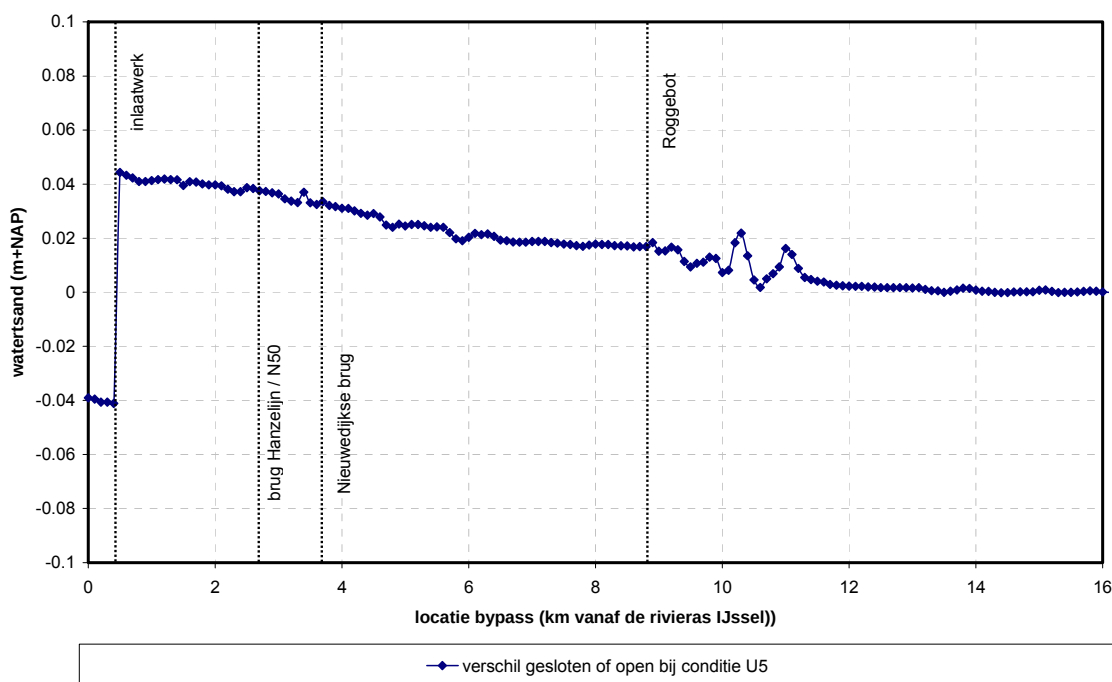
De maatgevende waterstand aan de westelijke zijde van de IJsseldijk wordt gedomineerd door een oostelijke windrichting (270°, conditie U6). De maatgevende waterstand is NAP+4,04 m voor 2065, waarbij er vanuit is gegaan dat het inlaatwerk is gesloten. Voor 2115 geldt een maatgevende waterstand van NAP+4,42 m. In het Waterkeringsplan [13] is gepresenteerd dat de IJsseldijk voor fase 2 een minimale hoogte nodig heeft van NAP+5,6 m.

6.4.6 Geopend of gesloten inlaatwerk

Omdat alle illustratiepunten stormgedomineerd zijn, is het ook interessant om het effect van een geopend of een gesloten inlaatwerk op de maatgevende waterstanden in de bypass te beoordelen.

De resultaten tonen dat er weinig verschil is in maatgevende waterstand bij een geopend of gesloten inlaatwerk. De maatgevende waterstand verschilt slechts enkele centimeters in het midden gedeelte van de bypass tot 5 cm bij de IJsseldijk. Dit verschil is weergegeven in figuur 6.8, waarin het verschil in waterstand tussen een gesloten en open bypass bij conditie U5 is weergegeven (U5 = 1/2000 jaar windrichting van 270°). In hoofdstuk 14 is beoordeeld wat het effect is van een geopend of gesloten inlaatwerk bij maatgevende stormcondities op de maatgevende waterstanden op de IJssel. Op basis van deze resultaten is mede besloten om het inlaatwerk standaard in te stellen met schotten tot een niveau van NAP+1,5 m. Onder normale rivierafvoeren of lichte storm zal er dan geen water vanuit de IJssel naar de bypass of visa versa stromen. Bij een extreme afvoer of een extreme storm zal het water dan over de schotten stromen.

Een onzekerheid in deze analyse is wel de afvoer op de IJssel. In de analyse is nu gerekend met een afvoer op de IJssel met een overschrijdingskans van één keer per jaar. Indien de IJsselaflower lager is dan deze 1/1 jaar afvoer, wordt het berekende effect van een geopend of gesloten inlaatwerk ook groter. Doordat de waterstand op de IJssel nabij het inlaatwerk lager is als de afvoer lager is, neemt de waterstand in de bypass bij een geopend inlaatwerk ook meer af dan de berekende maximale 5 cm.



Figuur 6.8: Verschil in waterstand in de as van de bypass voor een gesloten of een geopend inlaatwerk bij conditie U5 (1/2000 jaar windconditie met 270 graden)

Tabel 6.5: Maatgevende waterstanden (zonder toeslagen) voor 2065 en 2115 voor de kunstwerken

			MHW-stand 2065 (incl. 10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)			MHW-stand 2115 (incl. 1 m stijging streefpeil IJsselmeer)		
			Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk	
Ontwerppunt		norm	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatg. Conditie	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatg. Conditie
IJsseldijk bijpass zijde	Noord	1:4000	4.03	3.98	F2_U6	4.41	4.38	schatting
	midden	1:4000	4.04	3.99	F2_U6	4.42	4.38	schatting
	Zuid	1:4000	4.06	4.01	F2_U6	4.44	4.40	schatting
IJsseldijk IJssel zijde	Noord	1:4000	3.94	3.99	F2_U6	4.33	4.38	schatting
	midden	1:4000	3.99	4.04	F2_U6	4.38	4.43	schatting
	Zuid	1:4000	3.99	4.04	F2_U6	4.38	4.43	schatting
Inlaat bypass	Noord	1:4000	4.06	4.00	F2_U6	4.44	4.39	schatting
	midden	1:4000	4.06	4.01	F2_U6	4.44	4.40	schatting
	Zuid	1:4000	4.06	4.01	F2_U6	4.45	4.40	schatting
Inlaat IJssel	Noord	1:4000	3.97	4.02	F2_U6	4.36	4.41	schatting
	midden	1:4000	3.98	4.03	F2_U6	4.37	4.42	schatting
	Zuid	1:4000	3.98	4.03	F2_U6	4.37	4.42	schatting



			MHW-stand 2065 (incl. 10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)			MHW-stand 2115 (incl. 1 m stijging streefpeil IJsselmeer)		
			Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk	
Ontwerppunt		norm	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatg. Conditie	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatg. Conditie
Nieuwe- dijkse brug	noordoost	1:2000	3.63	3.60	F2_U5	4.04	4.01	F2_U3
	zuidoost	1:2000	3.63	3.60	F2_U5	4.04	4.01	F2_U3
	zuidwest	1:2000	3.63	3.60	F2_U5	4.04	4.01	F2_U3
	noordwest	1:2000	3.62	3.59	F2_U5	4.03	4.00	F2_U3
molenkolk		1:2000	3.56	3.54	F2_U5	3.97	3.95	F2_U3

Tabel 6.6: Ontwerppeilen (inclusief toeslagen) 2065 en 2115 voor de kunstwerken

			Ontwerppeil 2065 (incl. toeslagen en peilstijging)			Ontwerppeil 2115 (incl. toeslagen en peilstijging)		
			Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk	
Ontwerppunt		norm	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatg. conditie	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatg. conditie
IJsseldijk bijpass zijde	Noord	1:4000	4.33	4.28	F2_U6	4.51	4.48	schatting
	midden	1:4000	4.34	4.29	F2_U6	4.52	4.48	schatting
	Zuid	1:4000	4.36	4.31	F2_U6	4.54	4.50	schatting
IJsseldijk IJssel zijde	Noord	1:4000	4.24	4.29	F2_U6	4.43	4.48	schatting
	midden	1:4000	4.29	4.34	F2_U6	4.48	4.53	schatting
	Zuid	1:4000	4.29	4.34	F2_U6	4.48	4.53	schatting
Inlaat bypass	Noord	1:4000	4.36	4.30	F2_U6	4.54	4.49	schatting
	midden	1:4000	4.36	4.31	F2_U6	4.54	4.50	schatting
	Zuid	1:4000	4.36	4.31	F2_U6	4.55	4.50	schatting
Inlaat IJssel	Noord	1:4000	4.27	4.32	F2_U6	4.46	4.51	schatting
	midden	1:4000	4.28	4.33	F2_U6	4.47	4.52	schatting
	Zuid	1:4000	4.28	4.33	F2_U6	4.47	4.52	schatting
Nieuwdijk se brug molenkolk	noordoost	1:2000	3.93	3.90	F2_U5	4.14	4.11	F2_U3
	zuidoost	1:2000	3.93	3.90	F2_U5	4.14	4.11	F2_U3
	zuidwest	1:2000	3.93	3.90	F2_U5	4.14	4.11	F2_U3
	noordwest	1:2000	3.92	3.89	F2_U5	4.13	4.10	F2_U3
		1:2000	3.86	3.84	F2_U5	4.07	4.05	F2_U3

Tabel 6.7: Maatgevende waterstanden (geen toeslagen) voor 2065 en 2115 voor de illustratiepunten van de dijken

		MHW-stand 2065 (incl. 10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)			MHW-stand 2115 (incl. 1 m stijging streefpeil IJsselmeer)		
		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk	
Ontwerppunt	norm	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatgevende Conditie	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatgevende Conditie
IJsseldijk Oost	1:4000	3.99	4.04	F2_U6	4.38	4.43	schatting
IJsseldijk west	1:4000	4.04	3.99	F2_U6	4.42	4.38	schatting
IV West 1	1:4000	3.53	3.52	F2_U7	3.96	3.94	schatting
IV West 2	1:4000	3.58	3.56	F2_U7	4.00	3.98	schatting
IV West 3	1:4000	3.61	3.59	F2_U7	4.03	4.01	schatting
Reevedam N	1:4000	3.64	3.62	F2_U7	4.06	4.04	schatting
I Noord 1	1:2000	3.70	3.66	F2_U5	4.11	4.07	F2_U3
I Noord 2	1:2000	3.74	3.70	F2_U5	4.14	4.10	F2_U3
I Noord 3	1:2000	3.77	3.73	F2_U4	4.16	4.13	F2_U3
I Zuid 1	1:2000	3.73	3.69	F2_U5	4.13	4.10	F2_U3
I Zuid 2	1:2000	3.78	3.74	F2_U5	4.18	4.14	F2_U3
I Zuid 3	1:2000	3.84	3.79	F2_U4	4.22	4.19	F2_U3
II Noord 1	1:2000	3.66	3.63	F2_U5	4.07	4.04	F2_U3
II Zuid 1	1:2000	3.66	3.63	F2_U5	4.07	4.04	F2_U3
III Noord 1	1:2000	3.44	3.42	F2_U5	3.86	3.84	F2_U3
III Noord 2	1:2000	3.49	3.47	F2_U5	3.91	3.89	F2_U3
III Noord 3	1:2000	3.54	3.51	F2_U5	3.95	3.93	F2_U3
III Noord 4	1:2000	3.58	3.55	F2_U5	3.99	3.96	F2_U3
IV oost 1	1:2000	3.36	3.34	F2_U5	3.79	3.77	F2_U3
IV oost 2	1:2000	3.42	3.41	F2_U5	3.84	3.83	F2_U3
IV oost 3	1:2000	3.42	3.41	F2_U5	3.84	3.83	F2_U3

NB: Voor de illustratiepunten op de klimaatdijk, 'zone III Noord 2' en 'zone III Noord 3' geldt een ontwerphorizon van meer dan 100 jaar. De maatgevende waterstanden (2115+) voor de klimaatdijk zijn in paragraaf 6.4.3 gegeven. In bovenstaande tabel staan de maatgevende waterstanden voor 2065 en 2115, niet voor 2115+.

Tabel 6.8: Ontwerppeilen (inclusief toeslagen) 2065 en 2115 voor de illustratiepunten van de dijken

		Ontwerppeil 2065 (incl. toeslagen en peilstijging)			Ontwerppeil 2115 (incl. toeslagen en peilstijging)		
		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk		Gesloten inlaatwerk	Geopend inlaatwerk	
Ontwerppunt	norm	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatgevende Conditie	Waterstand (m+NAP)	Waterstand (m+NAP)	Maatgevende Conditie
IJsseldijk Oost	1:4000	4.34	4.39	F2_U6	4.58	4.63	schatting
IJsseldijk west	1:4000	4.39	4.34	F2_U6	4.62	4.58	schatting
IV West 1	1:4000	3.88	3.87	F2_U7	4.16	4.14	schatting
IV West 2	1:4000	3.93	3.91	F2_U7	4.20	4.18	schatting
IV West 3	1:4000	3.96	3.94	F2_U7	4.23	4.21	schatting
Reevedam N	1:4000	3.99	3.97	F2_U7	4.26	4.24	schatting
I Noord 1	1:2000	4.05	4.01	F2_U5	4.31	4.27	F2_U3
I Noord 2	1:2000	4.09	4.05	F2_U5	4.34	4.30	F2_U3
I Noord 3	1:2000	4.12	4.08	F2_U4	4.36	4.33	F2_U3
I Zuid 1	1:2000	4.08	4.04	F2_U5	4.33	4.30	F2_U3
I Zuid 2	1:2000	4.13	4.09	F2_U5	4.38	4.34	F2_U3
I Zuid 3	1:2000	4.19	4.14	F2_U4	4.42	4.39	F2_U3
II Noord 1	1:2000	4.01	3.98	F2_U5	4.27	4.24	F2_U3
II Zuid 1	1:2000	4.01	3.98	F2_U5	4.27	4.24	F2_U3
III Noord 1	1:2000	3.79	3.77	F2_U5	4.06	4.04	F2_U3
III Noord 2	1:2000	3.84	3.82	F2_U5	4.11	4.09	F2_U3
III Noord 3	1:2000	3.89	3.86	F2_U5	4.15	4.13	F2_U3
III Noord 4	1:2000	3.93	3.90	F2_U5	4.19	4.16	F2_U3
III Zuid 1	1:2000	3.82	3.80	F2_U5	4.09	4.07	F2_U3
III Zuid 2	1:2000	3.88	3.86	F2_U5	4.15	4.13	F2_U3
III Zuid 3	1:2000	3.92	3.90	F2_U5	4.18	4.16	F2_U3
IV oost 1	1:2000	3.71	3.69	F2_U5	3.99	3.97	F2_U3
IV oost 2	1:2000	3.77	3.76	F2_U5	4.04	4.03	F2_U3
IV oost 3	1:2000	3.77	3.76	F2_U5	4.04	4.03	F2_U3

NB: Voor de illustratiepunten op de klimaatdijk, 'zone III Noord 2' en 'zone III Noord 3' geldt een ontwerphorizon van meer dan 100 jaar. De ontwerppeilen (2115+) voor de klimaatdijk zijn in paragraaf 6.4.3 gegeven. In bovenstaande tabel staan de ontwerppeilen voor 2065 en 2115, niet voor 2115+.



Tauw



Bos



ROYAL HASKONING

7 GOLFBELASTING

7.1 Inleiding

Het doel van de golfmodellering is om de golfbelasting te bepalen op de dijken en de kunstwerken. De maatgevende golfkarakteristieken zijn input voor het bepalen van het overslagdebiet en de benodigde extra kruinhoogte. Hiervoor is gebruik gemaakt van het model SWAN (Simulating Waves Nearshore) ontwikkeld door de TU Delft.

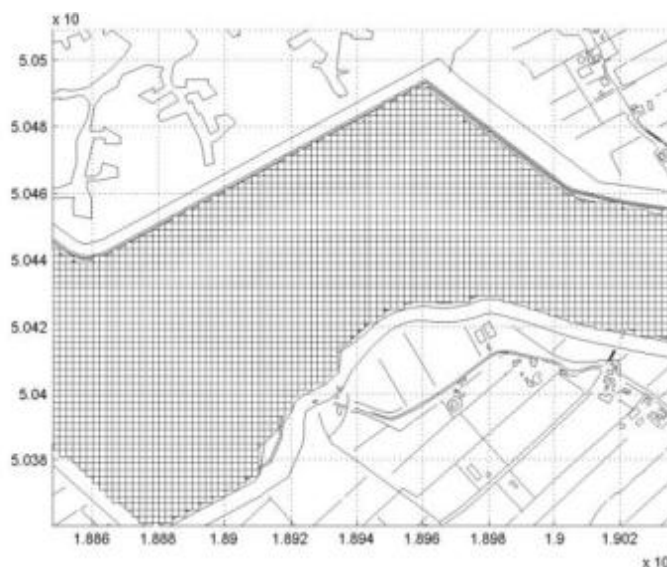
Het volledig spectrale golfmodel SWAN ondersteunt onder andere processen als refractie, shoaling, bodemwrijving, diepte gerelateerde golfbreking, white capping en golfgroei door wind. Het model presenteert het berekende golfveld op een modelrooster uitgaande van de spectrale dichtheid op discrete frequenties en richtingen. Voor de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van een stationaire berekening op een rechthoekig modelrooster.

7.2 SWAN Model

7.2.1 Model rooster

Voor het opstellen van het modelrooster is rekening gehouden met de volgende zaken:

- De randen waar de golfcondities niet goed bekend zijn, mogen geen effect hebben op de resultaten in het interessegebied. Dit geldt voor de rand in het Ketelmeer ter hoogte van het IJsseloog;
- De grootte van de rekencellen dient voldoende klein te zijn om ruimtelijke verandering in diepte te kunnen reproduceren die invloed op de golf condities hebben in het interessegebied. Daarom is gekozen voor een 20x20 meter modelrooster, zodat de bypass en de smallere delen van het rekendomein voldoende zijn gedekt.

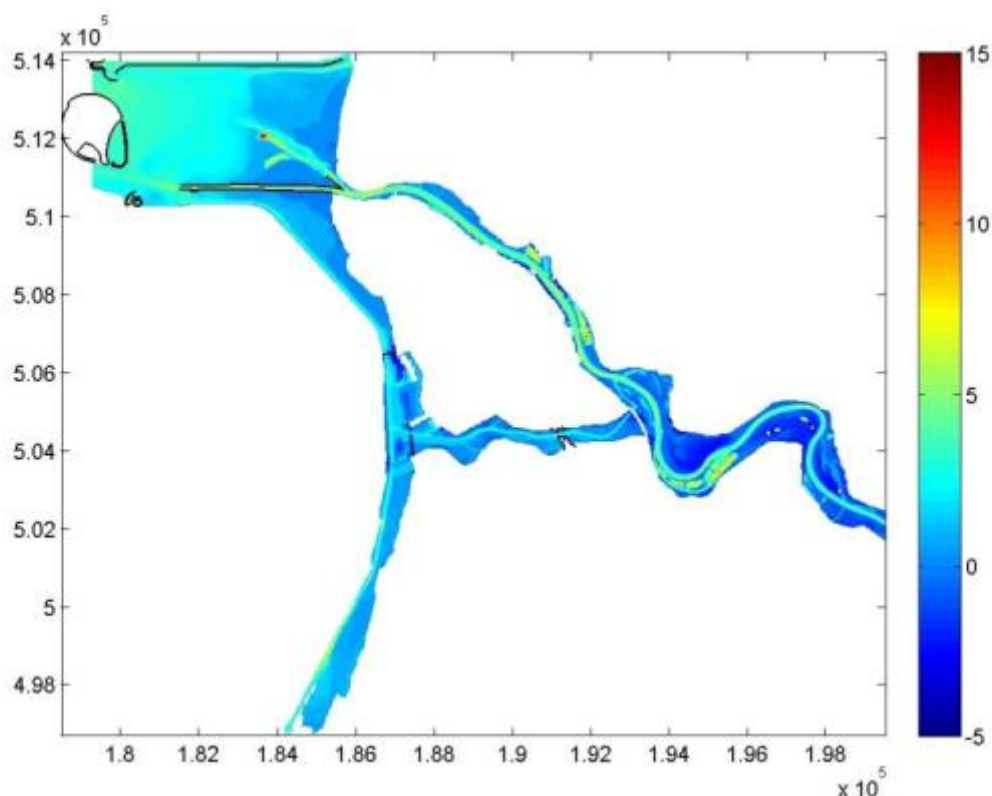


Figuur 7.1: Deel van het rekenrooster in de bypass

7.2.2 Schematisatie bodemhoogtes

De bodem die in het model is gebruikt is afkomstig van de WAQUA schematisatie voor de IJssel en Ketelmeer. Daarnaast is voor ontbrekende gegevens gebruik gemaakt van het DTB NAT. Dit geldt onder meer voor het Drontermeer. De bodem is opgegeven in SWAN als een 20x20 meter rooster.

Figuur 7.2 toont de bodemhoogte. In de figuur zijn de obstakels in het model weergegeven met zwarte lijnen, een toelichting hierop is in paragraaf 7.2.4 gegeven.



Figuur 7.2: Bodemhoogte in m+NAP in het SWAN model

7.2.3 Randvoorwaarden

De model randvoorwaarden bestaan alleen uit initiële condities. Vooraf is bekeken of het opleggen van een golfspectrum op het Ketelmeer doorwerkt naar de bypass. Dit bleek niet het geval te zijn. Daarom zijn bij de modelberekeningen geen golven opgelegd op de westelijke rand bij het Ketelmeer, en is slechts gekeken naar golfgroei door wind. Dit betekent dat de golfhoogten bij de westelijke rand in het Ketelmeer in werkelijkheid groter zijn dan volgens het model, dit heeft echter geen invloed op de golfhoogtes in de bypass.

Voor de golfmodellering geldt dat er een beperkte set aan condities is doorgerekend (29 stuks, zie tabel 4.3). Voor alle condities die tot de maatgevende waterstanden zouden kunnen leiden zijn golfberekeningen gemaakt. Daarnaast zijn er berekeningen gemaakt bij een lagere windsnelheid per 45 graden windroos. Deze laatste condities volgen uit de Leidraad Rivieren voor het ontwerp van rivierdijken [18]. Het blijkt echter dat deze laatste condities, door de veel lagere waterstanden, niet tot de maatgevende golfbelasting zullen leiden. De golfaanval bij oostelijke wind kan weliswaar heftiger zijn doordat de golven loodrecht op de dijk invallen, bij de bijvoorbeeld naar het oosten georiënteerde dijken, maar het bijbehorende waterpeil is veel lager dan de maatgevende waterstand (zie hoofdstuk 6), waardoor de golf uiteindelijk niet relevant is voor de te benodigde kruinhoogte.

De initiële condities zijn afkomstig uit de verschillende WAQUA berekeningen (zie tabel 4.3) waarmee stroomsnelheden en waterstanden zijn bepaald die zijn opgenomen in het SWAN model.

7.2.4 Model instellingen

Per fase zijn er obstakels in het model opgenomen. De onderstaande obstakels gelden voor alle fasen:

- Schokkerhaven;
- Slufter;
- Ketelhaven;
- Noordelijke dam in het Ketelmeer ten zuiden van de Ramsweg;
- Dammen aan weerszijden van het Keteldiep;
- Grondlichamen van de Knoop (brug N50/Hanzelijn).

Al deze obstakels zijn opgenomen als harde constructies waarbij geen golftransmissie plaatsvindt en een beperkte golfreflectie (0,25) van toepassing is. Voor de dammen aan weerszijden van het Keteldiep geldt dat de transmissiecoëfficiënt afhangt van de golfcondities en de hoogte van de dammen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de d'Angremond / Van der Meer formulering voor het bepalen van de transmissiecoëfficiënt.

Al deze obstakels met uitzondering van de Roggebotsluis zijn opgenomen met variabele transmissiecoëfficiënten net als de dammen van het Keteldiep. De (kruin)hoogte van alle constructies zijn waar mogelijk afgeleid van het WAQUA model. Verder is uitgegaan van een gesloten inlaatwerk en is uitgegaan van een geheel open constructie bij de Nieuwedijkse brug, dit geeft een conservatieve benadering.

De spectrale richtingen in het SWAN model zijn bepaald in sectoren van 2,5°. De laagste frequentie die daarbij wordt beschouwd is 0,025 en de hoogste 0,8.

Het model is niet meer gewijzigd na de scopewijzigingen. T.o.v. het SNIP3 ontwerp van april 2011 levert dit een verschil bij de Reevedam en bij de oeverwal (object 1H10) van het Drontermeer. Door de wijzigingen wordt de Reevedam reeds in fase 1 aangelegd en wordt de oeverwal verwijderd in fase 1. Met analytische berekeningen (Brettschneider) zijn de effecten op de golfrandvoorwaarden doorgerekend.



De bodemruwheid is meegenomen als een semi-empirische uitdrukking die is afgeleid van de JONSWAP resultaten voor bodemfrictie dissipatie uit Hasselman et al. (1973, JONSWAP). Dit betekent dat er geen rekening is gehouden met vegetatie in het golfmodel. In werkelijkheid zal er in de bypass wel sprake zijn van vegetatie, waardoor de golfparameters worden beïnvloed. Daardoor zijn de met SWAN bepaalde golven te beschouwen als een conservatieve benadering. In werkelijkheid zullen de golven in gebieden met vegetatie lager zijn (i.e. in de bypass).

Alle relevante ondiep water processen zijn in SWAN meegenomen, zoals niet-lineaire interacties, bodemwrijving, windgroei en white capping. Voor deze processen zijn de standaard SWAN parameterwaarden gebruikt.

De optredende maatgevende golfbelastingen voor de dijken en kunstwerken in en langs de bypass worden volledig bepaald door de condities voor fase 2. Echter vanwege de uitvoeringsduur van de bypassdijken is het relevant om voor fase 1 de maatgevende belastingen inzichtelijk te krijgen.

7.3 Golfbelasting voor fase 1

In deze paragraaf wordt voor de verschillende objecten de golfbelasting in fase 1 gegeven, op basis van berekeningen met de Brettschneider formuleringen.

7.3.1 IJsseldijk

Voor fase 1 geldt dat de maatgevende golfhoogtes voor de bypasszijde van de IJsseldijk gegeven kunnen worden tijdens een extreme 1/4000 jaar zuidwesterstorm. De maatgevende waterstand bij de IJsseldijk is dan NAP+2,9 m. Aan de noordelijke zijde van de IJsseldijk zijn de golven het hoogst bij deze conditie. De optredende golfhoogte is 0,85 m met een piekperiode van 2,9 s en een golfrichting van 284 graden. Aan de zuidelijke zijde wordt de golfhoogte gedomineerd door een wind van 270 graden.

Voor de IJsselzijde van de IJsseldijk blijft de golfbelasting gelijk aan de huidige situatie.

7.3.2 Bypassdijken en Drontermeerdijk

Vanwege de langere uitvoeringsduur van de bypassdijken en de huidige sterkte van de Drontermeerdijk is het noodzakelijk om de golfbelasting voor fase 1 op deze objecten te bepalen.

De golfbelasting op de bypassdijken in fase 1 wordt gegeven door twee situaties:

- 1) Een situatie van extreem hoge IJsselafvoer, waarbij $220 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt onttrokken naar de bypass, in combinatie met een stormconditie met windsnelheid van 20 m/s. De waterstand in de bypass is dan circa NAP+1,7 tot NAP+2,15 m. Loodrecht invallende golven in de bypass zijn dan maximaal 0,5 m tot 0,6 m hoog langs de bypassdijken met piekperiode van 3,2 s. Bij bepalen van uitvoeringsduur van de bypassdijken moet er voor gezorgd worden dat de bypassdijken in 2017 deze belasting reeds kunnen dragen.
- 2) Een situatie bij een extreme zuidwester storm (1/2000 jaar). De waterstand in de bypass varieert dan tussen de NAP+2,2 in het westen en NAP+2,7 in het oosten. Bij dergelijke conditie zijn de golfhoogtes in het westelijke gedeelte 0,8 m met een piekperiode van 2,9 s. in het oostelijke gedeelte is dit 0,6 m met 3,0 s. De golven hebben een richting van circa 220 tot 260 graden.

Voor de golfbelasting op de Drontermeerdijk (gedeelte tussen Reevedam en Roggebotkering) in fase 1 wordt onderscheid gemaakt voor de verschillende dijkvakken zoals opgenomen in het Waterkeringsplan [13]:

- Voor vak DD1 en DD2 veranderen de strijklengtes niet na aanleg van de bypass. De golfbelasting blijft gelijk aan de huidige situatie. Deze golfbelasting is bepaald met Hydra-Q_c (zie tabel 7.1).
- De vakken DD3 en DD4 hebben een voorland. De golfbelasting op het voorland zal lokaal toenemen door de aanwezigheid van de vaargeul in het bypassgebied. De strijklengte in oost tot zuidoostelijke richting is lokaal maximaal 1700 m. Bij een maximale windsnelheid van 20 m/s kan de loodrecht invallende golf op het voorland toenemen tot een hoogte van 0,55 m met een piekperiode van 2,87 s. Zie tabel 7.1.
- Voor het boventalud voor de vakken DD3 en DD4 wordt rekening gehouden met een storm van eens per 4 jaar ¹¹. Deze eens per 4 jaar storm uit richting 60 tot 120 graden heeft een snelheid van 14 m/s. De effectieve strijklengte is 5 km bij een waterdiepte van 3,7 m. De golfhoogte is dan 0,58 m en de piekperiode 3,0 s. Zie tabel 7.1.

Tabel 7.1: Hydraulische ontwerpparameters Drontermeerdijk vakken DD1 –DD4 voor fase 1

dijkvakken	HR-locatie	dijknormaal [° t.o.v. noord]	taludniveau [m + NAP]	windrichting [° t.o.v. noord]	significante golfhoogte H _s [m]	piekperiode T _p [s]
DD1-DD2	D10 Roggebotsluis	90	-0,5	120	0,41	2,3
			0,3	150	0,56	2,8
			0,5	180	0,69	3,1
			1,5	180	0,66	3,0
DD3-DD4	D9 Wanningweg	90	-0,5- tot 1,4	110	0,55	2,9
			1,4 tot 1,7	100	0,58	3,0
DD3-DD4	D9 Wanningweg	90	-0,5	150	0,50	2,7
			0,3	150	0,55	2,8
			0,5	180	0,68	3,1
			1,5	180	0,66	3,0

Voor het bepalen van de versterking die nodig is bij het inzetten van de bypass zullen de ontwerpparameters worden vergeleken met de toetsrandvoorwaarden. Voor de vakken DD1 en DD2 zijn deze voor golven gelijk. De toetsrandvoorwaarden voor golven voor de vakken DD3 en DD4 zijn gegeven in tabel 7.2. In het Waterkeringsplan [13] is deze toets verder toegelicht.

¹¹ De terugkeertijd voor de gecombineerde storm is bepaald op basis van het uitgangspunt dat een situatie van meestromen in combinatie met een storm niet mag leiden tot een overschrijding van de normomstandigheden. Hiervoor is een factor 10 op de veiligheidsnorm van 1/4.000 jaar gehanteerd. Ofwel als de overschrijdingskans van de combinatie kleiner is dan een kans van 1/40.000, zal deze de normbelasting niet overstijgen. Dit is het geval bij een combinatie van een eens per 4 jaar storm en een 1/1250 jaar afvoer met een reductie factor van 5/182 (hoogwaterpiek van meer dan 15.500 m³/s kan 5 dagen aanhouden tijdens winter halfjaar volgens de HR afvoergolven).

Tabel 7.2: Hydraulische toetsparameters volgens HRC2006 voor de vakken DD3-DD4

dijkvakken	HR-locatie	dijknormaal [° t.o.v. noord]	taludniveau [m + NAP]	windrichting [° t.o.v. noord]	significante golfhoogte H_s [m]	piekperiode T_p [s]
DD3-DD4	D9 Wanningweg	90	-0,5	150	0,50	2,7
			0,3	150	0,55	2,8
			0,5	180	0,68	3,1
			1,5	180	0,66	3,0

7.3.3 Reevedam

De maximale golfbelasting aan de noordzijde van de Reevedam tijdens fase 1 kan bereikt worden door 2 situaties:

1. een situatie van extreem hoge IJsselafoer, waarbij $220 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt onttrokken naar de bypass, in combinatie met een stormconditie met windsnelheid van 20 m/s uit noordelijke richting. De waterstand nabij de noordzijde Reevedam is dan circa NAP+1,85 m. Loodrecht invallende golven in de bypass zijn dan circa 0,75 m hoog met piekperiode van 3,3 s;
2. een situatie van een 1/4000 jaar noorderstorm. Bij een windsnelheid van 27 m/s en een waterpeil van NAP+0,2 m in de bypass (halve meter stijging door bijvoorbeeld extreme regenval, betreffende stijging is een grove schatting) is de maximale golfhoogte aan de noordzijde van de Reevedam circa 0,8 m met een piekperiode van 3,5 s. Deze golven zijn licht hoger dan bij situatie 1 maar treden wel op bij een lagere waterstand.

Aan de zuidzijde van de Reevedam geldt voor fase 1 en fase 2 een golfhoogte van 0,71 m bij een windrichting van 210 graden. Deze golfhoogte is afgeleid uit de geldende maatgevende golfhoogte voor Roggebot Zuid voor een 1/4000 jaar conditie. Deze golfhoogte wijzigt daarmee niet ten opzichte van de waarden voor fase 2 in de rapportage van 28 april 2011. Echter door de versnelde aanleg van de Reevedam gaat deze ook reeds gelden voor fase 1.

7.3.4 Roggebotkering

De ontwerpfuncties bij Roggebot Zuid tonen dat de maatgevende golfbelasting in de huidige situatie plaats vindt bij windrichtingen van 180 en 150 graden. Golfhoogtes bij deze condities zijn ca. 0,70 m. Deze golfcondities zullen in de toekomstige situatie voor fase 1 niet veranderen.

Ook aan de noordzijde van de Roggebotkering blijven de maatgevende golfhoogtes ongewijzigd t.o.v. de huidige situatie in zowel fase 1 als fase 2.

7.4 Golfbelasting voor fase 2

De hydraulische belastingen die optreden voor fase 2 zijn, door de open verbinding met het IJsselmeer en de functie als hoogwatergeul, maatgevend voor het ontwerp van de dijklighamen en de kunstwerken.

In tabel 7.3 is een overzicht gegeven van de golfbelastingen (significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting) bij de conditie die leidt tot de maatgevende waterstand voor elk illustratiepunt langs de bypass dijken. In tabel 7.4 is dit zelfde gedaan voor de ontwerpfunten voor de kunstwerken.

In deze tabellen zijn de golfperiodes en de golfhoogtes met een toeslag van 10% verhoogd, zoals voorgeschreven in het Addendum Zee- en Meerdijken [22].

In figuur 7.3 en figuur 7.4 zijn de golfhoogtes en golfperiodes bij een 1/2000 jaar windconditie (F2_U5) met windrichting van 300 graden en een windsnelheid van 32,75 m/s getoond. In figuur 7.5 en figuur 7.6 zijn de golfhoogtes en golfperiodes bij een 1/2000 jaar windconditie (F2_U4) met windrichting van 270 graden en een windsnelheid van 36,4 m/s getoond. In figuur 7.7 en figuur 7.8 zijn de golfhoogtes en golfperiodes bij een 1/4000 jaar windconditie (F2_U7) met windrichting van 300 graden en een windsnelheid van 33,85 m/s getoond. In figuur 7.9 en figuur 7.10 zijn de golfhoogtes en golfperiodes bij een 1/4000 jaar windconditie (F2_U6) met windrichting van 270 graden en een windsnelheid van 37,6 m/s getoond.

7.4.1 Golfbelasting voor bypass dijken

Voor de bepaling van de kruinhoogte van de bypass dijken is het noodzakelijk om de golfbelasting behorende bij de conditie die leidt tot de maatgevende waterstand te bepalen. Voor de dijken die noordwaarts of westwaarts zijn georiënteerd, zullen deze condities ook een maatgevende golfhoogte geven. Voor de dijken die meer oostwaarts of zuidwaarts zijn georiënteerd, zullen deze condities echter niet leiden tot maatgevende golven, vanwege de voor deze dijken oostelijke (aflandige) windrichtingen.

De maatgevende significante golfhoogtes voor 2065 en 2115 op de noord- en westwaarts georiënteerde dijken zijn ca. 0,6 m tot 0,9 m. Voor de meer oostwaarts en zuidwaarts georiënteerde dijken zijn de golfhoogtes ca. 0,4 tot 0,5 m met een aflandige richting.

Bij de noordelijke dijken in de bypass variëren de golfhoogtes tussen de 0,4 en 0,8 m. De golfrichtingen variëren tussen de 240 en de 360 graden. Voor sommige ontwerpfunten (zoals III Noord 1, III Noord 3 en I Noord 3) is dit een aflandige golf (van de dijk afgerichte golf). Aan de zuidelijke dijk zijn de golfhoogtes over algemeen iets hoger en valt de golf ook rechter op de dijk. De golfhoogtes variëren tussen de 0,4 en 0,9 m.

De condities U8 t/m U15 bevatten de maatgevende windcondities uit de officiële methode van de Leidraad Rivieren voor het ontwerp van rivierdijken [18]. Met deze condities kan beoordeeld worden welke golfcondities kunnen ontstaan op de dijken die meer oostwaarts of zuidwaarts zijn georiënteerd.

Het blijkt echter dat deze aflandige windcondities door de relatief lage windsnelheid slechts voor een zeer geringe golfoploop zorgen. De golfoploop blijft lager dan de gestelde waakhoogte van 0,5 m.

Hiermee wordt de kruinhoogte van deze oost- of zuidwaarts georiënteerde dijken bepaald worden door het ontwerppeil + 0,5 m waakhoogte. Het ontwerppeil ligt ca. 1 à 3 meter hoger bij westelijke wind, dan het waterpeil bij een sterke oostelijke of zuidelijke wind.

7.4.2 Golfbelasting voor klimaatdijk

De maatgevende significante golfhoogte bij de klimaatdijk is ca. 0,85 m voor het westwaarts georiënteerde gedeelte. Voor het meer oostwaarts georiënteerde gedeelte geldt een afluiddig gerichte golf met een golfhoogte van ca. 0,4 m. Deze afluiddig georiënteerde golf maakt dat de benodigde kruinhoogte op basis van een golfoverslag berekening lager zou kunnen zijn, dan de minimaal geldende waakhoogte. Voor deze sectie geldt dus een ontwerppeil plus een minimale waakhoogte van 0,5 m.

De gehanteerde golfhoogtes voor de klimaatdijk met een ontwerphorizon van meer dan 100 jaar, zijn nauwelijks hoger dan de golfhoogtes voor de overige dijksecties met een ontwerphorizon van 50 of 100 jaar. Dit komt doordat de golfhoogtes bij de gegeven maatgevende condities niet meer diepte gelimiteerd zijn.

7.4.3 Golfbelasting voor Drontermeerdijk en Reevedam

De significante maatgevende golfhoogtes op de Drontermeerdijk zijn ca. 0,4 tot 0,6 m, voor een ontwerpnorm van 1/4000 jaar. Dit is lager dan de maximale golfhoogtes in de huidige situatie, waarbij de Drontermeerdijk nog onderdeel is van de Randmeren. In de huidige situatie zijn de maatgevende significante golfhoogtes ca. 0,7 tot 0,9 m. Dit komt omdat de maatgevende waterstand in fase 2 wordt bepaald door noordwester tot westerstorm, welke afluiddig georiënteerde richtingen zijn voor de Drontermeerdijk. In de huidige situatie wordt de maatgevende waterstand bepaald door zuidwester storm, wat leidt tot meer richting de dijk georiënteerde golven.

Vanwege de hogere maatgevende waterstand voor fase 2 moet de Drontermeerdijk echter wel verhoogd worden. De lagere golven doen hier niets aan af.

De significante golfhoogte op de Reevedam is ca. 0,85 m voor 2115. Deze golf wordt gegenereerd bij windrichtingen van 300 graden en zorgt voor een richting de dijk georiënteerde golfrichting.

Aan de zuidzijde van de Reevedam geldt een significante golfhoogte van 0,71 m bij een windrichting van 210 graden. Deze golfhoogte is afgeleid uit de geldende maatgevende golfhoogte voor Roggebot Zuid voor een 1/4000 jaar conditie.

7.4.4 Golfbelasting voor IJsseldijk

Op de westelijke zijde van de IJsseldijk is de significante maatgevende golfhoogte ca. 1,0 m bij een 1/4000 jaar stormconditie met een windrichting van 270 graden. Aan de oostelijke zijde zijn de golfhoogtes lager, doordat deze dijk oostwaarts is georiënteerd. Dit leidt bij maatgevende waterstanden tot een afluiddig golf van ca. 0,5 m nabij het dijklichaam.

7.4.5 Maximale golfhoogtes voor taludbekleding

In tabel 7.4 en 7.5 zijn de maximale golfhoogtes binnen de set berekende condities weergegeven voor de verschillende ontwerppunten. De maximale golfhoogte kan een andere golf zijn dan de golven die in de vorige alinea's zijn gepresenteerd. De maximale golfhoogte hoeft niet altijd voor te komen bij dezelfde conditie als de conditie die het ontwerppeil geeft. De maximale golfhoogte kan gebruikt worden voor het dimensioneren van de taludbescherming van de dijken.



Bij de noordelijke dijken in de bypass variëren de maximale berekende golfhoogtes tussen de 0,4 en 1,0 m. Aan de zuidelijke dijk variëren de golfhoogtes tussen de 0,4 en 0,9 m. De maximale berekende golfhoogtes op de Drontermeerdijk zijn ca. 1,0 m en op de IJsseldijk West ook ca. 1,0 m.

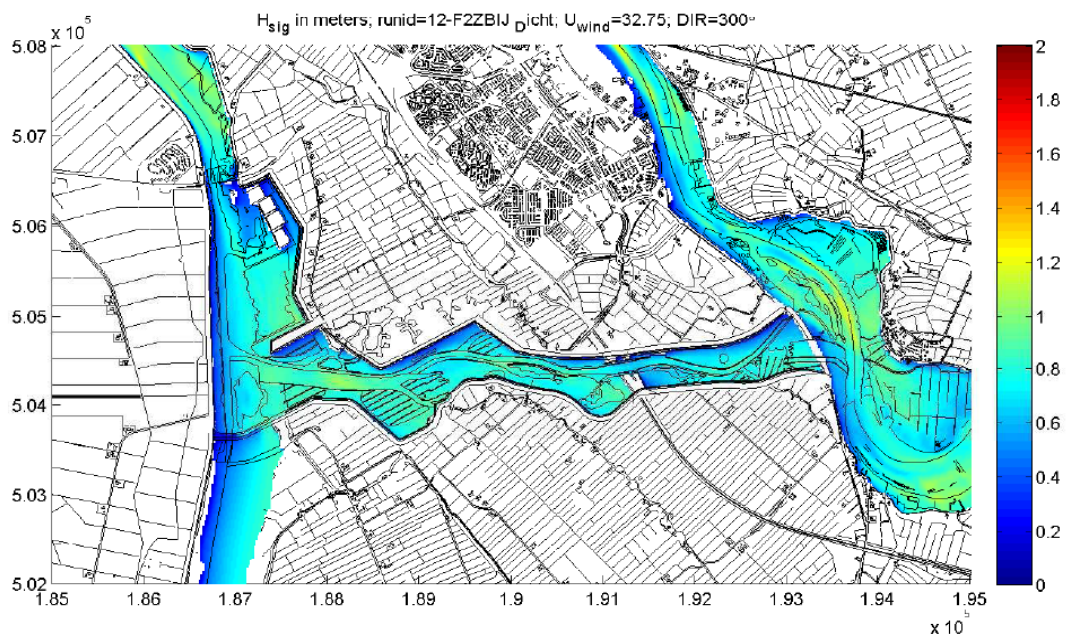
7.4.6 Open of gesloten inlaatwerk

Voor de golven is niet inzichtelijk gemaakt wat het effect is van een open of een gesloten inlaatwerk.

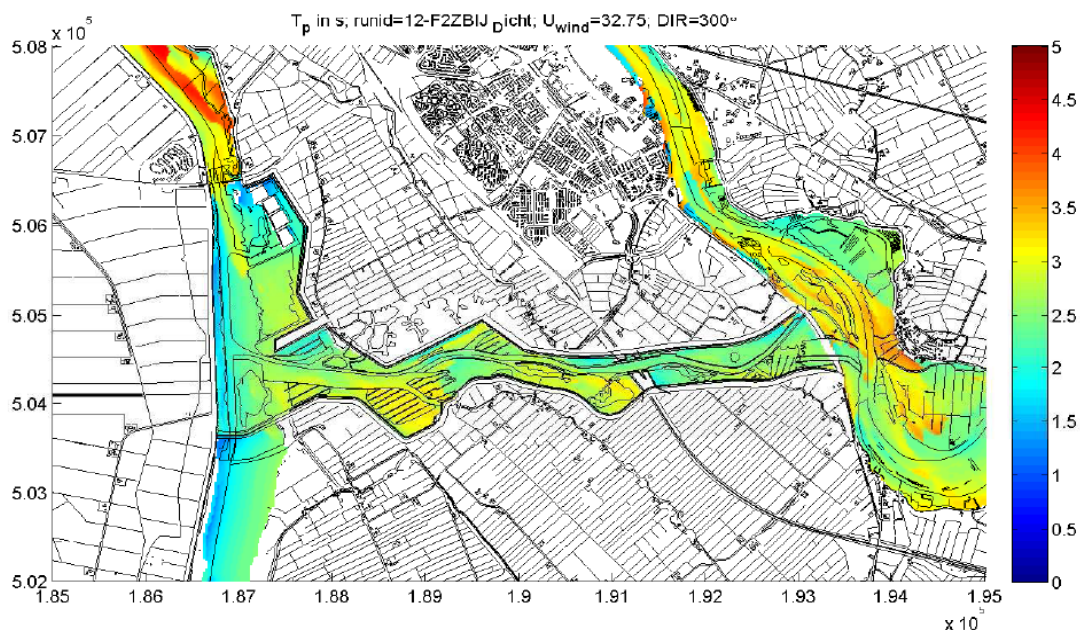
Voor de golfhoogtes in de bypass heeft dit ook nauwelijks een verschil. Voor de golfhoogtes op de IJsseldijk kan het nog wel een effect hebben. Bij een geopend inlaatwerk neemt de golfaanval op de oostelijk gelegen IJsseldijk toe door de langere strijklengte, althans als de golven ongehinderd door het inlaatwerk kunnen gaan lopen. Door de pijlers/sectiehoofden in het inlaatwerk worden de golven mogelijk gebroken, of treedt er tenminste energieverlies op. De afstand tussen de sectiehoofden in het inlaatwerk is 10 meter. Tevens zal er energieverlies optreden door de schotten welk ingesteld staan op NAP+1,5 m.

7.4.7 Invloed meerpeilstijging

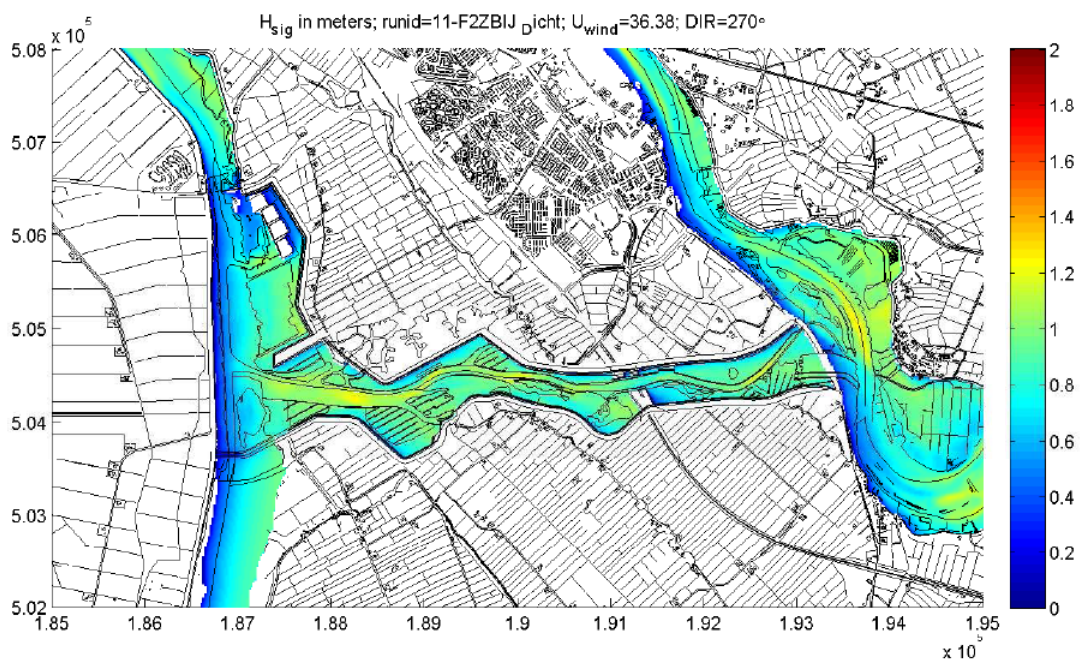
In de golfberekeningen zijn berekeningen gemaakt bij een peilopzet van 0 cm, 30 cm en 1 m. Uit tabel 7.3, 7.4 en 7.5 blijkt dat het verhogen van het meerpeil met 1 m (2115) nauwelijks verschil geeft in de golfhoogte bij maatgevende waterstand condities. Het verschil in golfhoogte verschilt per locatie, maar is in de orde van 1 tot 5 cm hoger in scenario voor 2115 t.o.v. scenario voor 2065. Daarmee blijkt de meerpeilstijging geen grote invloed te hebben op de maximale golfhoogtes bij een maatgevende waterstandconditie. Hierdoor kan worden geconcludeerd dat de golven bij deze maatgevende waterstandcondities niet meer diepte gelimiteerd zijn. Onder normale dagelijkse condities heeft een het verhogen van het meerpeil wel effect op de golfhoogtes, aangezien onder normale omstandigheden de golven wel diepte gelimiteerd zullen zijn.



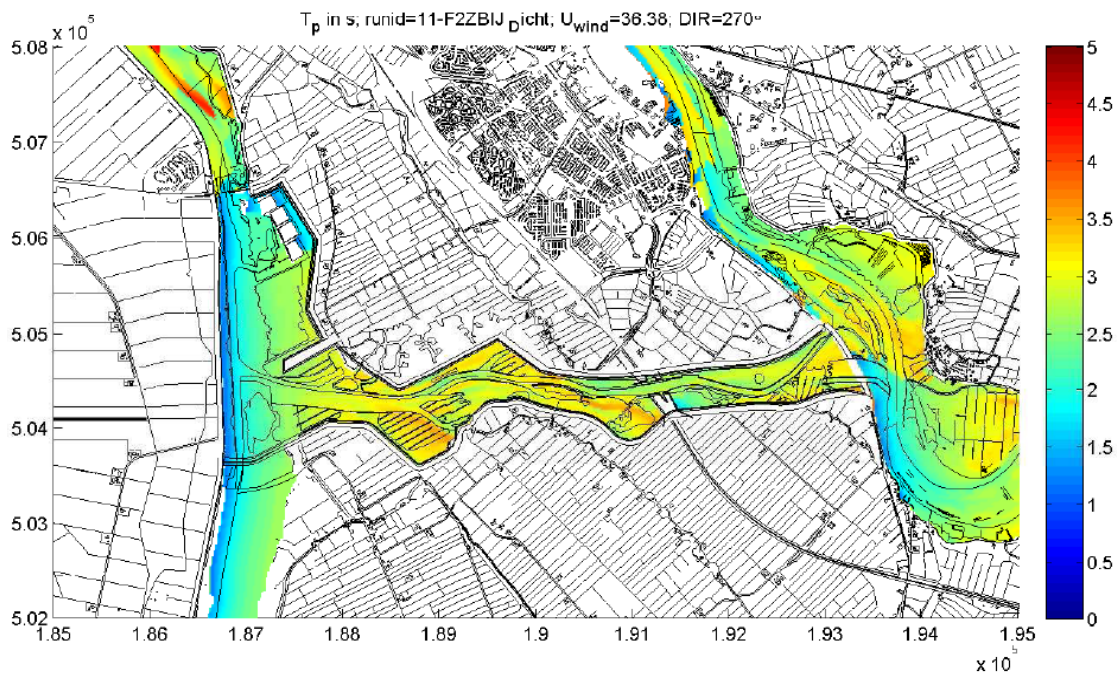
Figuur 7.3: Significante golfooogtes (m) bij een 1/2000 storm tijdens fase 2 (wind 32,7 m/s, 300 graden)



Figuur 7.4: Piekperiodes (s) bij een 1/2000 storm tijdens fase 2 (wind 32,7 m/s, 300 graden)



Figuur 7.5: Significante golfhoogtes (m) bij een 1/2000 storm tijdens fase 2 (wind 36,4 m/s uit 270 graden)



Figuur 7.6: Piekperiodes bij een 1/2000 storm tijdens fase 2 (wind 36,4 m/s uit 270 graden)



Tabel 7.3: Golfkarakteristieken behorende bij het ontwerppeil voor 2065 en 2115 voor de ontwerppunten van de dijken (inclusief 10% toeslag)

illustratiepunt	norm	Golfkarakteristieken 2065 (10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)					Golfkarakteristieken 2115 (1 m stijging streefpeil IJsselmeer)				
		Gesloten Inlaatwerk					Gesloten Inlaatwerk				
		windsnelheid [m/s]	windrichting [degr N]	golfhoogte	piekperiode [s]	Golfrichting [graden]	windsnelheid [m/s]	windrichting [degr N]	golfhoogte [m+NAP]	piekperiode [s]	Golfrichting [graden]
IJsseldijk Oost	1/4000	37.6	270	0.47	1.61	316	37.6	270	0.52	1.66	316
IJsseldijk west	1/4000	37.6	270	0.99	3.66	251	37.6	270	1.03	3.71	251
IV West 1	1/4000	33.85	300	0.58	2.10	341	37.6	270	0.63	2.15	341
IV West 2	1/4000	33.85	300	0.47	1.76	359	33.85	300	0.52	1.80	359
IV West 3	1/4000	33.85	300	0.39	1.98	9	33.85	300	0.44	2.02	9
Reevedam N	1/4000	33.85	300	0.78	2.50	339	33.85	300	0.83	2.55	339
I Noord 1	1/2000	32.75	300	0.39	2.60	256	33.85	300	0.41	2.61	256
I Noord 2	1/2000	32.75	300	0.40	2.59	239	32.75	300	0.41	2.57	241
I Noord 3	1/2000	36.38	270	0.46	2.52	240	32.75	300	0.31	2.57	251
I Zuid 1	1/2000	32.75	300	0.70	2.71	284	32.75	300	0.72	2.74	281
I Zuid 2	1/2000	32.75	300	0.86	3.09	271	32.75	300	0.88	3.11	271
I Zuid 3	1/2000	36.38	270	0.81	3.16	275	32.75	300	0.84	3.04	284
II Noord 1	1/2000	32.75	300	0.57	2.24	271	32.75	300	0.58	2.26	271
II Zuid 1	1/2000	32.75	300	0.81	3.15	296	32.75	300	0.83	3.21	296
III Noord 1	1/2000	32.75	300	0.42	2.35	241	32.75	300	0.42	2.39	244
III Noord 2	1/2000	32.75	300	0.81	2.88	260	32.75	300	0.84	2.93	261
III Noord 3	1/2000	32.75	300	0.52	3.29	252	32.75	300	0.54	2.34	256
III Noord 4	1/2000	32.75	300	0.66	3.19	246	32.75	300	0.70	3.22	246
III Zuid 1	1/2000	32.75	300	0.90	3.18	326	32.75	300	0.92	3.20	326
III Zuid 2	1/2000	32.75	300	0.67	3.10	326	32.75	300	0.68	3.12	326
III Zuid 3	1/2000	32.75	300	0.87	2.72	286	32.75	300	0.90	2.71	284
IV oost 1	1/2000	32.75	300	0.42	1.89	287	32.75	300	0.43	1.89	291
IV oost 2	1/2000	32.75	300	0.91	3.14	307	32.75	300	0.97	3.17	311
IV oost 3	1/2000	32.75	300	0.98	2.96	324	32.75	300	1.02	3.03	326



Tabel 7.4: Golfkarakteristieken behorende bij het ontwerppeil voor 2065 en 2115 voor de kunstwerken (inclusief 10% toeslag)

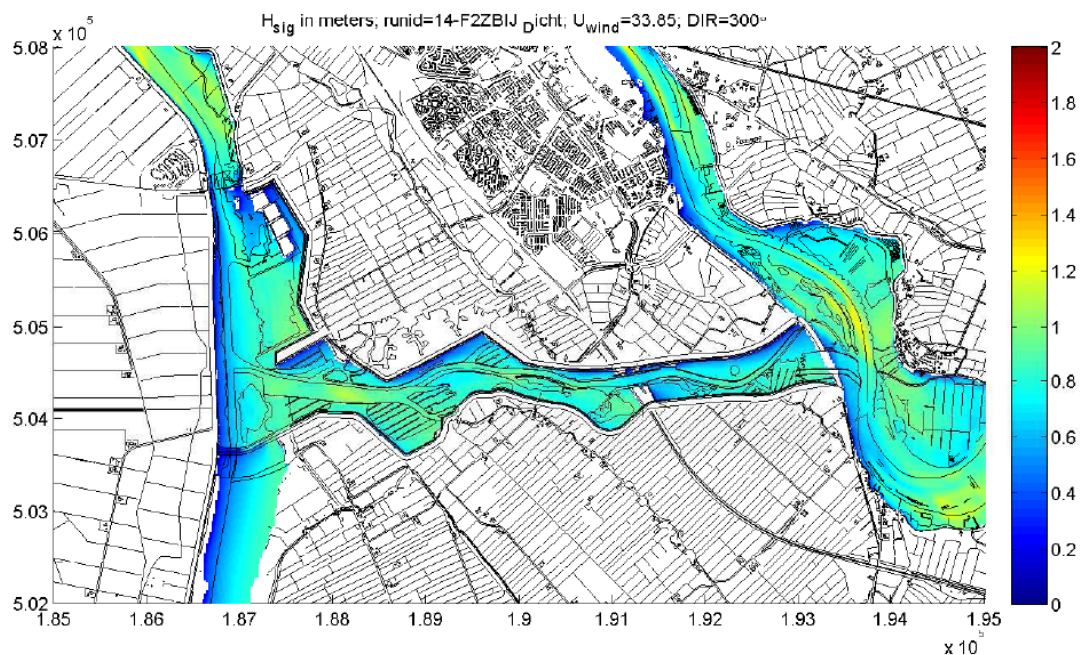
illustratiepunt	illustratiepunt	norm	Golfkarakteristieken 2065 (10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)					Golfkarakteristieken 2115 (1 m stijging streefpeil IJsselmeer)				
			Gesloten Inlaatwerk					Gesloten Inlaatwerk				
			windsnelheid [m/s]	windrichting [degr N]	golfhoogte	piekperiode [s]	Golfrichting [graden]	windsnelheid [m/s]	windrichting [degr N]	golfhoogte [m+NAP]	piekperiode [s]	Golfrichting [graden]
IJsseldijk bypass zijde	Noord	1/4000	37.6	270	0.87	2.92	229	37.6	270	0.91	2.97	229
	midden	1/4000	37.6	270	0.99	3.66	251	37.6	270	1.03	3.71	251
	Zuid	1/4000	37.6	270	0.96	3.01	284	37.6	270	1.01	3.06	284
IJsseldijk IJssel zijde	Noord	1/4000	37.6	270	0.74	3.51	314	37.6	270	0.79	3.55	314
	midden	1/4000	37.6	270	0.47	1.61	316	37.6	270	0.52	1.66	316
	Zuid	1/4000	37.6	270	0.47	2.06	346	37.6	270	0.52	2.11	346
Inlaat bypass	Noord	1/4000	37.6	270	1.02	3.7	261	37.6	270	1.07	3.75	261
	midden	1/4000	37.6	270	1.11	3.55	269	37.6	270	1.16	3.6	269
	Zuid	1/4000	37.6	270	1.13	3.23	281	37.6	270	1.18	3.28	281
Inlaat IJssel	Noord	1/4000	37.6	270	0.48	1.62	324	37.6	270	0.53	1.67	324
	midden	1/4000	37.6	270	0.45	1.82	336	37.6	270	0.5	1.87	336
	Zuid	1/4000	37.6	270	0.43	3.84	346	37.6	270	0.47	3.88	346
Nieuw- dijkse brug	noordoost	1/2000	32.75	300	0.76	2.91	244	32.75	300	0.8	2.95	244
	zuidoost	1/2000	32.75	300	0.87	3.15	305	32.75	300	0.88	3.18	301
	zuidwest	1/2000	32.75	300	0.86	3.15	299	32.75	300	0.87	3.17	294
	noordwest	1/2000	32.75	300	0.76	3	249	32.75	300	0.8	3.08	249
gemaal molenkolk		1/2000	32.75	300	0.98	3.19	274	32.75	300	1.01	3.36	274

Tabel 7.5: Maximale golfkarakteristieken behorende binnen de beoordeelde condities, niet gerelateerd aan het ontwerppeil, voor 2065 en 2115 voor de kunstwerken (inclusief 10% toeslag)

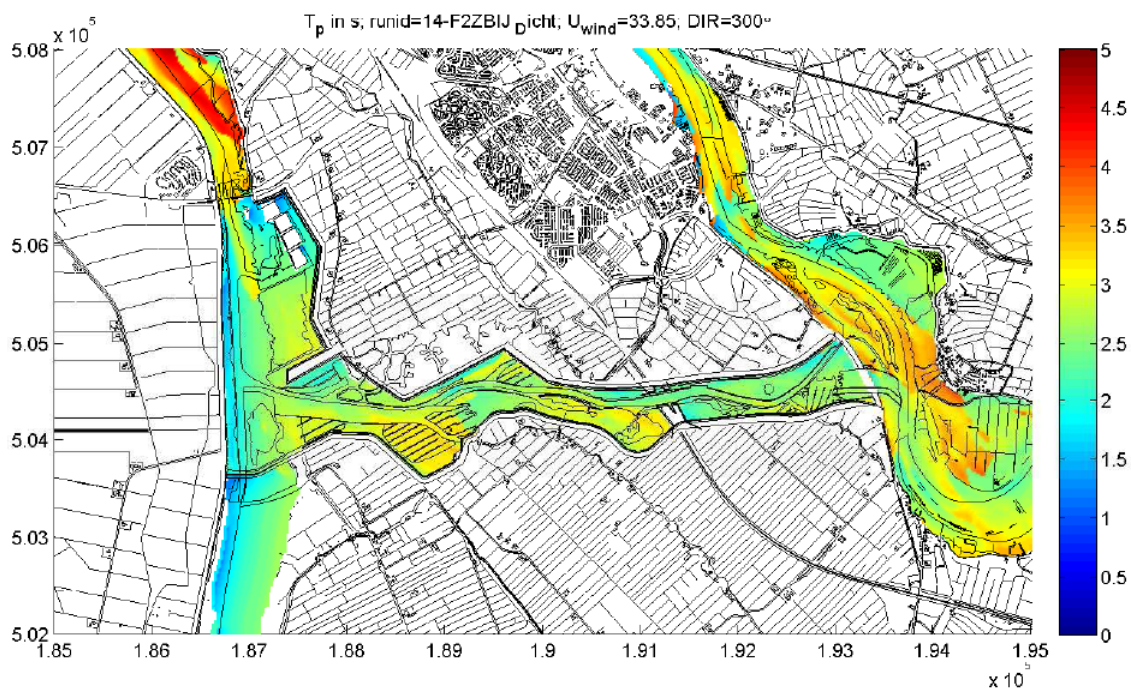
		Golfkarakteristieken 2065 (10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)							
		Gesloten inlaatwerk							
illustratiepunt		norm	golfhoogte [m+NAP]	piekperiode [s]	Golfrichting [graden]	Waterstand [m+NAP]	windsnelheid [m/s]	windrichting [degr N]	Conditie [-]
IJsseldijk bijpass zijde	Noord	1/4000	0.87	2.92	229	3.77	36.38	270	F2_U4
	midden	1/4000	0.99	3.66	251	3.79	36.38	270	F2_U4
	Zuid	1/4000	0.96	3.01	284	3.81	36.38	270	F2_U4
IJsseldijk IJssel zijde	Noord	1/4000	0.91	3.57	319	3.66	32.75	300	F2_U5
	midden	1/4000	0.51	3.82	319	3.71	32.75	300	F2_U5
	Zuid	1/4000	0.6	2.83	356	3.72	32.75	300	F2_U5
Inlaat bypass	Noord	1/4000	1.02	3.7	261	3.8	36.38	270	F2_U4
	midden	1/4000	1.11	3.55	269	3.8	36.38	270	F2_U4
	Zuid	1/4000	1.13	3.23	281	3.81	36.38	270	F2_U4
Inlaat IJssel	Noord	1/4000	0.57	2.92	259	3.32	30.26	300	F2_Q8
	midden	1/4000	0.78	2.67	256	2.98	27.53	300	F2_Q7
	Zuid	1/4000	0.82	2.79	279	3.34	30.26	300	F2_Q8
Nieuwdijkse brug	zuidoost	1/2000	0.97	3.45	296	3.51	36.38	270	F2_U4
	zuidwest	1/2000	0.94	3.37	289	3.5	36.38	270	F2_U4
	noordwest	1/2000	0.97	3.8	244	3.51	36.38	270	F2_U4
gemaal molenkolk		1/2000	1.07	2.93	274	3.39	36.38	270	F2_U4

Tabel 7.6: Maximale golfkarakteristieken behorende binnen de beoordeelde condities, niet gerelateerd aan het ontwerppeil, voor 2065 en 2115 voor de ontwerp punten van de dijken (inclusief 10% toeslag)

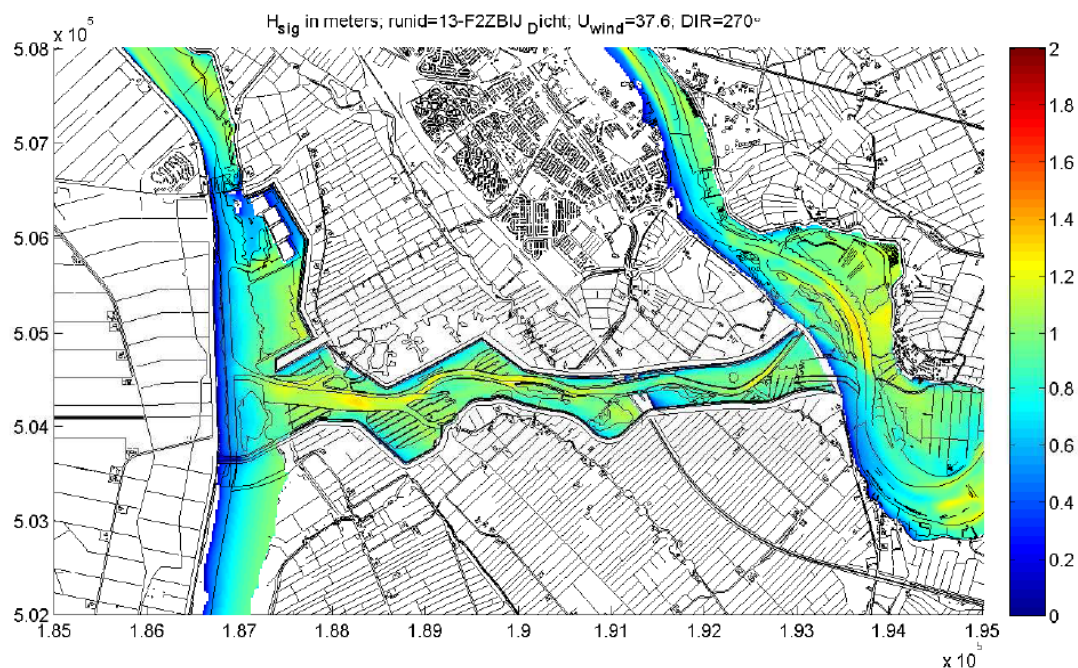
		Golfkarakteristieken 2065 (10 cm stijging streefpeil IJsselmeer)						
		Gesloten inlaatwerk						
Illustratie- punt	norm	golfhoogte [m+NAP]	piekperiode [s]	Golfrichting [graden]	Waterstand [m+NAP]	windsnelheid [m/s]	windrichting [degr N]	Conditie [-]
IJsseldijk Oost	1/4000	0.51	3.82	319	2.6	33.85	300	F2_U7
IJsseldijk west	1/4000	0.99	3.66	251	2.68	37.6	270	F2_U6
IV West 1	1/4000	0.58	2.10	341	2.32	33.85	300	F2_U7
IV West 2	1/4000	0.47	1.76	359	2.35	33.85	300	F2_U7
IV West 3	1/4000	0.39	1.98	9	2.37	33.85	300	F2_U7
Reevedam N	1/4000	0.78	2.50	339	2.39	33.85	300	F2_U7
I Noord 1	1/2000	0.63	2.71	249	3.63	36.38	270	F2_U4
I Noord 2	1/2000	0.63	3.11	231	3.68	36.38	270	F2_U4
I Noord 3	1/2000	0.54	2.74	236	3.73	36.38	270	F2_U4
I Zuid 1	1/2000	0.70	2.82	284	3.71	36.38	270	F2_U4
I Zuid 2	1/2000	0.96	3.48	271	3.72	36.38	270	F2_U4
I Zuid 3	1/2000	0.81	3.16	275	3.84	36.38	270	F2_U4
II Noord 1	1/2000	0.78	2.90	249	3.57	36.38	270	F2_U4
II Zuid 1	1/2000	0.86	3.48	296	3.54	36.38	270	F2_U4
III Noord 1	1/2000	0.73	2.96	221	3.25	36.38	270	F2_U4
III Noord 2	1/2000	1.02	3.47	256	3.32	36.38	270	F2_U4
III Noord 3	1/2000	0.85	3.49	246	3.39	36.38	270	F2_U4
III Noord 4	1/2000	0.85	3.65	236	3.47	36.38	270	F2_U4
III Zuid 1	1/2000	0.91	3.16	291	3.35	36.38	270	F2_U4
III Zuid 2	1/2000	0.67	3.10	326	3.54	32.75	300	F2_U5
III Zuid 3	1/2000	1.01	3.30	286	3.41	36.38	270	F2_U4
IV oost 1	1/2000	0.50	1.94	276	3.24	36.38	270	F2_U4
IV oost 2	1/2000	1.05	3.15	256	3.26	36.38	270	F2_U4
IV oost 3	1/2000	0.98	2.89	290	3.33	36.38	270	F2_U4



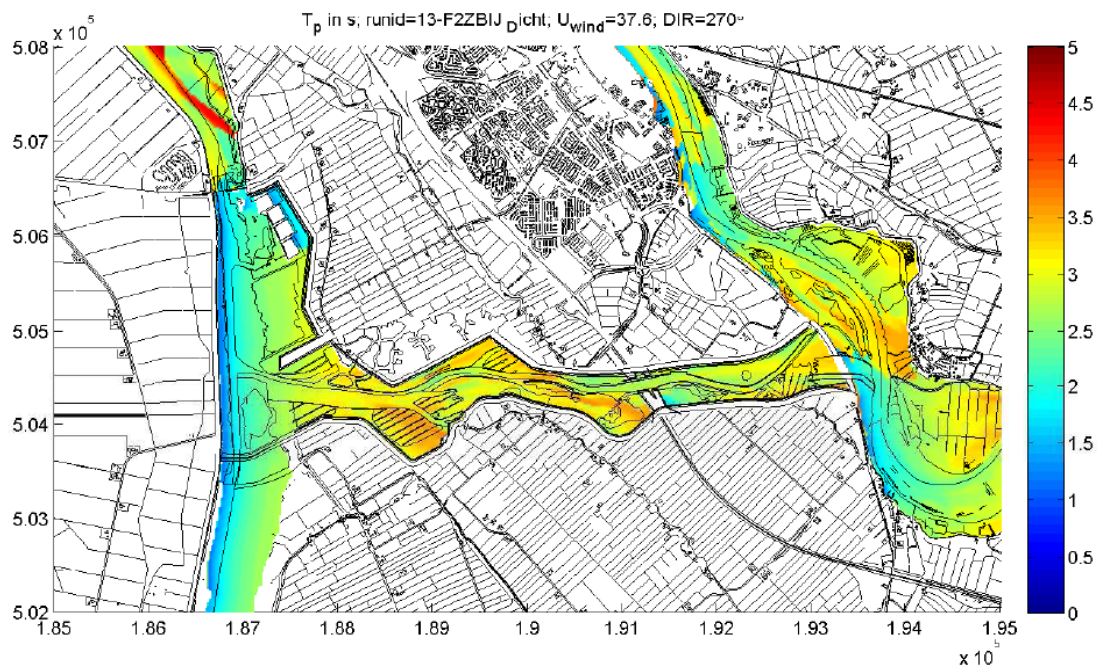
Figuur 7.7: Significante golfoogtes (m) bij een 1/4000 storm tijdens fase 2 (wind 33,8 m/s uit 300 graden)



Figuur 7.8: Piekperiodes (s) bij een 1/4000 storm tijdens fase 2 (wind 33,8 m/s uit 300 graden)



Figuur 7.9: significante golfhoogtes (m) bij een 1/4000 storm tijdens fase 2 (wind 37,6 m/s uit 270 graden)



Figuur 7.10: Piekperiodes bij een 1/4000 storm tijdens fase 2 (wind 37,6 m/s uit 270 graden)



Tauw



Bos



ROYAL HASKONING

8 MAXIMALE OPTREDENDE STROOMSNELHEDEN

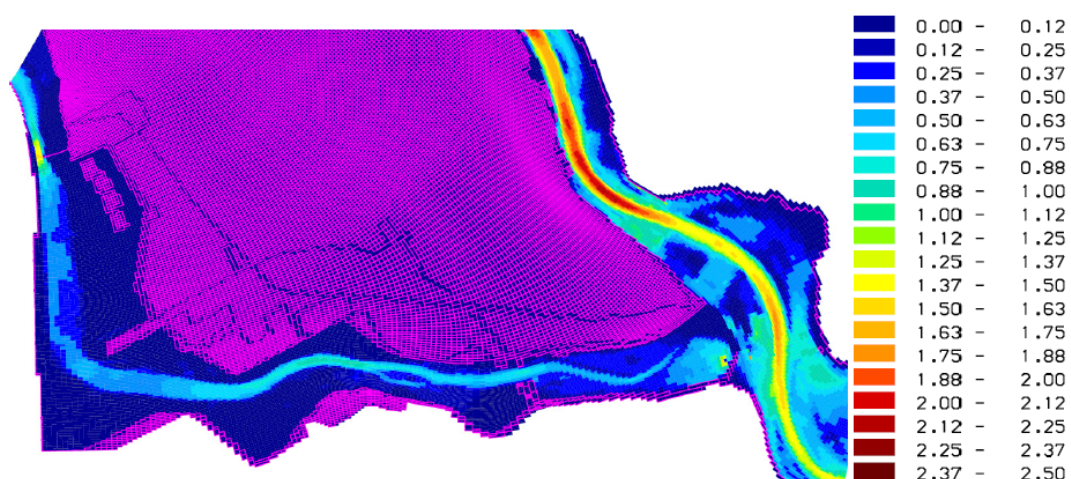
Voor het ontwerp van de mogelijke bodembescherming, oeverbescherming en dijkbekleding is het ook noodzakelijk om inzicht te krijgen in de maximaal optredende stroomsnelheden. In dit hoofdstuk zijn de maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheden getoond bij extreme ontwerpcondities (fase 1 en 2).

Let wel dat de maximale stroomsnelheden zijn gebaseerd op stationaire berekeningen bij één afvoerniveau. Er is geen dynamische afvoergolf doorgerekend. Tijdens een dynamische afvoergolf kunnen er momenten zijn waar de stroomsnelheden op bepaalde locaties op een bepaald moment hoger zijn doordat bepaalde delen beginnen te inunderen.

8.1 Stroomsnelheden bij 1/2000 afvoer fase 1

Figuur 8.1 toont de stroomsnelheden in de bypass bij een 1/2000 jaar afvoer door de IJssel. In fase 1 wordt er bij een dergelijke afvoer 220 m³/s door de bypass geleid. De figuur toont dat de stroomsnelheden zich concentreren in de vaargeul en het open water van de bypass. Hier zijn de snelheden tussen de 0,5 en 1,0 m/s. Langs de dijken blijven de stroomsnelheden laag, met snelheden tot 0,4 m/s. Deze stroomsnelheden zijn lager dan de maximaal optredende stroomsnelheden tijdens fase 2 (zie figuur 8.2). Het ontwerp van bodem- en oeververdedigingen moet dus op de belastingen van fase 2 ontworpen worden.

Nabij het inlaatwerk en de kunstwerken in de Roggebotkering lopen de stroomsnelheden wel op tot extreme waarden. Bij een afvoer van 220 m³/s neemt de stroomsnelheid door de Roggebotsluis toe tot maxima tussen 5,5 à 6,5 m/s. (zie hiervoor Technisch Ontwerp [14]). In de spuikoker zijn de maximale snelheden circa 4,5 m/s. Om de sluiskolk en spuikoker te beschermen is een nieuwe zwaardere en langere bodemverdediging noodzakelijk. In de rapportage van het Technisch Ontwerp [14] is het ontwerp van deze bodemverdediging uitgewerkt en toegelicht.

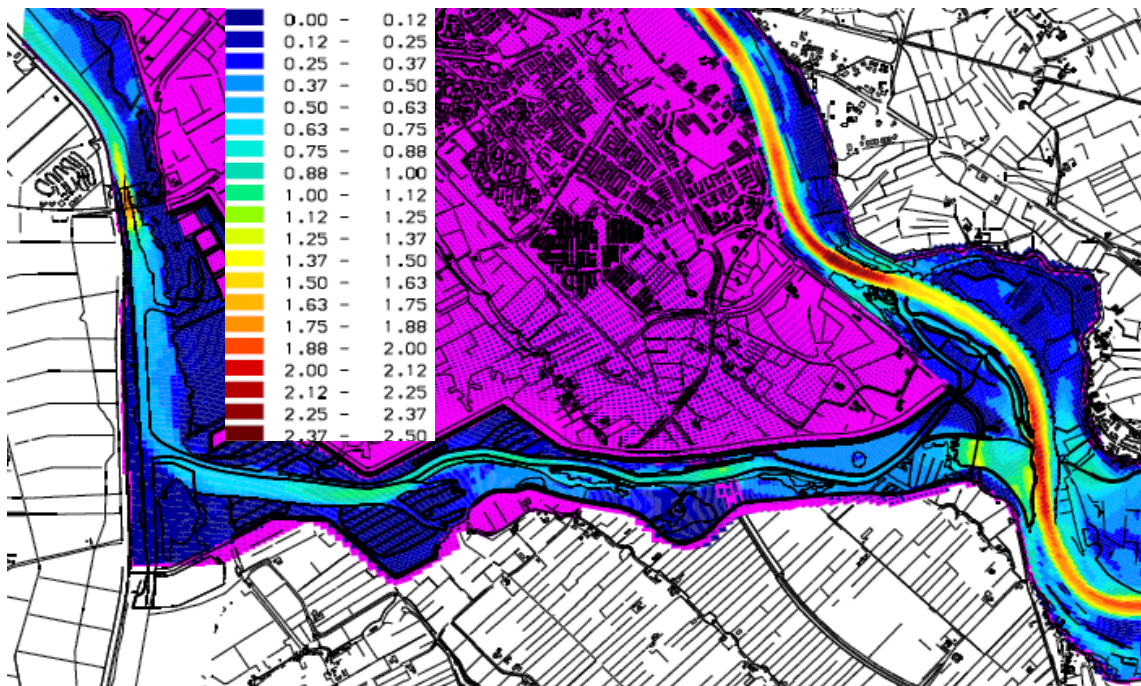


Figuur 8.1: Stroomsnelheden bij een afvoer van 220 m³/s door de bypass in fase 1

8.2 Stroomsnelheden bij 1/2000 afvoer fase 2

De stroomsnelheden in de bypass zijn het hoogst op het moment dat het inlaatwerk volledig geopend is, de afvoer bij Lobith maximaal is ($16.655 \text{ m}^3/\text{s}$, 1/2000 jaar afvoer) en er nog geen sprake is van peilopzet op het IJsselmeer.

Figuur 8.2 toont de stroomsnelheden bij deze extreme conditie in de gehele bypass. Er is van uitgegaan dat de zomerbedverlaging van de IJssel is uitgevoerd.



Figuur 8.2: Stroomsnelheden in de bypass bij een 1/2000 jaar afvoerconditie met een geopend inlaatwerk

De maximale stroomsnelheid in de bypass vindt plaats bij het inlaatwerk en bij de opening bij Roggebot. Bij de opening van Roggebot (figuur 8.3) zijn de stroomsnelheden maximaal $1,9 \text{ m/s}$. De waterdiepte bij Roggebot bij deze conditie is ca. $4,1 \text{ m}$. De stroming door de geul wordt hier geknepen over een doorstroombreedte van 100 m hetgeen tot hoge stroomsnelheden leidt. Deze hoge stroomsnelheden maken het noodzakelijk een bodembescherming te ontwerpen voor deze locatie.

Deze benodigde bodembescherming voor de bypass is in het deelproduct Technisch Ontwerp [14] uitgewerkt. De bodembescherming in de vaargeul in het verlengde Vossemeer en bij Roggebot zijn uitgewerkt in het Waterkeringsplan [13].

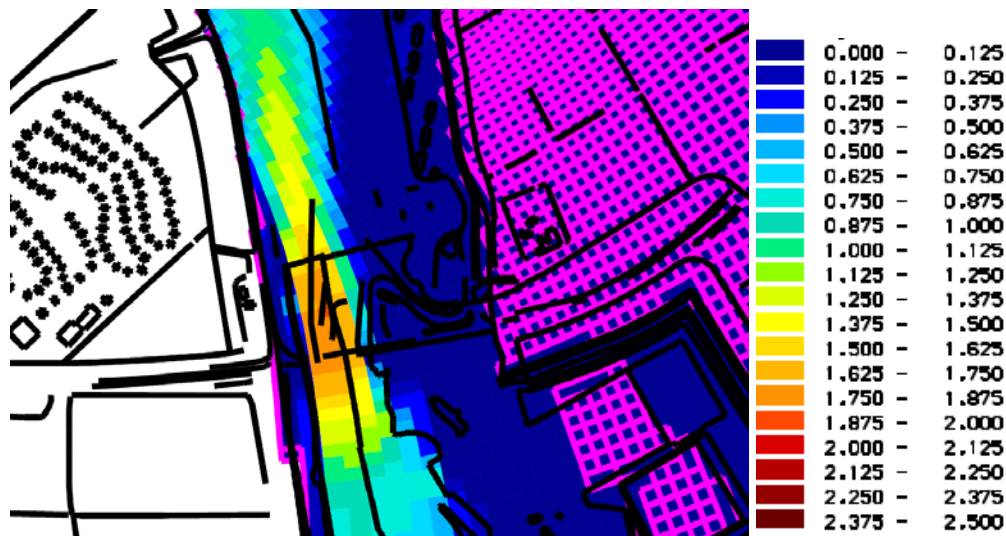
Bij het inlaatwerk (figuur 8.4) zijn de stroomsnelheden maximaal $1,2$ tot $1,5 \text{ m/s}$. De waterdiepte is hier circa 2 m . Ook bij het inlaatwerk is een bodembescherming noodzakelijk en voorzien. In het Technisch Ontwerp [14] is het ontwerp van het inlaatwerk nader gespecificeerd.

In de recreatiegeul zijn de stroomsnelheden lager dan bij het inlaatwerk en de opening bij Roggebot. De stroomsnelheden variëren tussen de $0,5$ tot $0,8 \text{ m/s}$. Bij de Knoop en in het midden gedeelte van de bypass zijn de stroomsnelheden hoger, doordat het doorstroomprofiel hier smaller is en ook de vaargeul smaller is. Bij de Knoop zijn de stroomsnelheden maximaal $1,1$ tot $1,2 \text{ m/s}$.

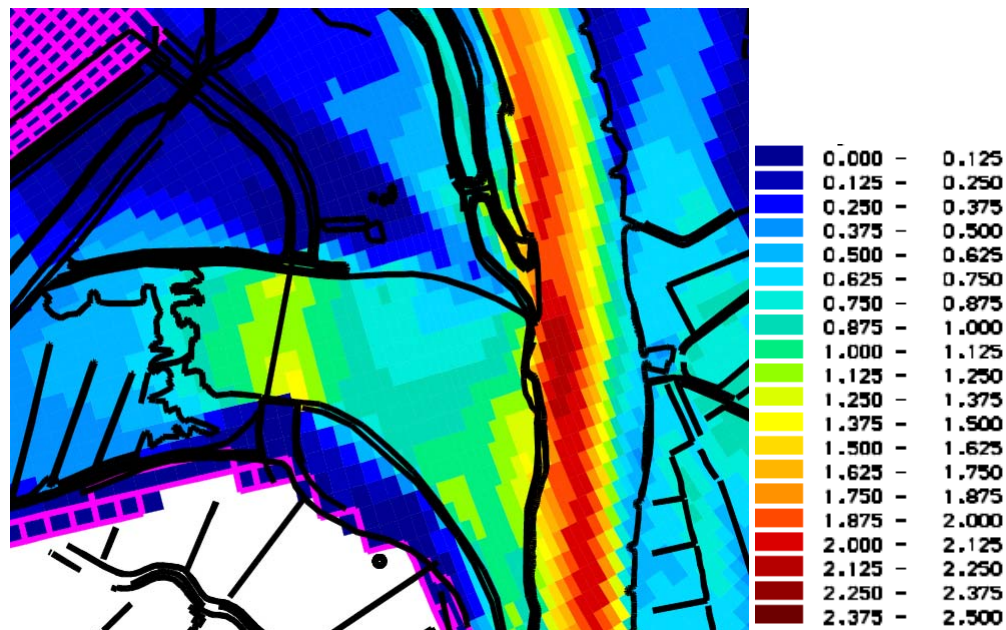
In het middengedeelte, juist benedenstrooms van de Nieuwendijkse brug en ten zuiden van de haven, zijn de stroomsnelheden ook hoger, maximaal 1,0 tot 1,1 m/s. Deze stroomsnelheden zullen leiden tot erosie en aanzanding, waardoor de oevers van de geul zullen veranderen.

Deze oevererosie zal echter, met regulier onderhoud, niet de hoogwaterveiligheid in gevaar brengen.

Het wordt aanbevolen om voor en na deze hogere afvoeren te monitoren, om te bepalen wat de incidentele lokale effecten zijn. Waar nodig zal dan de sedimentatie moeten worden weggehaald en daar waar de bodem of oevers geërodeerd zijn, deze worden hersteld.



Figuur 8.3: Stroomsnelheden bij de opening bij Roggebot bij een 1/2000 jaar afvoerconditie



Figuur 8.4: Stroomsnelheden bij het inlaatwerk bij een 1/2000 jaar afvoerconditie

In het westelijke gedeelte van de bypass worden langs de teen van de dijk geen hoge stroomsnelheden berekend ($< 0,3$ m/s), dit geldt zowel voor de bypassdijken als voor de Drontermeerdijk tussen de Reevedam en de Roggebotkering. De teen van de dijk ligt op deze gedeeltes ver genoeg buiten de stroombaan en (recreatie)vaargeul.

Wel is het zo dat nabij de haven en tussen de Knoop en de Nieuwedijkse brug, de vaargeul slechts een kleine afstand heeft tot de dijk.

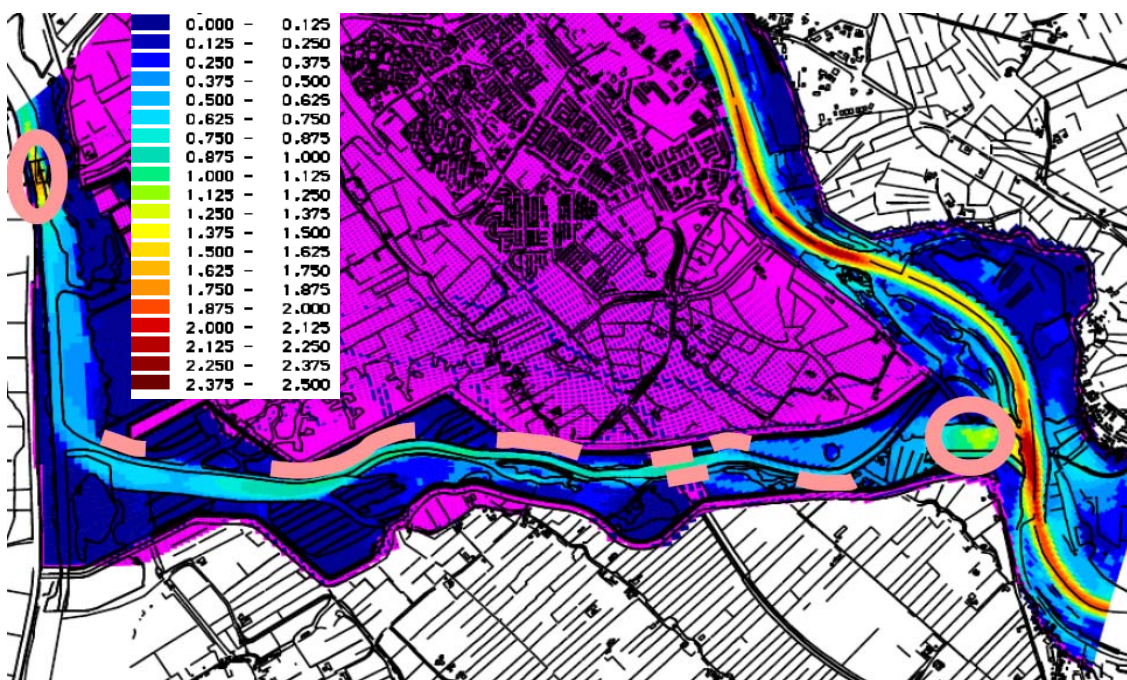
Indien hier na hoogwater in de bochten erosie plaats vindt aan de oever, kan er na het uitblijven van onderhoud en na enkele hoogwaters gevaar op instabiliteit van het dijklichaam optreden. In het morfologie rapport [15] worden deze locaties ook aangewezen als locaties waar bescherming noodzakelijk is.

Daar waar de dijken aansluiten op een kunstwerk, zoals bij Roggebot, bij het inlaatwerk en bij de Knoop ontstaan wel hogere stroomsnelheden en moet er wel extra beschermingsmaatregelen worden opgenomen in het technisch ontwerp.

In het gedeelte bovenstrooms van de Knoop zijn de stroomsnelheden langs de dijk ook hoger, tot maximaal $0,5$ m/s. In de buitenbochten van de stroombaan is bescherming noodzakelijk om de teen van de dijk te beschermen.

Daarnaast zal rondom de pijlers van de Nieuwendijkse brug ook bescherming nodig zijn, om erosie rondom de pijlers te voorkomen. Dit detail is niet goed te zien in figuur 8.5.

De genoemde stroomsnelheden zijn nogmaals opgesomd in tabel 8.1. In figuur 8.5 zijn de locaties getoond waar oeverbescherming noodzakelijk is. Een detailuitwerking van deze oeverbescherming is uitgewerkt in het Technisch Ontwerp [14] en het Waterkeringsplan [13]. In hoofdstuk 11 van dit rapport is inzichtelijk gemaakt wat het stroombeeld is in de bypass en de Onderdijkse Waard bij een normaal hoogwater. In dit hoofdstuk is ook ingegaan op de stroomsnelheden in de bypass bij dagelijkse peilfluctuaties en extremere slingeringen.



Figuur 8.5: Locaties waar beschermingsmaatregelen noodzakelijk zijn

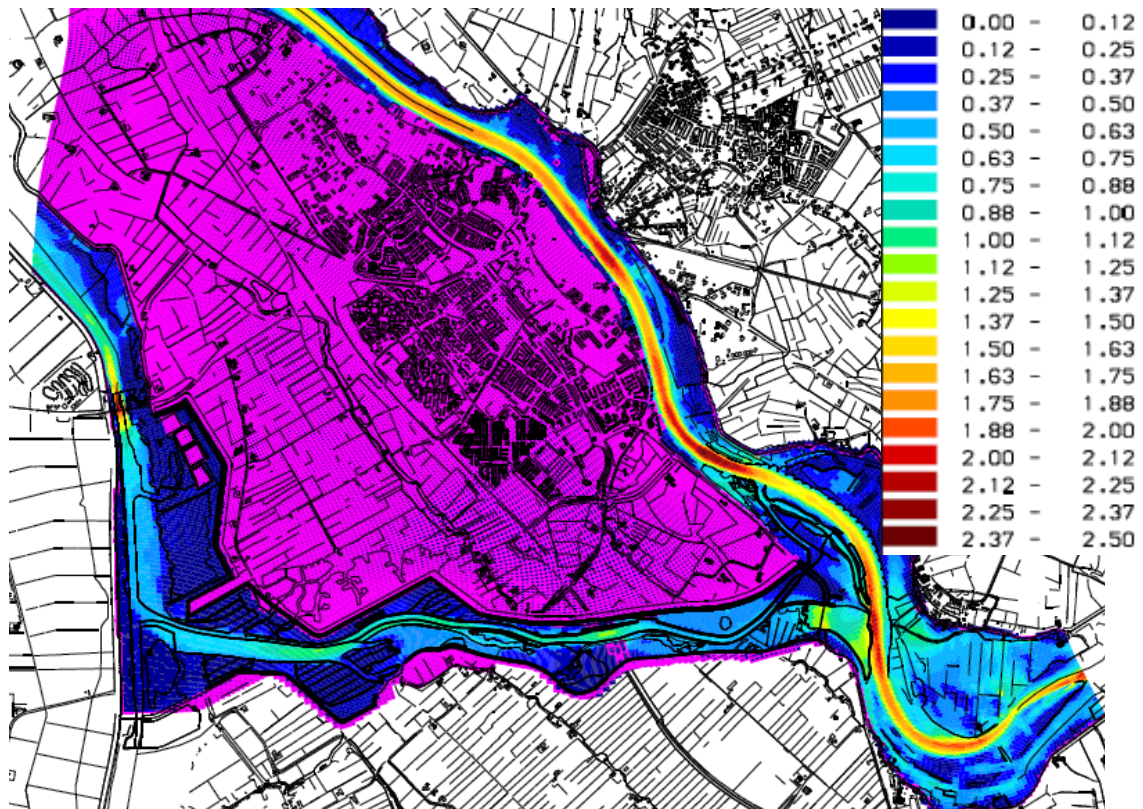
8.3 Stroomsnelheden bij 18.000 m³/s fase 3

In de toekomst moet er rekening gehouden worden met een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s te Lobith en een peilopzet van 23 cm op het IJsselmeer.

Bij deze afvoer is de afvoer op de IJssel en de afvoer door de bypass hoger dan bij de huidige 1/2000 jaar afvoer.

De stroomsnelheden bij 18.000 m³/s zijn ca. 10% hoger dan de bovengenoemde stroomsnelheden bij 16.655 m³/s. Bij de opening bij Roggebot zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden dan maximaal 2,1 m/s.

Bij de Knoop nemen de snelheden toe tot 1,3 m/s en in het westelijke middengedeelte van de recreatiegeul tot 1,2 m/s. Bij het inlaatwerk zijn de maximale stroomsnelheden ca. 1,6 m/s. Langs de dijken en in de overige gedeelten van de stroombaan en vaargeul is het beeld gelijk (qua variabiliteit) aan die bij een afvoer van 16.655 m³/s, enkel liggen de stroomsnelheden ca. 10% hoger. In tabel 8.1 zijn de stroomsnelheden bij 16.655 m³/s en 18.000 m³/s weergegeven. Figuur 8.6 toont de stroomsnelheden bij 18.000 m³/s en een peilopzet van 23 cm op het IJsselmeer. Er is van uitgegaan dat de zomerbedverlaging van de IJssel reeds is uitgevoerd.



Figuur 8.6: Stroomsnelheden bij 18.000 m³/s en een peilopzet van 23 cm op het IJsselmeer

Tabel 8.1: Dieptegemiddelde stroomsnelheden op diverse locaties bij 2 maatgevende afvoeren

Locatie	Dieptegemiddelde stroomsnelheid bij 16.655 m ³ /s fase 2	Dieptegemiddelde stroomsnelheid bij 18.000 m ³ /s Fase 3
Opening Roggebot	1,9 m/s	2,1 m/s
Teen Drontermeerdijk	tot 0,3 m/s	Tot 0,3 m/s
Teen bypassdijken westelijk gedeelte	Tot 0,3 m/s	Tot 0,3 m/s
Teen bypass dijken oostelijk gedeelte	Tot 0,5 m/s	Tot 0,5 m/s
Nieuwendijkse Brug	0,5 tot 1,1 m/s	0,5 tot 1,2 m/s
Knoop	1,2 m/s	1,3 m/s
Inlaatwerk	1,5 m/s	1,6 m/s
Recreatiegeul westelijk gedeelte	0,5 tot 1,1 m/s	0,5 tot 1,2 m/s
Locatie	Dieptegemiddelde stroomsnelheid bij 16.655 m ³ /s fase 2	Dieptegemiddelde stroomsnelheid bij 18.000 m ³ /s Fase 3
Recreatiegeul oostelijk gedeelte	0,5 tot 0,8 m/s	0,5 tot 0,9 m/s

8.4 Stroomsnelheden bij storm

In de vorige 2 paragrafen zijn de stroomsnelheden bepaald bij een afvoersituatie. De vraag is nog of de stroomsnelheden tijdens een opzet van een extreme storm (1/4000 jaar) hoger kunnen zijn dan in de afvoersituatie.

De maatgevende stroomsnelheid bij Roggebot is bepaald bij een afvoer van 18.000 m³/s. Er stroomt dan 670 m³/s door de bypass en de opening bij Roggebot. Indien op enig moment tijdens een storm er meer dan 670 m³/s door de opening van Roggebot naar binnen of buiten stroomt, zal een stormconditie maatgevend zijn voor het ontwerp van de bodembescherming van Roggebot.

Een studie van DHV uit 2006 [7] toont dat tijdens een 1/1 jaar storm de stroomsnelheden in de opening bij Roggebot kunnen oplopen tot ca. 0,8 m/s. In deze berekening is echter uitgegaan van een breedte van de opening van 25 m. In het inrichtingsplan is de breedte van de opening 100 m, hiermee zal de stroomsnelheid door de opening ook afnemen ten opzichte van de berekende maximale stroomsnelheid van 0,8 m/s.

Een grotere opening betekent minder verschil in waterstand tussen boven- en benedenstrooms en daarmee een minder hoge snelheid. Dit is echter de stroomsnelheid bij een 1/1 jaar storm en niet bij een 1/4000 jaar storm.

Binnen dit project zijn er geen dynamische berekeningen gemaakt van een 1/2000 en 1/4000 jaar storm. Er zijn enkel stationaire berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen maken daarom niet inzichtelijk wat er tijdens een storm gebeurt, hoe de windopzet groeit en water de bypass binnen begint te stromen. In deze paragraaf is daarom een indicatieve analytische berekening uitgevoerd.

Met behulp van een indicatieve analytische berekening kan berekend worden wat de stroomsnelheden bij Roggebot tijdens een 1/4000 jaar storm zullen zijn. Bij een 1/4000 jaar storm zal de bypass geleidelijk volstromen. Stationaire berekeningen tonen aan dat in het jaar 2065 de maatgevende waterstanden tijdens een 1/4000 jaar storm gemiddeld gezien over de hele bypass ca. NAP+ 4,0 bedraagt.



Indien in de beginsituatie het waterpeil gelijk is aan het streefpeil (NAP -0,4m) dan kan gesteld worden dat de waterstand als gevolg van de storm 4,4 meter zal stijgen. Ten gevolge van slingeren (seiches) kan het waterpeil mogelijk kort door dit theoretische maximum schieten. Om hier rekening mee te houden wordt er nog met één extra meter peilstijging rekening gehouden. We benadrukken dat dit een conservatieve aanname is. De waterstand zal dan met 5,4 m stijgen tijdens een 1/4000 jaar storm t.o.v. het streefpeil.

In de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 [25] wordt in paragraaf 2.5 een standaard waterstandsverlooptlijn weergegeven die van toepassing is voor het merengebied. We nemen aan dat deze verlooptlijn (figuur 8.7) ook van toepassing is voor de IJsseldelta. De verlooptlijn toont dat binnen ca. 15,5 uur de maatgevende waterstand wordt bereikt. Uitgaande van een totale oppervlakte van het gebied achter Roggebot van 550 ha betekent dit, dat er gedurende 15,5 uur ca. 29,7 miljoen m³ water (5.500.000 x 5,4) de bypass in zal stromen via de opening bij Roggebot.

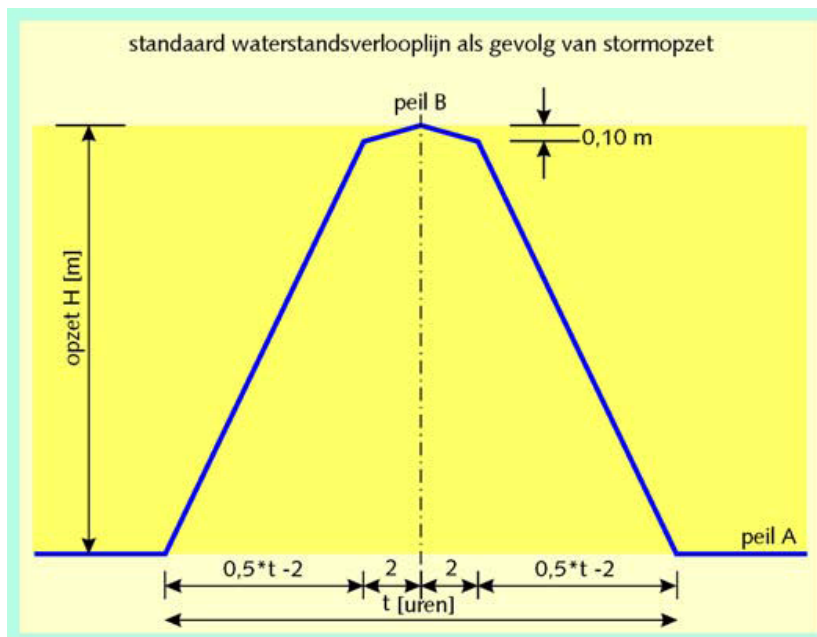
Dit komt overeen met een debiet van 530 m³/s bij Roggebot. Gegeven een waterdiepte van 4 m en een breedte van 100 m, is de stroomsnelheid 1,3 m/s. Dit debiet en stroomsnelheid is lager dan tijdens een 1/2000 jaar afvoer of bij een toekomstige afvoer van 18.000 m³/s.

Bij een 1/2000 afvoerconditie stroomt er ca. 590 m³/s door de bypass, indien zomerbedverlaging ook is uitgevoerd, en de stroomsnelheid is 1,8 m/s.

Echter in het ontwerp van de bodembescherming bij Roggebot wordt reeds gedimensioneerd op een toekomstige situatie met een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s. Bij deze afvoer is de afvoer door de bypass ca. 670 m³/s en de stroomsnelheid bij Roggebot ca. 2,0 m/s.

Bovenstaande indicatieve berekening toont dat de bodembescherming moet worden gedimensioneerd op de optredende maximale stroomsnelheden bij een afvoersituatie. De stroomsnelheden die tijdens extreme stormen ontstaan zijn lager dan de maximale stroomsnelheden bij een extreme afvoersituatie, waarin de bypass werkt als hoogwater geul.

Wel is het zo dat de stroomrichting bij een afvoersituatie altijd in noordwaartse richting is, terwijl bij een storm de hoge stroomsnelheden in beide richtingen kunnen optreden (in- en uitstromen). In het ontwerp van de bodembescherming (Waterkeringsplan, [13]) blijkt echter dat de schroefstraalstroming maatgevend is voor het ontwerp van de bodembescherming bij Roggebot.



Figuur 8.7: Standaard waterstandsverlooptlijn, de stormopzet duur (t) is gelijk aan 35 uur
(Bron: Hydraulische randvoorwaarden 2006 [25])



Tauw



Bos



Deel C: Hydraulische Effectbeoordeling



Tauw



9 WATERSTANDEFFECTEN BIJ MHW

In dit hoofdstuk zijn de waterstandseffecten bij een MHW-afvoer gepresenteerd voor fase 1 en fase 2. De resultaten tonen de maximale waterstandsval en maximale opstuwing in de as van de rivier bij een 1/2000 jaar afvoer ($16.655 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit is aspect 1.1 uit tabel 4 van het rivierkundig beoordelingskader [1]. Daarnaast is gekeken naar de waterstand buiten de as van de rivier, aspect 1.2 uit tabel 4 van het beoordelingskader.

9.1 Effecten in de as van de rivier (aspect 1.1) voor fase 1

Door de scopewijzigingen wordt reeds in fase 1 een bijdrage gevraagd van de bypass aan de korte termijn PKB RvdR taakstelling. Bij afvoeren hoger dan $15.500 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith wordt de bypass ingezet als hoogwatergeul met een maximale onttrekking van $220 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een 1/2000 jaar afvoer (of meer als de waterstand op het Vossemeer lager is dan NAP+0,6 m). In deze paragraaf is beoordeeld welke bijdrage deze onttrekking van $220 \text{ m}^3/\text{s}$ levert aan de korte termijn PKB RvdR taakstelling van 41 cm bij Zwolle. Voor het bepalen van de maatgevende waterstand en het waterstandsverlagende effect van fase 1 is gebruik gemaakt van de methode Westphal. De uitgangspunten voor deze methode zijn in paragraaf 4.1 vermeld.

Het referentiemodel waar bij de bijdrage aan de taakstelling wordt bepaald is het Simona Rijn PKB 3 4 model. De overige RvdR-maatregelen, dus ook de zomerbedverlaging, worden buiten beschouwing gelaten. Het beoordeelde effect is het gezamenlijke effect van de inzet van de bypass in fase 1 en de herinrichting van de Onderdijkse Waard.

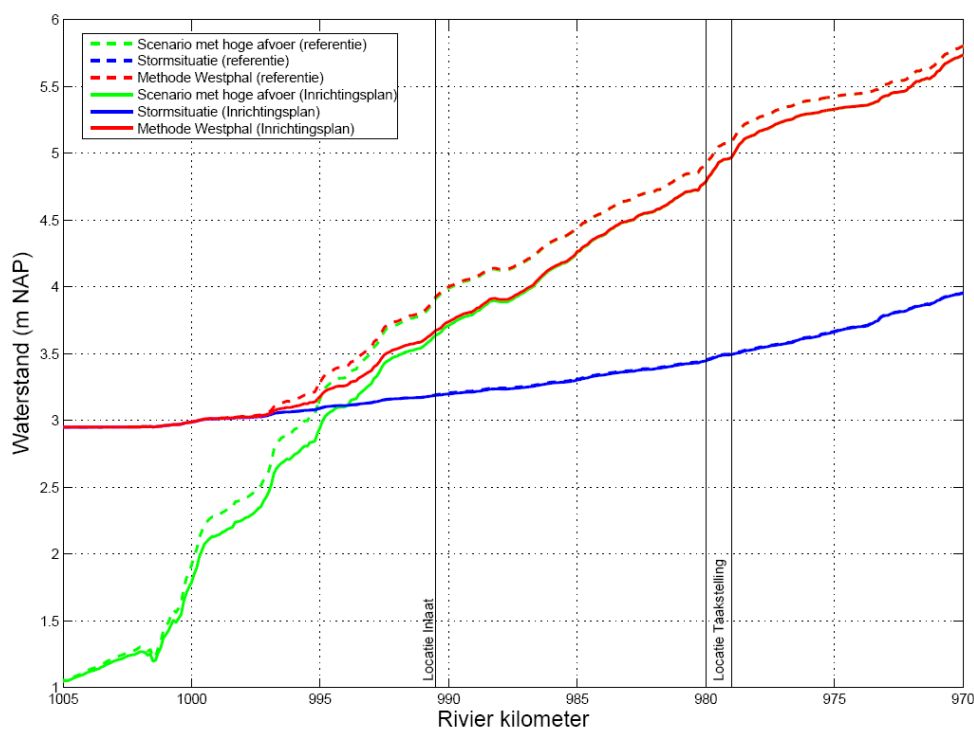
Figuur 9.1 toont de verhanglijnen voor de huidige situatie en de situatie in fase 1 (herinrichting Onderdijkse Waard en de bypass met een onttrekking van $220 \text{ m}^3/\text{s}$) voor een conditie met een 1/2000 jaar afvoer en een 1/2000 jaar storm. De rode lijn toont de combinatie van deze twee volgens de methode Westphal. In figuur 9.2 is het waterstandsverschil tussen deze gecombineerde waterstandslijnen getoond.

Het effect van de bypass in fase 1 is een waterstandsverlaging van 12,8 cm op kmr 980,0. Hiermee levert de onttrekking van $220 \text{ m}^3/\text{s}$ door de bypass en de herinrichting van de Onderdijkse Waard een relevante bijdrage aan de korte termijn taakstelling van 41 cm te Zwolle. De maximale waterstandsval ter hoogte van het inlaatwerk is 27 cm in de as van de rivier. Een onttrekking van $220 \text{ m}^3/\text{s}$ is gelijk aan 8% van de totale afvoer door de IJssel bij Kampen bij deze conditie (inclusief lateralen is dit $2.810 \text{ m}^3/\text{s}$).

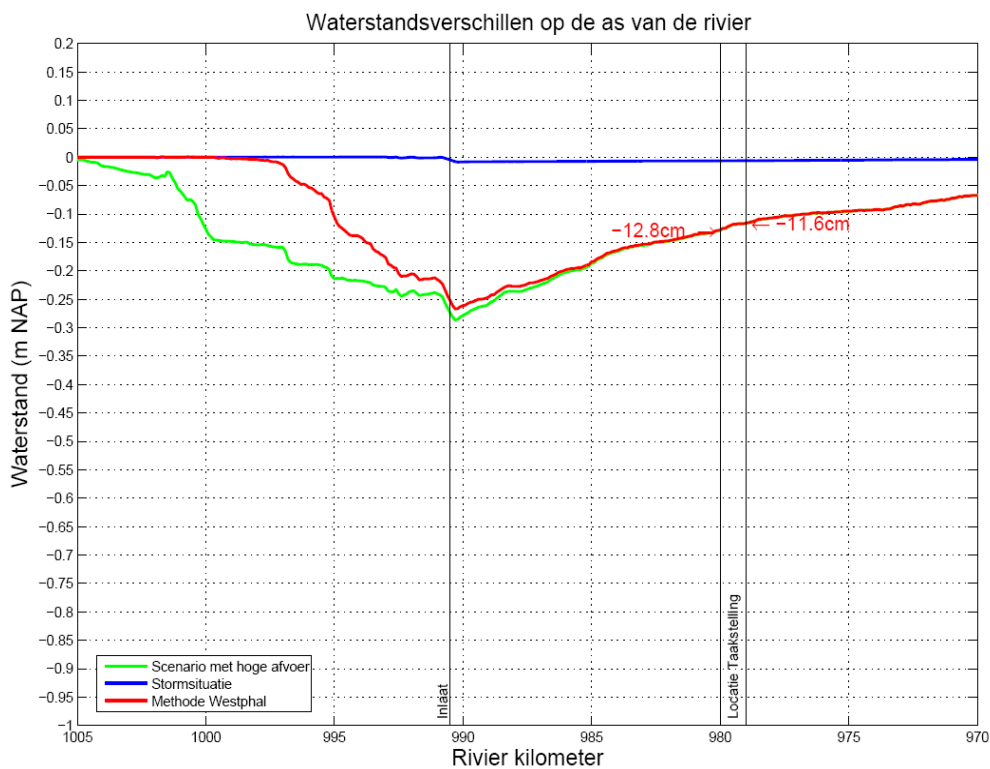
Figuur 9.3 toont het waterstandseffect in een 2D-figuur voor de taakstellingsberekening. In tabel 9.1 zijn de waterstandseffecten in de as van de rivier samengevat.

Tabel 9.1: Waterstandseffecten in de as van de rivier voor fase 1 t.o.v. huidige situatie

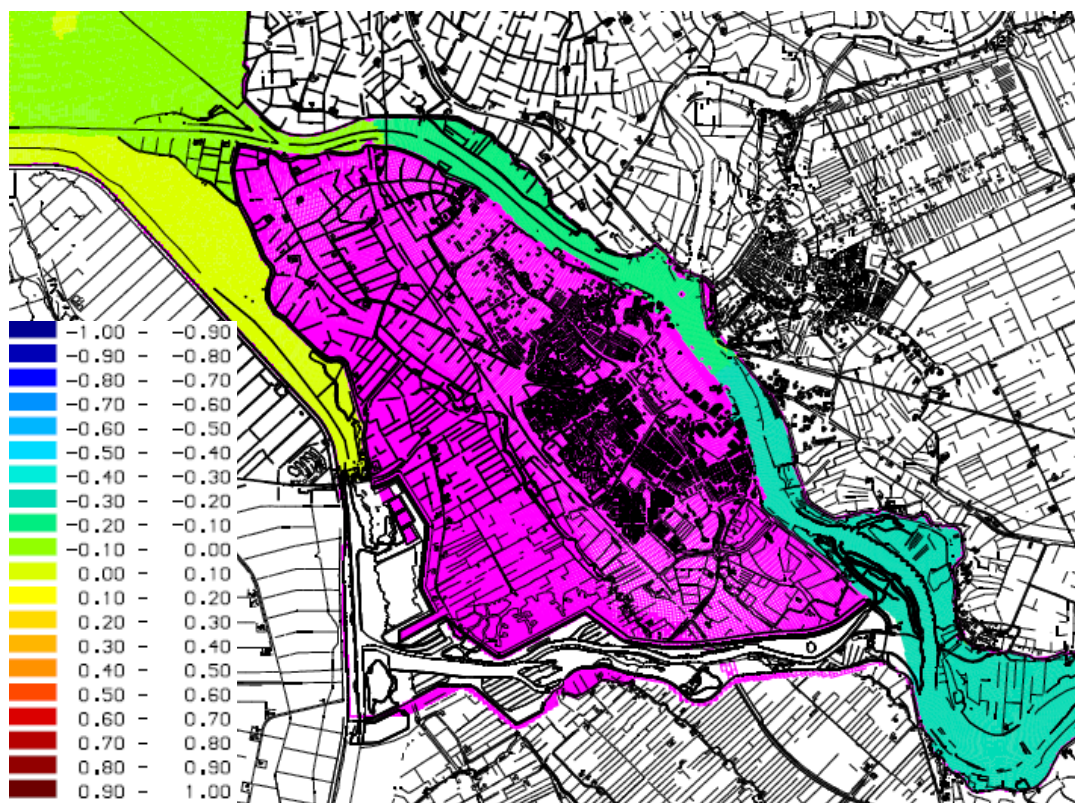
	Op kmr 980,0			Op kmr 990,3		
	wind	afvoer	Westphal	wind	afvoer	Westphal
Maximale verlaging in de as	0	12,8	12,8	0	29 cm	27 cm



Figuur 9.1: Verhanglijnen voor de huidige situatie en de fase 1 situatie met een onttrekking van 220 m³/s door de bypass en de herinrichting van de Onderdijkse Waard voor een 1/2000 jaar afvoer en een 1/2000 jaar storm. De rode lijn toont de MHW-stand volgens de methode Westphal



Figuur 9.2: Waterstandsverschil tussen de fase 1 situatie en de huidige situatie bij een 1/2000 jaar afvoer, een 1/2000 jaar storm en de gecombineerde waterstand volgens de methode Westphal



Figuur 9.3: Waterstandsverschil voor de fase 1 situatie met een onttrekking van 220 m³/s door de bypass ten opzichte van de huidige situatie (in m) bij een afvoer van 16.655 m³/s te Lobith (1/2000 jaar afvoer). De waterstandsdeling is overeenkomstig met de groene lijn uit figuur 9.2

Om de waterstandsdeling van 12,8 cm te behalen is het van belang om de Onderdijkse Waard intensief te beheren. Het beheer zal moeten voldoen aan de in bijlage A gegeven vegetatiekaart. In fase 1 is een intensiever beheer voorzien dan in fase 2 (zie bijlage A).

9.2 Effecten buiten de as van de rivier (aspect 1.2) voor fase 1

Door de ingreep kan de waterstand in de uiterwaarden van het projectgebied en langs de bandijk lokaal toenemen. Dit kan resulteren in mogelijke schade voor de bewoners en gebruikers van de uiterwaarden en een afname van het veiligheidsniveau van het dijktracé. Een verhoging van de MHW-stand bij de bandijk is slechts toegestaan na acceptatie door de beheerder van de waterkering, het Waterschap Groot Salland. Er is getoetst wat de maximale opstuwing binnen het projectgebied is en wat de maximale opstuwing langs de westelijk gelegen IJsseldijk en de oostelijk gelegen IJsseldijk is.

Het effect buiten de as van de rivier voor fase 1 is beoordeeld t.o.v. de huidige situatie, zonder zomerbedverlaging, tenzij anders vermeld in deze paragraaf. Het beoordeelde effect is het gezamenlijke effect van de inzet van de bypass in fase 1 en de herinrichting van de Onderdijkse Waard.

Doordat er in fase 1 220 m³/s onttrokken wordt aan de IJssel en deze niet meer geloosd wordt op de IJssel, is er op de IJssel geen opstuwing. Wel is er een opstuwing op het Vossemeer door de lozing van 220 m³/s op het Vossemeer ten opzichte van de huidige situatie.

Figuur 9.3 toont dat de waterstand door het meestromen van de bypass en het Vossemeer, op het gehele Vossemeer omhoog gaat, met maximaal 8 cm bij Roggebot Noord. Dit is dus bij een 1/2000 jaar afvoerconditie. Het ontwerppeil van de dijken blijft echter bepaald door een maatgevende stormconditie, hierop heeft het de afvoerconditie geen effect.

Figuur 9.3 toont geen waterstandsverschil in de bypass, aangezien deze in de huidige situatie geen water bevat. Bij een onttrekking van 220 m³/s stijgt hier de waterstand naar maximaal NAP+1,7 m bij Roggebot Zuid (eis) en circa 1,9 m bij het inlaatwerk.

Langs de dijken langs de IJssel neemt de waterstand af bij een afvoerconditie. Hier vindt dus geen opstuwing plaats.

Tabel 9.2: Waterstandseffecten buiten de as van de rivier bij MHW (zie ook figuur 9.3)

Locatie	Fase 1, onttrekking 220 m ³ /s
Maximale opstuwing bij Roggebot Noord	8 cm
Maximale opstuwing langs de westelijke IJsseldijk	Geen opstuwing
Maximale opstuwing langs de oostelijke IJsseldijk	Geen opstuwing
Maximale opstuwing in het projectgebied	Geen opstuwing

9.3 Effecten in de as van de rivier (aspect 1.1) voor fase 2

9.3.1 Taakstelling (geen zomerbedverlaging en Onderdijkse Waard)

In fase 2 heeft de bypass een taakstelling in het kader van de PKB RvdR en het Nationaal Waterplan. Voor de bepaling van het waterstandsverlagende effect is gebruik gemaakt van de methode Westphal, conform de uitgangspunten in paragraaf 4.2.

De taakstelling voor het project is het behalen van minimaal 30,0 cm waterstanddaling op één locatie (in de as van de rivier) tussen kmr 979 en kmr 980 op de IJssel. Het referentiemodel waar bij deze taakstelling wordt bepaald is het Simona Rijn PKB 3 4 model. De overige RvdR-maatregelen, dus ook de zomerbedverlaging, worden buiten beschouwing gelaten. Om consistent te blijven met de referentiesituatie van de berekeningen van 2008 wordt ook de herinrichting van de Onderdijkse Waard niet meegenomen. Hierdoor blijft zuiver wat de bypass zelf oplevert aan waterstanddaling. De maaiveldverlaging bovenstrooms van de inlaat is wel onderdeel van de bypass;

Figuur 9.4 toont de verhanglijnen voor de huidige situatie en de situatie met de bypass (geen Onderdijkse waard en geen zomerbedverlaging) voor een conditie met een 1/2000 jaar afvoer (conditie F2_Q) en een 1/2000 jaar storm (conditie F2_U). De rode lijn toont de combinatie van deze twee volgens de methode Westphal. In figuur 9.5 is het waterstandsverschil tussen deze gecombineerde waterstandslijnen getoond.

Het effect van de bypass is een waterstandverlaging van 32,2 cm op kmr 980,0. Hiermee voldoet de bypass ruimschoots aan de taakstelling. Aangezien de locatie waar de taakstelling moet worden gehaald bijna 10 km bovenstrooms van de bypass locatie ligt, is de maximale waterstandsddaling ter hoogte van het inlaatwerk nog veel groter.

Op kmr 990,5, ter hoogte van het inlaatwerk, is de maximale waterstandsdeling ca. 72 cm in de as van de rivier.

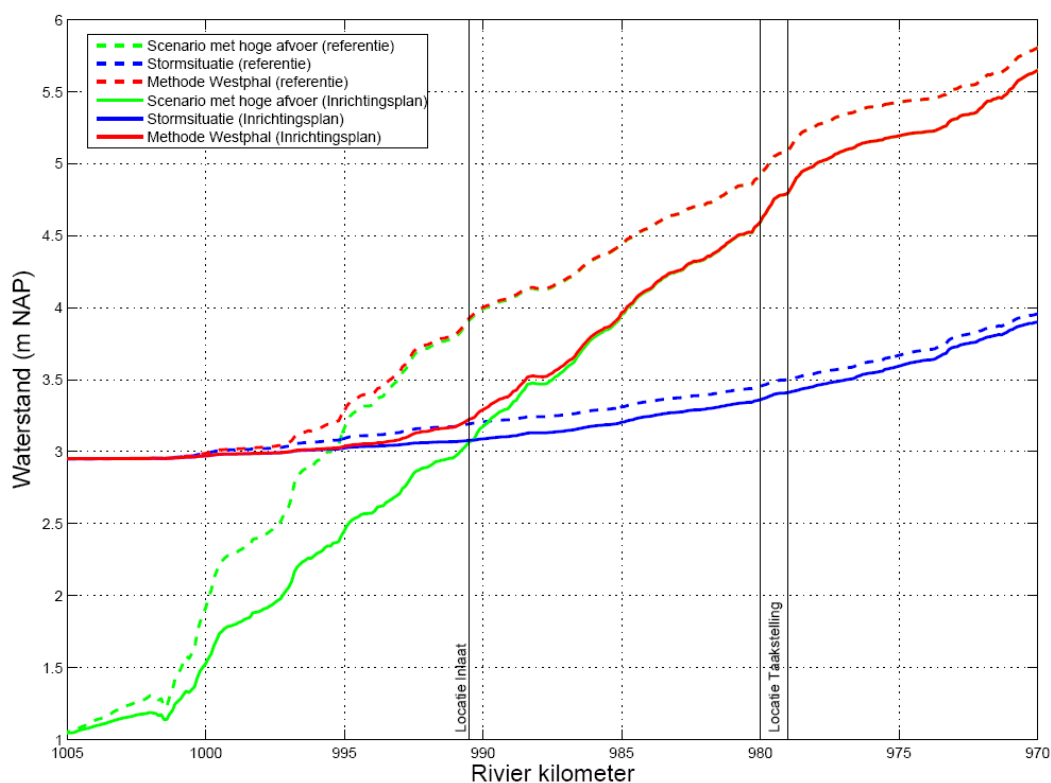
De beschouwde situatie is eigenlijk een fictieve situatie. In werkelijkheid is de zomerbedverlaging wel uitgevoerd en is de herinrichting van de Onderdijkse Waard een feit. Tijdens deze fictieve situatie stroomt er circa 748 m³/s over/door het inlaatwerk de bypass in richting het Vossemeer. Dit is ca. 27% van de totale afvoer door de IJssel bij Kampen bij deze conditie (inclusief lateralen is dit 2.810 m³/s).

Figuur 9.5 toont ook dat de bypass geen tot nauwelijks effect heeft op de waterstand bij een 1/2000 jaar storm (blauwe lijn). Met of zonder bypass blijft deze waterstand op de IJssel gelijk. De waterstand bij een hoge afvoer gaat echter flink omlaag. Bij een 1/2000 jaar afvoer is dit ca. 85 cm nabij de inlaat en nog ca. 65 cm bij Kampen. Doordat de ontwerpwaterstand een combinatie van deze twee is, is het effect op de maatgevende waterstand op de IJssel minder dan deze 85 cm, maar dus de eerder genoemde 72 cm bij het inlaatwerk en nog circa 20 cm bij Kampen

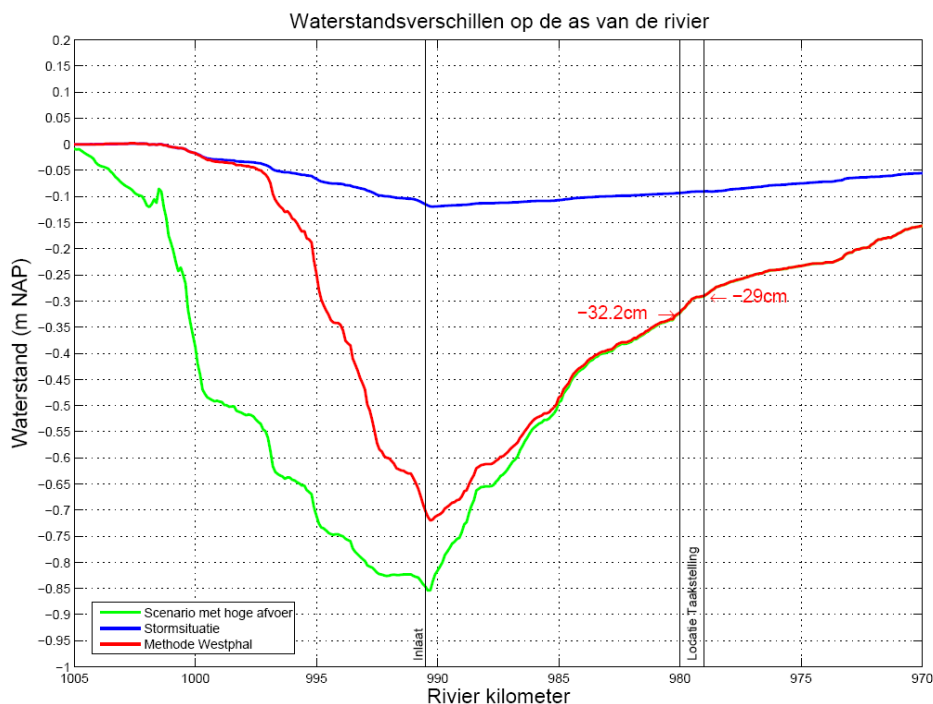
Figuur 9.6 toont het waterstandseffect in een 2D-figuur voor de taakstellingsberekening. In tabel 9.3 zijn de waterstandseffecten in de as van de rivier samengevat.

Tabel 9.3: Waterstandseffecten in de as van de rivier bij MHW voor fase 2

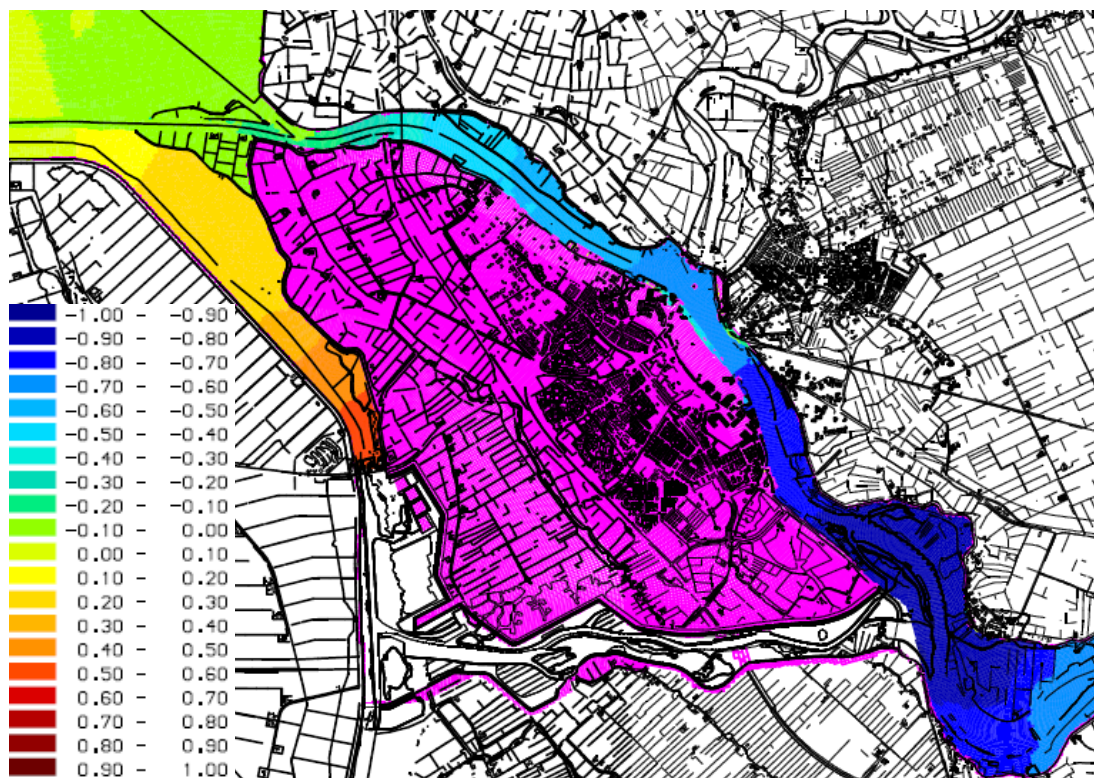
	Op kmr 980,0			Op kmr 990,5		
	wind	afvoer	Westphal	wind	afvoer	Westphal
Maximale verlaging in de as	0	32,2	32,2	0	85 cm	72 cm



Figuur 9.4: Verhanglijnen voor de huidige situatie en de taakstellingssituatie voor fase 2 (volledig inzet bypass, geen Onderdijkse Waard en geen Zomerbedverlaging) voor een 1/2000 jaar afvoer en een 1/2000 jaar storm. De rode lijn toont de combinatie van deze twee volgens de methode Westphal



Figuur 9.5: Waterstandsverschil tussen de taakstellingssituatie (volledig inzet bypass, geen Onderdijkse Waard en geen Zomerbedverlaging) en de huidige situatie bij een 1/2000 jaar afvoer, een 1/2000 jaar storm en de gecombineerde waterstand (MHW-effect) volgens de methode Westphal



Figuur 9.6: Waterstandsverschil ten opzichte van de referentie (in m) voor de taakstellingssituatie bij een afvoer van $16.655 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith (1/2000 jaar afvoer). De waterstandsval komt overeen met de groene lijn uit figuur 9.5

9.3.2 Waterstandseffect met zomerbedverlaging en Onderdijkse Waard

De in de vorige subparagraaf beschreven waterstandsdaling is een fictieve situatie, bedoeld voor een goede afhandeling van de taakstelling. Als in 2025 de bypass overgaat van fase 1 naar fase 2 en dus volledig ingezet kan gaan worden als hoogwatergeul (indien nodig), is ondertussen ook de Onderdijkse waard heringericht en is de Zomerbedverlaging uitgevoerd. Dit is een andere referentiesituatie dan de referentiesituatie in paragraaf 9.3.1. Voor de zomerbedverlaging is in deze studie uitgegaan van het SNIP3 ontwerp van begin 2012.

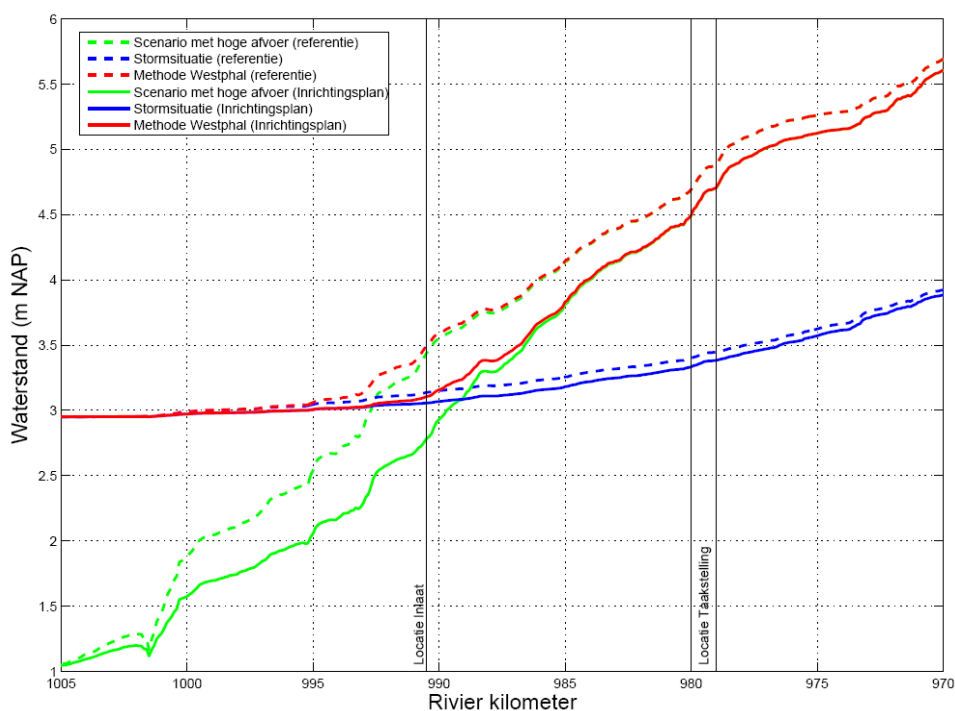
Figuur 9.7 en 9.8 toont het effect van de bypass ten opzichte van de werkelijke referentiesituatie. Ofwel het effect van een volledige ingezette bypass, de herinrichting van de Onderdijkse Waard en een uitgevoerde SNIP3 Zomerbedverlaging ten opzichte van de situatie in fase 1 met een heringerichte Onderdijkse Waard en een uitgevoerde SNIP3 Zomerbedverlaging. Door uitvoering van de zomerbedverlaging wordt de maximale waterstandsdaling van de bypass Kampen minder dan de taakstelling. Het gecombineerde effect van de 2 maatregelen is aanzienlijk minder dan de afzonderlijke effecten van de twee maatregelen. De maximale waterstandsdaling op kmr 980,0 is nog 19,7 cm en nog 44 cm op kmr 990,5. Tijdens deze situatie stroomt er ca. 610 m³/s over/door het inlaatwerk de bypass in richting het Vossemeer. Dit is ca. 22% van de totale afvoer door de IJssel bij Kampen bij deze conditie (inclusief lateralen).

In figuur 9.9 en 9.10 toont het gezamenlijke effect van de bypass, de zomerbedverlaging en de herinrichting van de Onderdijkse Waard beoordeeld ten opzichte van de huidige situatie (PKB-referentiesituatie). Het gezamenlijke effect is een waterstandverlaging van 42,1 cm op kmr 980,0. Op kmr 990 is dit zelfs 85 cm. Bij een 1/2000 afvoersituatie gaat de waterstand nabij het inlaatwerk zelfs met 1,13 m omlaag en een paar kilometer verder benedenstrooms zelfs met 1,26 (kmr 893,2). Figuur 9.11 toont het gezamenlijke waterstandseffect in een 2D-figuur voor het projectgebied ten opzichte van de huidige situatie.

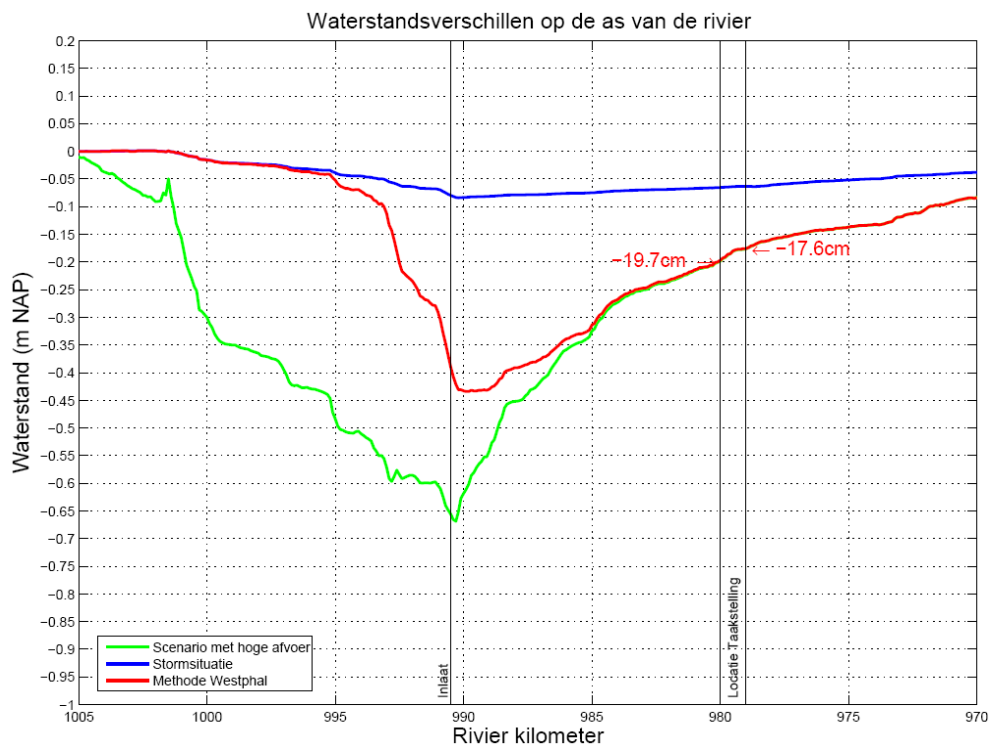
In tabel 9.4 zijn de waterstandseffecten in de as van de rivier samengevat.

Tabel 9.4: Waterstandseffecten in de as van de rivier voor fase 2

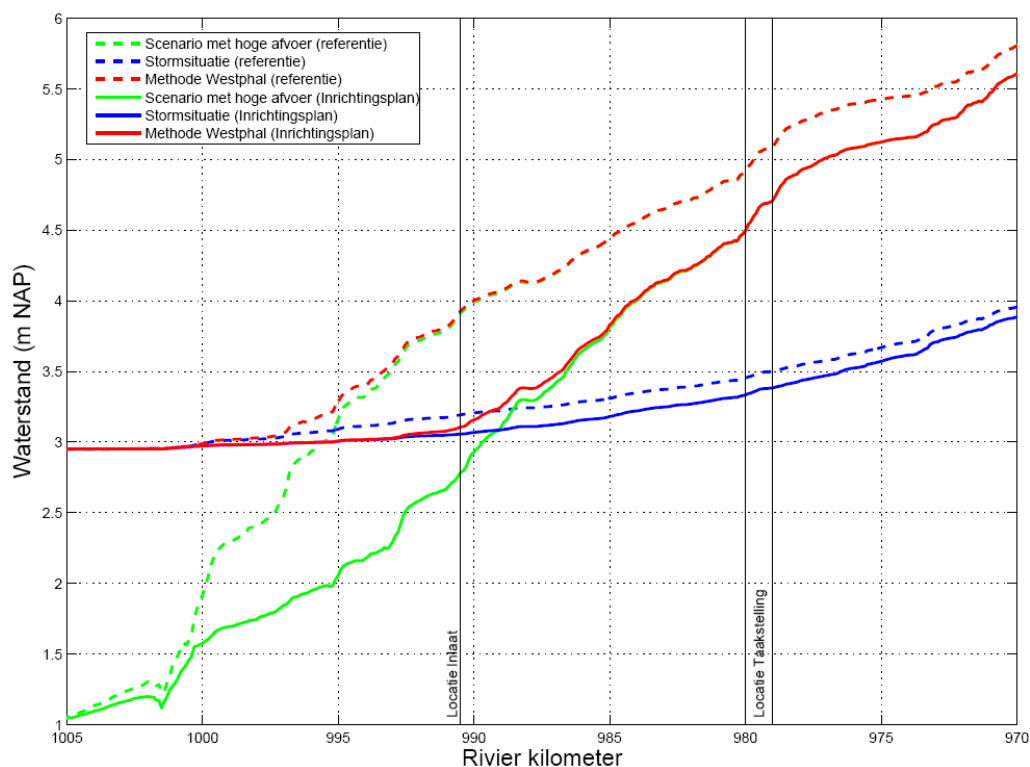
	Op kmr 980,0			Op kmr 990,5		
	wind	afvoer	Westphal	wind	afvoer	Westphal
Maximale verlaging in de as van de rivier als gevolg van de aanleg van de bypass t.o.v. de werkelijke situatie na 2025 (zomerbedverlaging en herinrichting Onderdijkse Waard zijn reeds uitgevoerd).	6 (bij volledig gesloten inlaat (zie H14))	19,7 cm	19,7 cm	8 cm (bij volledig gesloten inlaat (zie H14))	66 cm	44 cm
Maximale verlaging in de as van de rivier als gevolg van de Zomerbedverdieping, de Onderdijkse Waard en de bypass t.o.v. de PKB referentie	12 cm (bij volledig gesloten inlaat (zie H14))	42,1 cm	42,1 cm	14 cm (bij volledig gesloten inlaat (zie H14))	113 cm	85 cm



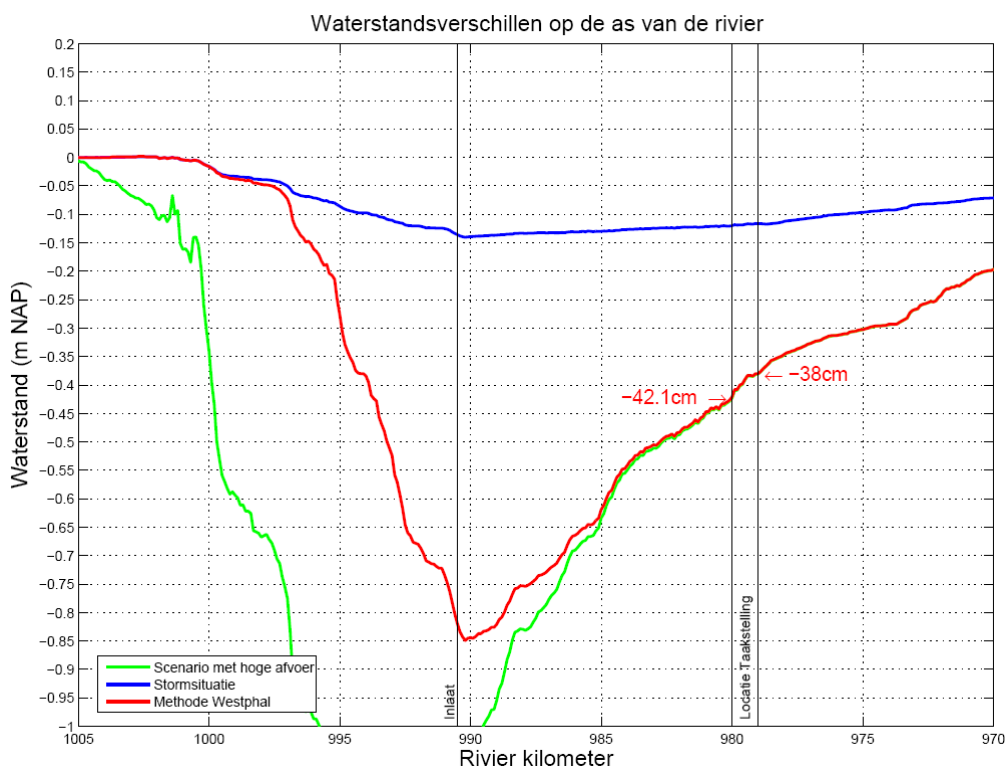
Figuur 9.7: Verhanglijnen voor de situatie na 2025 (volledige inzet bypass, herinrichting Onderdijkse Waard en SNIP3 Zomerbedverlaging) en de situatie voor 2025 (herinrichting Onderdijkse Waard en SNIP3 Zomerbedverlaging)



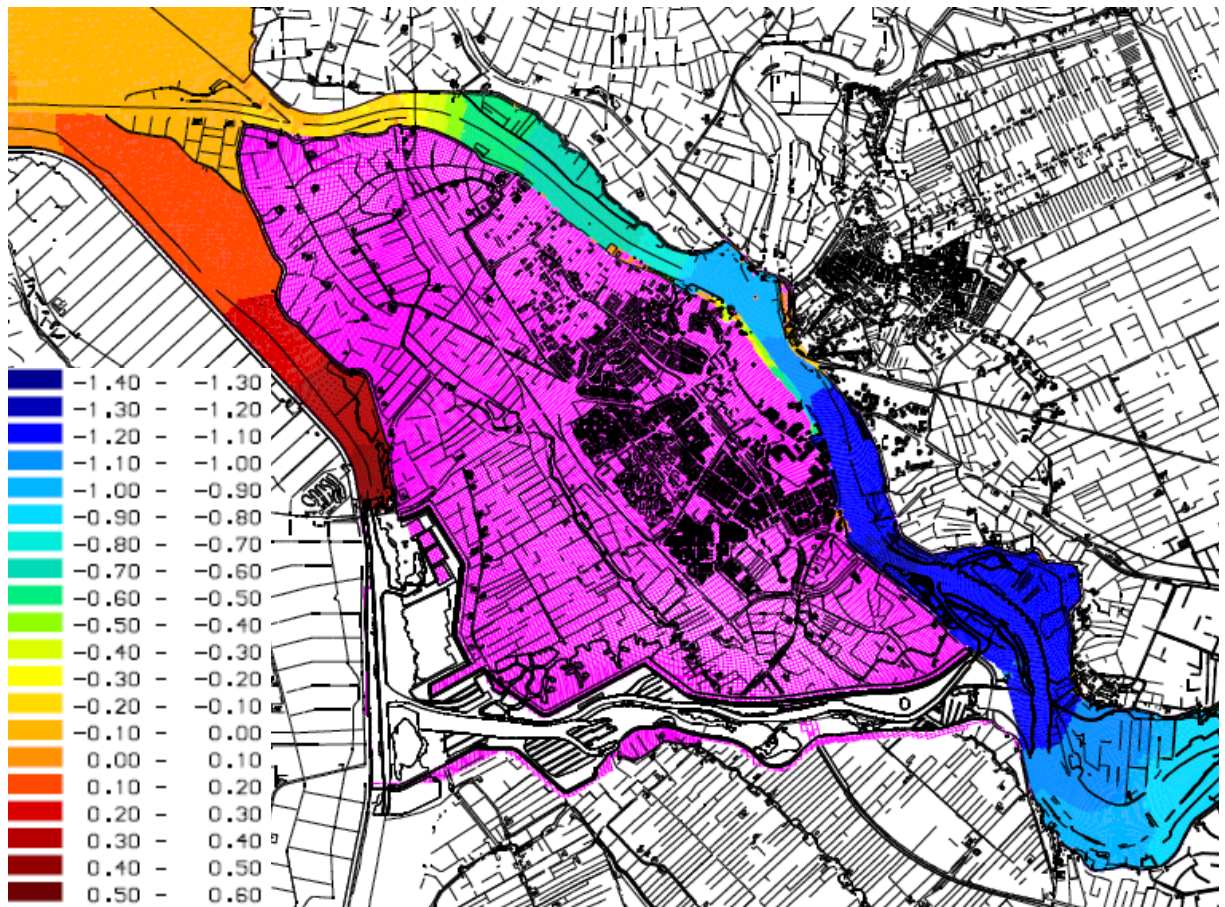
Figuur 9.8: Waterstandsverschil tussen de situatie na 2025 (volledige inzet bypass, herinrichting Onderdijkse Waard en SNIP3 Zomerbedverlaging) en de situatie voor 2025 (herinrichting Onderdijkse Waard en SNIP3 Zomerbedverlaging). De rode lijn toont het MHW-effect volgens Westphal



Figuur 9.9: Verhanglijnen voor de situatie na 2025 (volledige inzet bypass, herinrichting Onderdijkse Waard en SNIP3 Zomerbedverlaging) en de huidige situatie voor 2015 (geen herinrichting Onderdijkse Waard, geen SNIP3 Zomerbedverlaging en geen bypass)



Figuur 9.10: Waterstandsverschil tussen de situatie na 2025 (volledige inzet bypass, Onderdijkse Waard en SNIP3 Zomerbedverlaging) en de huidige situatie voor 2015 (geen Onderdijkse Waard, geen SNIP3 Zomerbedverlaging en geen bypass). De rode lijn toont het MHW-effect volgens Westphal



Figuur 9.11: Waterstandseffect (2D-WAQUA) van de bypass, de zomerbedverlaging en de herinrichting van de Onderdijkse Waard ten opzichte van de PKB-referentiesituatie. De waterstandsvaling komt overeen met de groene lijn uit figuur 9.10.

Let op schaal is anders dan in figuur 9.6 en 9.3

9.4 Effecten buiten de as van de rivier (aspect 1.2) voor fase 2

Door de ingreep kan de waterstand in de uiterwaarden van het projectgebied en langs de bandijk lokaal toenemen. Dit kan resulteren in mogelijke schade voor de bewoners en gebruikers van de uiterwaarden en een afname van het veiligheidsniveau van het dijktracé. Een verhoging van de MHW-stand bij de bandijk is slechts toegestaan na acceptatie door de beheerder van de waterkering, het waterschap Groot Salland en het waterschap Zuiderzeeland. Er is getoetst wat de maximale opstuwing binnen het projectgebied is en wat de maximale opstuwing langs de westelijk gelegen IJsseldijk en de oostelijk gelegen IJsseldijk is.

Figuur 9.6 en 9.11 tonen geen opstuwing in de as van de IJssel. Doordat er water onttrokken wordt aan de IJssel en deze niet meer geloosd wordt op de IJssel, is er op de IJssel geen opstuwing. Wel is er een opstuwing op het Vossemeer bij een hoge IJsselafvoer ten opzichte van de huidige situatie.

Figuur 9.6 toont dat de waterstand door het meestromen van de bypass, op het gehele Vossemeer omhoog gaat, met maximaal 56 cm bij Roggebot Noord. Dit is dus bij een 1/2000 jaar afvoerconditie.

Het ontwerppeil van de dijken blijft echter bepaald door een maatgevende stormconditie, hierop heeft het geen effect. Voor fase 2 moet het gedeelte van de dijk tussen de Reevedam en Roggebot worden verhoogd, vanwege de hogere maatgevende waterstanden bij een storm. Het gedeelte van de Drontermeerdijk ten noorden van Roggebot, blijft stormgedomineerd. De maatgevende waterstand neemt niet toe ten opzichte van de huidige situatie. In hoofdstuk 6 is hierover een toelichting gegeven.

Figuur 9.6 en 9.11 toont geen waterstandsverschil in de bypass, aangezien deze in de huidige situatie geen water bevat. Bij een afvoer conditie gaat hier de waterstand omhoog met ca. 0,5 tot 2,5 m (zie figuur 6.8 in deel B).

Langs de dijken langs de IJssel neemt de waterstand af bij een afvoerconditie. Hier vindt dus geen opstuwing plaats.

Tabel 9.5: Waterstandseffecten buiten de as van de rivier bij MHW

locatie	Taakstellingsberekening (bypass t.o.v. PKB-referentie)	Na 2025 t.o.v. voor 2015 (figuur 9.11)
Maximale opstuwing bij Roggebot Noord	56 cm	43 cm
Maximale opstuwing langs de westelijke IJsseldijk	Geen opstuwing	Geen opstuwing
Maximale opstuwing langs de oostelijke IJsseldijk	Geen opstuwing	Geen opstuwing
Maximale opstuwing in het projectgebied	Geen opstuwing	Geen opstuwing

9.5 Beheerruimte

9.5.1 Inleiding

Door ontwikkeling van vegetatie en afzet van sediment kan de afvoercapaciteit van de bypass afnemen. Om te zorgen dat voldoende afvoer ook in de toekomst behouden blijft en aan de taakstelling voldaan wordt, is het van belang tijdig beheermaatregelen uit te voeren. Het moment waarop de maatregelen plaats moet vinden, kan vastgelegd worden aan de hand van zo genoemde 'interventiewaarden'. Deze waarde geeft de bovengrens van vegetatieontwikkeling aan waarbij beheermaatregelen moeten worden ingezet. Het is tevens het niveau waarop de rivierbeheerder (Rijkswaterstaat) de terreinbeheerder zal gaan toezien en handhaven in het kader van de Waterwet. Voor sediment geeft de interventiewaarde aan welke bodemhoogte maximaal voor mag komen voordat er geïntervenieerd dient te worden.

De verwachte vegetatie- en landschapsontwikkeling voor de situatie 30 jaar na aanleg (2045) is weergegeven in het inrichtingsplan (zie ook bijlage A). Dit voorstel is gebaseerd op de verwachte waterbewegingen, het voorgestelde waterbeeld, terreinbeeld en beheerbeeld. Dit is te beschouwen al het beoogde beeld. Het natuurbeeld is een beeld dat gebaseerd is op 3 typen van beheer: een interventieniveau, begrazing en maaibeheer. In het Inrichtingsplan [11] en het Beheer & Onderhoudsplan [16] is hier op ingegaan.



Uit hydraulische berekeningen blijkt dat het inrichtingsplan met het daarbij behorende natuurbeeld een waterstandsaling geeft van 32,2 cm op kmr 980,0. Hiermee is een ruimte van 2,2 cm tussen taakstelling en werkelijke waterstandsaling. Deze 2,2 cm beheerruimte kan gebruikt worden om in sommige delen van de bypass meer verruiging toe te laten. Het beeld wat dan ontstaat, komt overeen met de interventiewaarden. Delen van het plangebied mogen verruigen tot het eind van het successiestadium, in de meeste gevallen leidt dit tot een toename van het percentage aan zachthoutoibos of zachthoutstruweel.

Het doel van de interventiewaardenkaart is inzichtelijk te maken in welke gebieden het beheer noodzakelijk is vanuit het mogelijke risico op reductie van de stroomvoerende capaciteit van de bypass. In andere gebieden is het risico op reductie van stroomvoerende capaciteit minder aanwezig. Op deze locaties heeft een intensievere vegetatieontwikkeling, dan in de plankaart opgenomen, geen negatieve invloed op de stroomvoerende capaciteit van de bypass.

9.5.2 Uitgangspunten voor interventiewaardenkaart

De belangrijkste uitgangspunten die gehanteerd zijn bij het opstellen van de streef- en interventiewaardenkaart zijn onderstaand toegelicht:

- In de streefwaarden/inrichtingsplan is rekening gehouden met een reële ontwikkeling van vegetatie (verruwing) gebaseerd op toekomstige bodemhoogtes, waterpeilen en beheer. Om de beheerinspanning zo laag mogelijk te houden, is er rekening gehouden met een conservatief (ruig) vegetatiebeeld dat ruimte biedt voor de spontane ontwikkeling van vegetatie;
- Gebieden waar verruiging leidt tot vermindering van de afvoerfunctie (risicogebieden) mogen niet verder verruwen dan is aangegeven in het inrichtingsplan. Voor deze gebieden zijn de interventiewaarden gelijkwaardig aan de streefwaarden. Dit heeft ondermeer betrekking op de zone rondom de inlaat, de knoop en de oever nabij de klimaatdijk;
- Voor gebieden die in de streefwaarden onbeheerd zijn (zonder maaibeheer of begrazing), is reeds het eind van het successiestadium opgenomen. Deze gebieden kunnen dus niet verder verruwen. Voor deze gebieden zijn de interventiewaarden gelijkwaardig aan de streefwaarden;
- Voor de overige gebieden is bekeken welke verruwing mogelijk is binnen de randvoorwaarden van toekomstige bodemhoogtes en waterpeilen. Dit wil zeggen dat natte zones ook nat blijven en niet ingevuld worden met drogere vegetatietypen (bijv. ruig grasland of bos).

9.5.3 Interventiewaardenkaart

Op basis van de uitgangspunten is een interventiewaardenkaart samengesteld.¹² Hierbij is gezocht naar locaties waar verruwing past binnen het natuur- en landschappelijk beeld, het beheer en de hydraulische ligging (buiten de stroombaan). Op de navolgende pagina's zijn de streef- en interventiewaardenkaart weergegeven.

¹² De interventiewaardenkaart is een vertaling van de inrichtingsplankaart naar uniforme vegetatietypen (ruwheden) die door de rivierbeheerder gehanteerd worden. Hierdoor wijkt de benaming van vegetatietypen af van de gehanteerde vegetatietypen in het inrichtingsplan.

De verschillen tussen het streefbeeld en de interventiewaardenkaart zijn in onderstaande tabel (van oost naar west) toegelicht. De berekende waterstandsaling bij de interventiewaardenkaart is 32,2 cm bij Zwolle. Hiermee voldoet deze ruim aan de taakstelling van 30 cm. Er is zelfs nog extra ruimte aanwezig voor bijvoorbeeld het effect van aanzanding. Het verschil met het streefbeeld is minimaal, dit is te verklaren uit het feit dat:

- De relatieve smalle doorgangen bij de brug N50/Hanzelijn, het inlaatwerk en de brug bij Roggebot leidend zijn voor de afvoercapaciteit van de bypass;
- De gedeeltes waar verschillen zijn tussen de streef- en interventiewaardenkaart zijn reeds arealen met ruige vegetatietypen welke al een hoge hydraulische weerstand hebben, de extra verruiging reduceert de afvoercapaciteit van de bypass nauwelijks.

Tabel 9.6: Verschillen in vegetatie tussen de streef- en interventiewaardenkaart

#	Locatie	Streefwaardenkaart	Interventiewaardenkaart
1	Bypass (tussen IJsseldijk en Knoop)	Droge ruigte, 5% zachthoutstruweel	Zachthoutoobos
2	Bypass (tussen IJsseldijk en Knoop)	Natuurlijk grasland	Verruigd grasland
3	Bypass (tussen IJsseldijk en Knoop)	Natte ruigte homogeen	Natte ruigte, 5% zachthoutoobos
4	De Knoop	Natuurlijk grasland	Verruigd grasland
5	De Enk	Natte ruigte homogeen	Natte ruigte, 5% zachthoutoobos
6	De Enk	Natuurlijk grasland	Verruigd grasland
7	Bypass (klimaatdijk, zuidoever)	Verruigd grasland, 2,5% zachthoutstruweel	Verruigd grasland, 5% zachthoutstruweel
8	Bypass (klimaatdijk, noordoever)	Natuurlijk grasland	Verruigd grasland
9	Bypass (Drontermeer)	Verruigd grasland, 2,5% zachthoutstruweel	Verruigd grasland, 20% zachthoutstruweel

9.5.4 Risicogebieden

Er is een aantal locaties waar het beheer kritisch is voor het behouden van de doorstroomcapaciteit van de bypass. Indien op deze locaties de vegetatie zich verder ontwikkelt, is er een reëel risico dat de bypass niet meer kan voldoen aan de taakstelling:

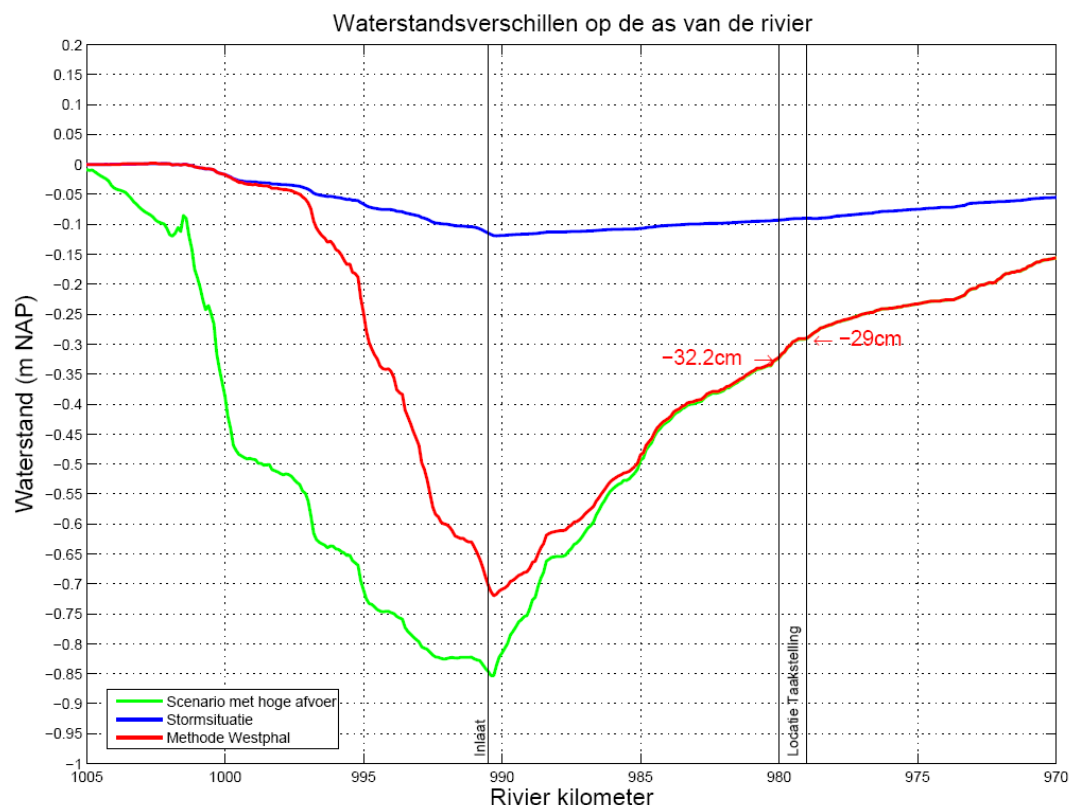
- Inlaatwerk: Het maaien van het gebied rondom de opening van het inlaatwerk is noodzakelijk om de afvoerfunctie te handhaven. Het beheer door begrazing moet op deze locatie goed bewaakt blijven;
- Knoop: De Knoop (brug N50/Hanzelijn) is een kritisch element in de bypass. Hier is de stroomvoerende breedte het smalst. Hoewel kritisch, zal er echter weinig vegetatieontwikkeling zijn vanwege de schaduw onder de bruggen. Daarnaast is er steenbestorting langs de pijlers en oevers voorzien vanwege erosiebescherming;
- Middengedeelte bypass: In het gedeelte tussen de Nieuwendijkse brug en de zuidelijke kop van het wooneiland Reeve is het maaibeheer noodzakelijk. Vanwege de gereduceerde breedte van de stroombaan in dit gedeelte is de stroomvoerende capaciteit hier kritischer dan in andere delen van de bypass;
- Onderdijkse Waard: Het benedenstrooms gedeelte van de Onderdijkse Waard is een gevoelige locatie wat betreft opstuwing in fase 1.

Het toepassen van maaibeheer is hier noodzakelijk om te zorgen dat de herinrichting van de Onderdijkse Waard niet tot een te hoge opstuwing leidt in fase 1. In fase 2 speelt deze opstuwing geen rol meer voor de hoogwaterveiligheid, vanwege de onttrekking door de bypass. Door deze onttrekking gaan de waterstanden benedenstrooms van de bypass naar beneden.

De opstuwing in fase 1 wordt zeer waarschijnlijk opgevangen door de zomerbedverlaging van de IJssel. Als de zomerbedverlaging in 2015 is uitgevoerd is een intensiever beheer van de Onderdijkse Waard niet meer noodzakelijk, aangezien de noodzaak voor de reductie van de opstuwing dan niet meer aanwezig is.

9.5.5 Hydraulisch effect

Het inrichtingsplan met interventiewaardenkaart voor fase 2 is hydraulisch doorgerekend. Hierbij is dezelfde berekeningswijze toegepast als bij het toetsen van de taakstelling. De berekende waterstandsdeling bij de interventiewaardenkaart is 32,2 cm bij Zwolle. Hiermee voldoet de interventiewaardenkaart ruim aan de gestelde taakstelling van 30 cm. Tevens blijkt dat de maximale waterstandsdeling nauwelijks gevoelig is voor de verruiging van de verruigde delen van de bypass. Pas bij verruiging van de risicogebieden zal de waterstandsdeling afnemen. Figuur 9.12 toont het waterstandseffect van het inrichtingsplan met interventiewaardenkaart.



Figuur 9.12: Waterstandsverschil tussen de situatie met bypass met interventiewaardenkaart (geen Onderdijkse waard en geen zomerbedverlaging) en de huidige situatie (geen Onderdijkse Waard en geen zomerbedverlaging)

10
EFFECTEN OP INUNDATIEFREQUENTIE

Als gevolg van de ingrepen in het projectgebied wijzigt de frequentie van instromen van de Onderdijkse Waard, het bypassgebied en het recreatiegebied in het verlengde Vossemeer. Dit kan nadelig zijn voor de omwonenden, voor de bereikbaarheid of voor natuurontwikkeling. In dit hoofdstuk worden de effecten van deze veranderingen beschreven. Aspect 2.1 van het Rivierkundig Beoordelingskader [1] gaat op dit aspect in. In tabel 10.1 zijn de waterstanden en overschrijdingsfrequentie bij de inlaat bij verschillende afvoerniveaus getoond. Omdat hoge afvoeren vaak voorkomen over een periode van meerdere dagen, en deze hoge afvoeren niet ieder jaar voorkomen, verschilt de overschrijdingsfrequentie van de herhalingstijd (zie tabel 10.1).

Tabel 10.1: Waterstanden op de IJssel in de huidige en toekomstige situatie nabij het inlaatwerk bij verschillende afvoeren

Afvoer bij Lobith	Afvoer op IJsselpop	Huidige waterstand bij de inlaat	Waterstand bij de inlaat na uitvoering SNIP3 ZBIJ	gemiddelde overschrijdings-frequentie	Herhalingstijd	Inschatting debiet door bypass (met ZBIJ)
[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m+NAP]	[m+NAP] ¹³	[gem. aantal dagen/jaar] [overschr.freq / jaar]	[gem. aantal dagen/jaar] [overschr.freq / jaar]	[m ³ /s]
1.250	218	-0,08	-0,11	312	312	0
1.500	249	-0,05	-0,10	264	264	0
2.000	287	-0,01	-0,08	166	166	0
2.500	319	0,04	-0,03	100	100	0
3.000	389	0,21	0,11	59	59	0
3.500	452	0,35	0,20	37	37	0
4.000	502	0,46	0,31	24	26	0
4.500	562	0,58	0,40	16	17	0
5.000	632	0,72	0,51	11	8	0
5.500	703	0,88	0,63	7	5	0
6.000	776	1,09	0,81	5	4	0
7.000	935	1,45	1,11	2	1/2 jaar	0
8.000	1.094	1,66	1,35	1	1/4 jaar	0
9.000	1.287	1,9	1,56	1/2 jaar	1/7 jaar	+/- 50
10.000	1.465	2,2	1,85	1/7 jaar	1/14 jaar	+/- 200
13.000	1.975	2,8	2,44	1/125 jaar	1/125 jaar	+/- 350
16.000	2.593	3,7	3,30	1/1250 jaar	1/1250 jaar	+/- 440
16.655	2.740	3,9	3,48	1/2000 jaar	1/2000 jaar	+/- 600

NB: In deze tabel is onderscheid gemaakt tussen de herhalingstijd en de gemiddelde overschrijdings-frequentie. Op basis van de dagelijkse afvoeren over een meetperiode van 52 jaar (1950 - 1980 en 1989 - 2009) zijn de overschrijdingsfrequenties vastgesteld. Zo blijkt een afvoer hoger dan 7.000 m³/s 107 maal voor te komen, ofwel een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld 2 dagen per jaar. Echter doordat dergelijke afvoeren over het algemeen binnen een meerdaagse afvoergolf voorkomen, is de herhalingstijd of terugkeertijd van een dergelijke afvoer slechts eens per 2 jaar. In dit rapport wordt steeds gerefereerd naar de herhalingstijd van een betreffende afvoer.

¹³ Waterstandseffect van RvdR-project ZBIJ is bepaald op basis van een aangeleverde tabel met waterstandseffecten, aangeleverd door projectteam ZBIJ, januari 2012.

10.1 Fase 1

Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

10.1.1 Onderdijkse Waard

Tabel 10.1 toont de waterstanden in de huidige en toekomstige situatie met de zomerbedverlaging bij verschillende afvoerniveaus op de locatie van de inlaat in de as van de rivier.

In de huidige situatie begint de Onderdijkse Waard te inunderen bij waterstanden vanaf ca. NAP+1,0 m. Dit komt overeen met een afvoer vanaf 5.800 m³/s (herhalingstijd van circa 5 dagen per jaar).

Door de zomerbedverlaging zal in fase 1 de huidige waterstand op de IJssel worden verlaagd, waardoor pas bij een afvoer vanaf ca. 6.600 m³/s de Onderdijkse Waard zal inunderen (herhalingstijd van circa 2 dagen per jaar). Door de herinrichting van de Onderdijkse Waard zal de nieuwe recreatie- en nevengeul permanent water bevatten de overige delen zullen op het huidige maaiveld behouden blijven. De enige uitzondering hierop is de stroombaan naar het inlaatwerk. Dit gedeelte wordt verlaagd naar NAP+0,5 m. Langs de oever van het zomerbed wordt over de lengte van deze stroombaan een kade aangelegd op NAP+1,0 m. Deze kade dient ervoor om de mogelijk optredende dwarsstroming over dit gedeelte te reduceren, tevens wordt hiermee de inundatiefrequentie gereduceerd. Een kade van NAP+1,0 m zal circa 2 dagen per jaar inunderen. Echter het verlaagde gedeelte van de stroombaan zal achter de kade langs inunderen, dit gebeurt circa 10 dagen per jaar.

Concluderend nemen de inundatiefrequentie op de Onderdijkse Waard af in vergelijking met de huidige situatie (afgezien van de recreatie- en nevengeul en het verlaagde gedeelte voor het inlaatwerk). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de zomerbedverlaging en niet door de herinrichting van de Onderdijkse Waard zelf. Bij de natuurinrichting van de Onderdijkse Waard is hiermee rekening gehouden. De situatie voor de bewoners van de woonterp in de Onderdijkse Waard is verbeterd. Door deze te handhaven op het huidige niveau (NAP+3,2 m) blijft de inundatiefrequentie gelijk, echter door uitvoering van de zomerbedverlaging neemt de inundatiefrequentie zelfs af.

10.1.2 Bypass gebied

Tussen het Drontermeer en het bypassgebied ligt een natuurlijke oeverwal, waarvan het beschermingsniveau 1/2000 jaar zou moeten zijn; echter zijn er bepaalde delen die op dit moment niet aan deze vigerende norm voldoen.

Het streefpeil in het Drontermeer is in de zomer ca. NAP-0,05 m en in de winter is dit ca. NAP-0,3 m. De dagelijkse waterstanden schommelen hierom heen met ca. 5 tot 20 cm in het winterseizoen en ca. 0 tot 10 cm in het zomerseizoen. De maximale waterstanden in het Drontermeer bij Roggebot Zuid zijn ca. NAP+0,55 m in de winter en NAP+0,3 m in de zomer. Deze maximale waterstanden treden op bij een zuidwester- tot westerstorm.



In fase 1 wordt de oeverwal doorstoken en de bypass gegraven. Tijdens storm zullen de lagere delen van het bypassgebied inunderen vanuit westelijke richting. Het volledige bypassgebied is in fase 1 als natuur- en recreatiegebied ingericht, en de natuurontwikkeling heeft in deze situatie juist baat bij geregelde inundaties. Uit een analyse, op basis van de 10 minuten waterstanddata voor het Drontermeer in de periode tussen 2005 – 2009 (zie bijlage E), blijkt dat in de winter meerdere malen per jaar een maximale waterstand van NAP+ 0,50 m zal optreden. Hierdoor zullen de lagere delen van de bypass onder water lopen, terwijl de hogere delen droog blijven. Recreanten in het gebied hebben altijd de mogelijkheid om zonder problemen het gebied uit te komen bij extreme stormcondities.

De veranderende inundatiefrequenties hebben ook gevolgen voor het kwelbeheer van de polder Kamperveen en in het stedelijk gebied van de gemeente Kampen. Op de effecten van deze vernatting wordt nader ingegaan in de rapportage Geohydrologie [24].

Bij een extreme afvoersituatie ($> 15.500 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith) is de inzet van de bypass als hoogwatergeul noodzakelijk. Tijdens deze situatie zal de bypass volledig inunderen. De kans op een dergelijke situatie is echter zeer klein, slechts 1/1100 jaar.

10.2 Fase 2

Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

Onderdijkse Waard

Voor fase 2 wijzigt de situatie voor de Onderdijkse Waard niet ten opzichte van fase 1. Indien het peilbesluit voor de peilopzet in IJsselmeer genomen wordt volgens het midden scenario (zie hoofdstuk 5) dan blijft het winterpeil tot 2050 gelijk aan het huidige peil. Door de mogelijke, op korte termijn, verhoging van het zomerpeil op het IJsselmeer stijgen de zomerpeilen met maximaal 30 cm. Bij lage afvoeren ligt het waterpeil in 2045 dan ook maximaal ca. 25 tot 30 cm hoger in de zomer bij de Onderdijkse Waard (uitgaande van lage afvoeren in de zomer). De waterstand bij de Onderdijkse Waard in 2045, bij lage afvoeren, is dan ca. NAP+0,2 m. De inundatiefrequentie van de Onderdijkse Waard verandert hiermee niet. In de zomer komen hoofdzakelijk lage en gemiddelde afvoeren voor, de Onderdijkse Waard blijft droog liggen in deze situatie.

In fase 2 zal ook de migratiegeul door de Onderdijkse Waard, langs de noordelijke zijde van de stroombaan worden aangelegd, deze zal permanent watervoerend zijn. Dit wijzigt echter niets aan de inundatiefrequentie van de omliggende delen.

Bypass gebied

Het streefpeil in het Vossemeer is in de zomer ca. NAP-0,10 m (2025) en in de winter is dit ca. NAP-0,4 m. De dagelijkse waterstanden schommelen hierom heen met ca. 10 tot 30 cm. De maximale waterstanden in het Vossemeer zijn ca. NAP+1,5 m in de winter en NAP+0,7 m in de zomer. Deze maximale waterstanden treden op bij een noordwester tot westerstorm.

Deze waterstanden tonen dat onder normale omstandigheden de bypass nagenoeg droog staat, enkel de recreatiegeul en de omliggende lage oevers zullen permanent onder water staan.

Het bypassgebied wordt in fase 1 nog beschermd voor windopzet vanuit het IJsselmeer door de Roggebotsluis.

In fase 2 wordt de Roggebotsluis verwijderd, waardoor de bypass in directe verbinding staat met het IJsselmeer. Zoals eerder vermeld is de bypass ingericht als natuur- en recreatiegebied en heeft de natuurontwikkeling baat bij geregelde inundaties. Uit een analyse, op basis van de 10 minuten waterstanddata voor het Vossemeer bij Roggebot Noord in de periode tussen 2005 en 2009 (zie bijlage E), blijkt dat in de winter waterstanden zijn opgetreden tussen de NAP+1,0 m en NAP+1,5 m. Deze waterstanden zijn waarschijnlijk deels een gevolg van opstuwing tegen de huidige Roggebotsluis. Door het deels verwijderen van de Roggebotkering zullen de waterstanden in de bypass daarom iets lager zijn dan de gemeten waterstanden bij Roggebot Noord, ca. NAP+0,75 tot NAP+1,25 m. Als gevolg hiervan zullen de meeste delen in de bypass inunderen. In de zomer komen ook waterstandverhogingen rond de NAP+0,5 m voor. Deze waterstanden zorgen dat de lagere delen van de bypass onder water lopen. In het inrichtingsplan zijn in het gebied hoogwatervluchtplaatsen voor het vee voorzien.

In fase 2 staan de schotten in het inlaatwerk standaard ingesteld tot een niveau van NAP+1,5 m. Bij deze standaard opstelling zal de bypass bij afvoeren vanaf circa 8.500 m³/s te Lobith gaan meestromen. Een dergelijke afvoer kent een overschrijdingsduur van eens per circa 5 jaar. Het overstromen van de schotten en daarmee het meestromen van de bypass heeft door het stormgedomineerde karakter van de bypass echter geen impact op de inundatiefrequentie.

Verlengde Vossemeer

Een punt van aandacht is het recreatiegebied grenzend aan het verlengde Vossemeer ten zuiden van de Roggebotsluis en ten noorden van de Hanzelijn, waar partyhotel 't Haasje, een camping en een jachthaven zijn gevestigd. Door het verwijderen van de Roggebotsluis, neemt de inundatiefrequentie toe. De huidige maaiveldhoogtes zijn:

- Partyhotel 't Haasje: maaiveld varieert sterk in hoogte van ca. NAP+0,5 m aan de waterkant tot ca. NAP+4m aan de landzijde;
- Camping: maaiveld ligt grotendeels op NAP+1,0m, maar de opstallen van de camping liggen op een hoogte van ca. NAP+1,5m of hoger;
- Jachthaven (incl. opstallen): maaiveld varieert tussen NAP+0,5m en NAP+1,5m.

Er is afgesproken dat in fase 2 hetzelfde beschermingsniveau gehandhaafd moet blijven als in de huidige situatie. Er is afgesproken dat de camping en de jachthaven integraal zullen worden opgehoogd en dat voor partyhotel 't Haasje een maatoplossing wordt gemaakt. Dit is verder uitgewerkt in het Technisch Ontwerp [14].

Samenvattend, zijn in tabel 10.2 de instroomfrequenties voor de huidige situatie, fase 1 en fase 2 overzichtelijk weergegeven voor diverse locaties.

Tabel 10.2: Frequentie (herhalingstijd) van instromen van (delen van) de Onderdijkse Waard en de Bypass in de huidige situatie en de situatie met het inrichtingsplan en de zomerbedverlaging

Locatie	huidige situatie	Fase 1	Fase 2
Onderdijkse Waard	5 dagen per jaar	2 dagen per jaar	2 dagen per jaar
Onderdijkse Waard stroombaan	2 dagen per jaar	10 dagen per jaar	10 dagen per jaar
Onderdijkse Waard woonterp	1/1250 jaar	< 1/1250 jaar	< 1/1250 jaar
Bypass gebied lagere delen (<0,5m)	1/2000 jaar	1 – 5 dagen per jaar	5 – 10 dagen per jaar
Bypass gebied hogere delen (>0,5m)	1/2000 jaar	1/100 jaar	1 – 5 dagen per jaar
Recreatiegebied Verlengde Vossemeer	Circa 1/100 jaar	Circa 1/100 jaar	Circa 1/100 jaar

11 EFFECTEN OP STROOMBEELD

Door ingrepen in het gebied kunnen (lokale) stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kaden, wegen, maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van (verwachte) erosie wordt geschat door het beoordelen van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith. Dit beoordelingsaspect is omschreven in aspect 2.2 uit tabel 4 van het beoordelingskader.

11.1 Fase 1

Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

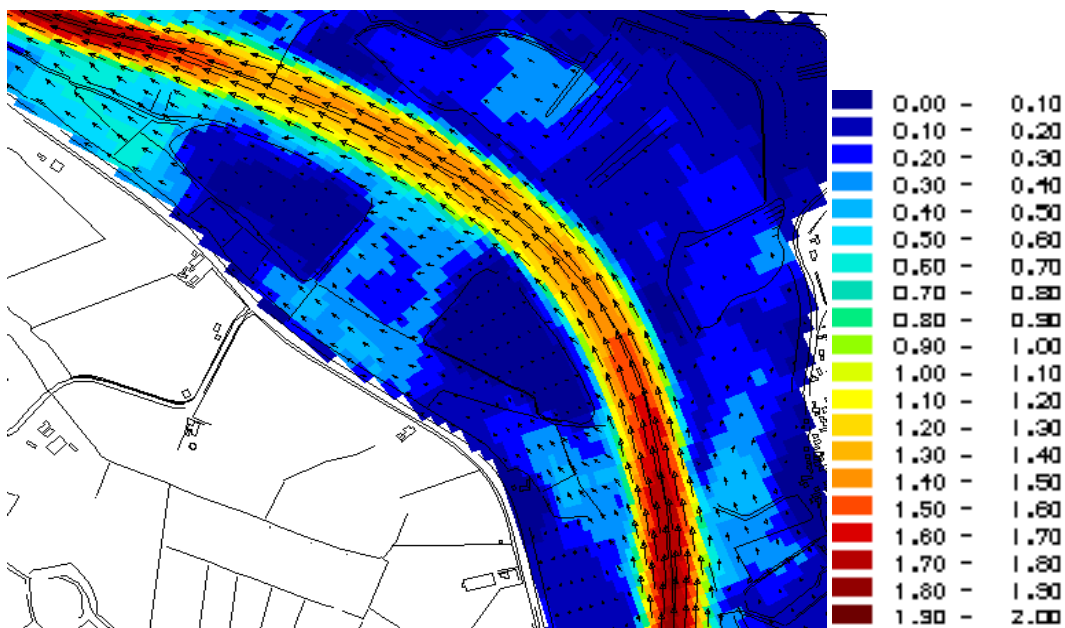
11.1.1 Stroombeeld in IJssel en Onderdijkse Waard

Figuur 11.1 toont de optredende stroomsnelheden in en rondom de Onderdijkse Waard bij een afvoer van 10.000 m³/s voor de huidige situatie zonder zomerbedverlaging. De stroomsnelheden in de Onderdijkse Waard zijn hoger bij de instroom naar de uiterwaard, tussen de twee diepe plassen in en bij de uitstroom naar het zomerbed. Bij de instroom en tussen de plassen is de stroomsnelheid maximaal 0,5 m/s. Boven de diepe plassen stroomt het nauwelijks. Bij de uitstroom zijn de stroomsnelheden iets hoger, maximaal 0,6 tot 0,7 m/s.

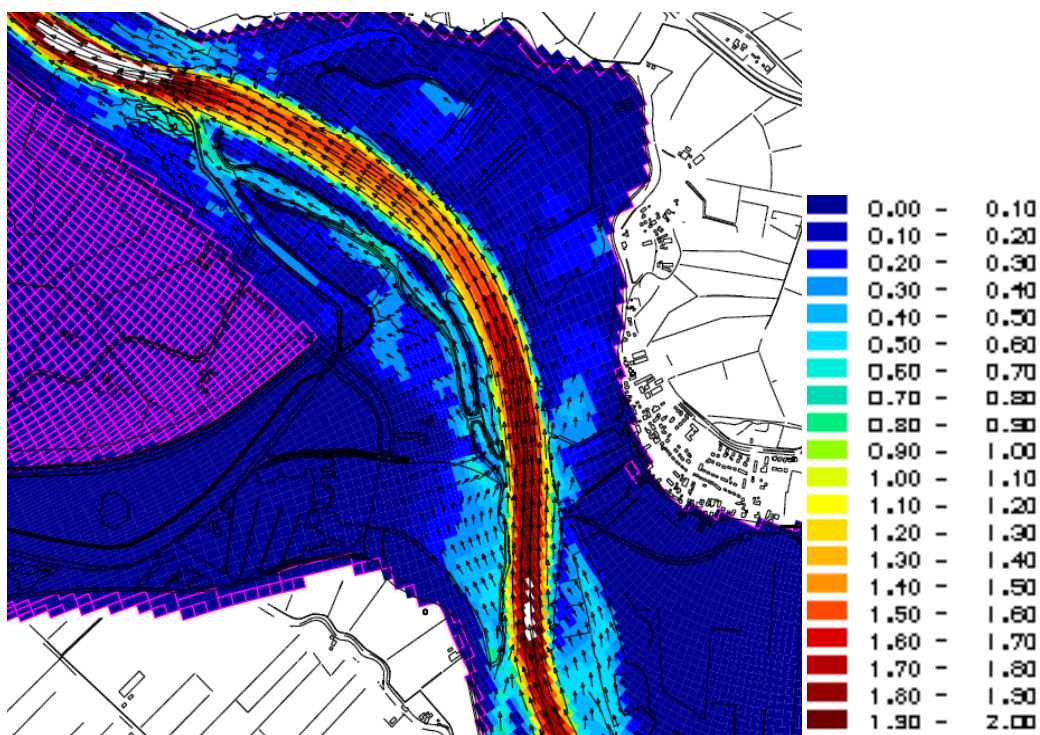
Op de IJssel zijn de stroomsnelheden flink hoger. Opvallend is het deel van de IJssel ter hoogte van de twee diepe plassen. De stroomsnelheid is daar lager (orde 1,2 – 1,4 m/s) dan in de gedeelten bovenstrooms en benedenstrooms (maximaal 2 m/s). Dit wordt veroorzaakt door de stroming naar de Onderdijkse Waard. Hierdoor neemt het debiet in het zomerbed af en dus ook de stroomsnelheid. Daar waar het water weer terugstroomt naar het zomerbed neemt de snelheid weer toe.

Figuur 11.2 toont de stroomsnelheden voor fase 1 van de bypass inclusief de zomerbedverlaging. Bij een afvoer van 10.000 m³/s wordt de bypass nog niet ingezet als hoogwatergeul. De schuiven in het inlaatwerk blijven gesloten bij een dergelijke afvoer. Figuur 11.3 toont de verschillen in stroomsnelheid tussen fase 1 en de huidige situatie. De figuur toont dat de stroomsnelheden vooral hoger zijn in de verlaagde stroombaan, de nevengeul en de recreatiegeul. In fase 1 is de stroomsnelheid in de nevengeul circa 0,5 m/s, met iets hogere waarden in het midden gedeelte 0,6-0,7 m/s en bij de uitstroomlocatie is dit circa 0,8 m/s. Nabij de verlaagde stroombaan zijn de snelheden circa 0,4 tot 0,5 m/s.

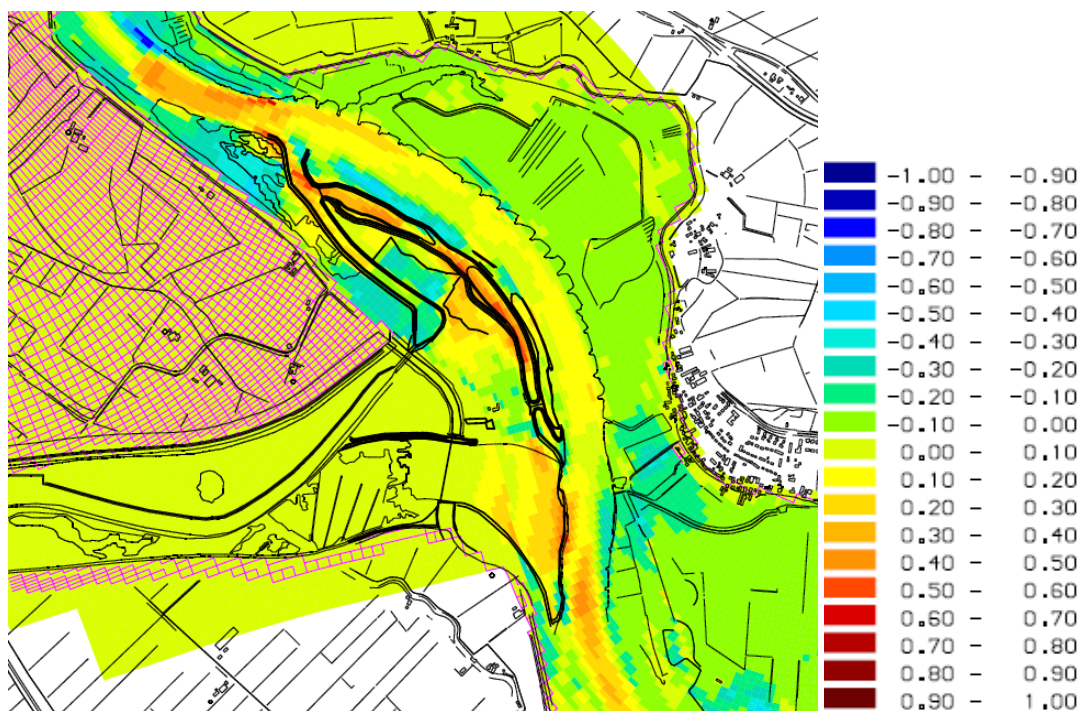
Tussen de geulen in is de snelheid beperkt, maximaal 0,2 m/s in het midden gedeelte en maximaal 0,35 m/s in het benedenstroomse gedeelte van de Onderdijkse Waard. In deze delen neemt de stroomsnelheid ook af ten opzichte van de huidige situatie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de aanleg van de nevengeul en anderzijds door de zomerbedverlaging. Door de waterstandsdeling ten gevolge van de zomerbedverlaging stroomt er meer water door het zomerbed en minder door de uiterwaarden. Hierdoor neemt de stroomsnelheid in het zomerbed toe en in de uiterwaarden af. De stroomsnelheid op de IJssel neemt toe, voornamelijk in het gedeelte boven- en benedenstrooms van de nevengeul, met circa 0,3 tot 0,4 m/s. Over het traject van de nevengeul is deze toename circa 0,1 tot 0,2 m/s.



Figuur 11.1: Stroomsnelheden (m/s) en richting in de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m³/s



Figuur 11.2: Stroomsnelheden (m/s) en richting voor fase 1 van de bypass inclusief de zomerbedverlaging bij een afvoer van 10.000 m³/s



Figuur 11.3: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen de fase 1 situatie (bypass inclusief zomerbedverlaging) en de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m³/s

11.1.2 Stroombeeld in Drontermeer en Bypass

In fase 1 is de bypass onderdeel van het Drontermeer. De migratiegeul is nog gesloten en ook de schuiven in het inlaatwerk zijn gesloten bij een afvoer lager dan 15.500 m³/s. Er vindt onder normale dagelijkse omstandigheden enkel stroming ten gevolge van wind plaats. De huidige oeverwal wordt nog niet geheel afgegraven, enkel bij de recreatiegeul wordt een opening gemaakt (zie figuur bodemhoogte bypass Fase 1 in bijlage A).

Onder normale omstandigheden staat de bypass nagenoeg droog, enkel de recreatiegeul en de omliggende lage oevers zullen permanent onder water staan. Tijdens jaarlijkse stormen zullen de lagere delen van de bypass onder water lopen, terwijl de hogere delen droog blijven. Vanwege dit beeld worden er geen hinderlijke stromingen verwacht op het Drontermeer bij dagelijkse omstandigheden.

Bij extreme zuidwester- of westerstorm kan door het waterstandsverschil dat ontstaat tussen bypass en Drontermeer een stroming ontstaan door de keersluizen in de Reevedam. De maximale stroomsnelheden door deze keersluizen zijn geschat op circa 1,5 m/s. Bij dergelijke stroomsnelheden zullen de keerdeuren in de Reevedam gesloten moeten zijn.

In de overige gedeeltes van de bypass kunnen tijdens storm de stroomsnelheden wel toenemen, echter deze blijven kleiner dan de maatgevende stroomsnelheden tijdens een afvoersituatie, zoals benoemd in paragraaf 8.2. De stroomsnelheden tijdens een extreme storm worden geschat op minder dan 0,5 m/s, zowel in het oostelijk als westelijk gedeelte van de bypass. Tijdens extreme afvoeren kan de stroomsnelheid toenemen tot snelheden van 0,5 tot 1,0 m/s.

In fase 1 worden op de bypass en Drontermeer geen nadelige stromingseffecten (dwarsstroming voor scheepvaart en erosie) voorzien.

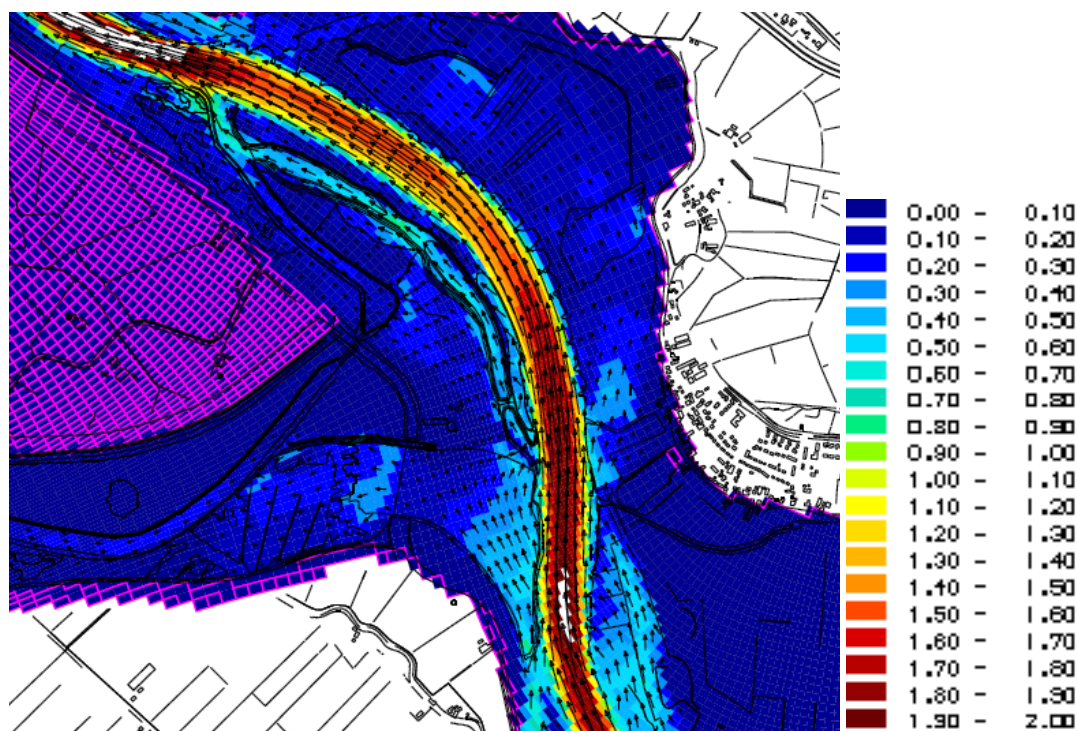
11.2 Fase 2

Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

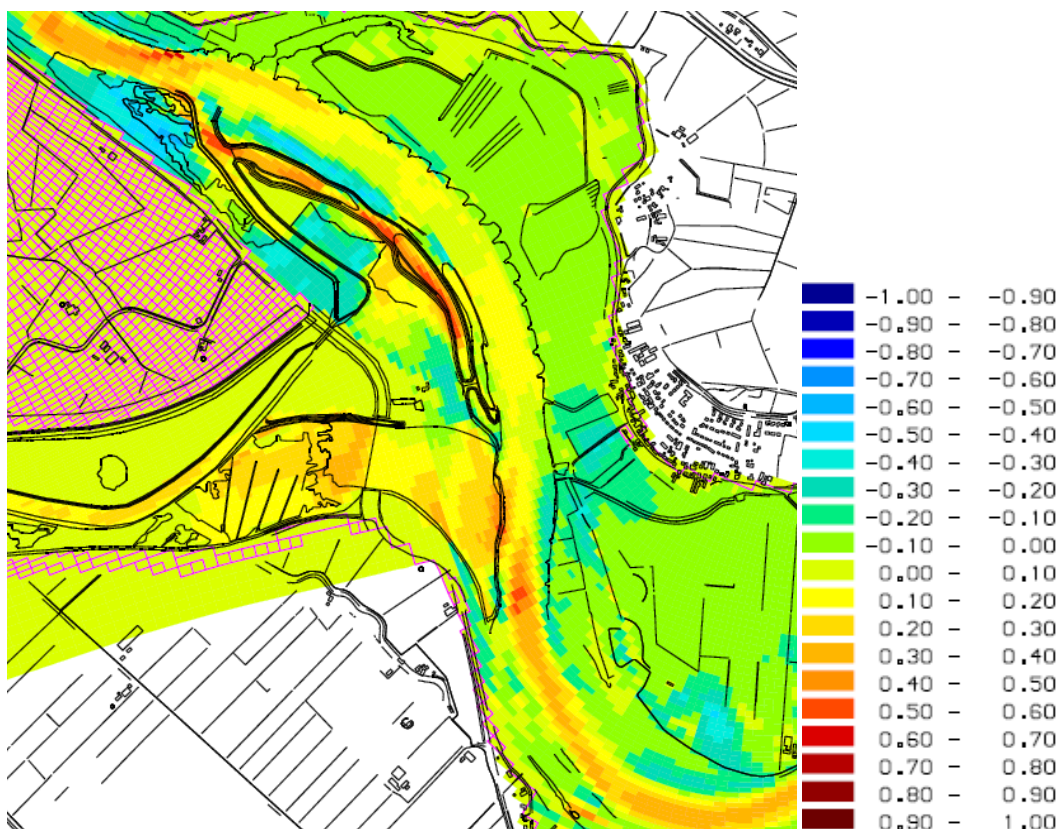
11.2.1 Stroombeeld in IJssel en Onderdijkse Waard

In fase 2 staan de schotten in het inlaatwerk standaard ingesteld tot een niveau van NAP+1,5 m. Bij deze standaard opstelling zal de bypass bij afvoeren van 8.500 m³/s meestromen. Bij een afvoer van 10.000 m³/s stroomt er circa 40 m³/s door de bypass bij deze afvoer.

De stroomsnelheden in de Onderdijkse Waard (figuur 11.4) zijn vergelijkbaar met de stroomsnelheden in fase 1. Omdat de schotten in het inlaatwerk gaan overstromen neemt de stroomsnelheid in de verlaagde stroombaan verder toe tot 0,5 m/s bij het inlaatwerk. Door de onttrekking van 40 m³/s naar de bypass (circa 2,5% van IJsselaflow) neemt de stroomsnelheid in het zomerbed weer iets af ten opzichte van de snelheid in fase 1, echter door de zomerbedverlaging blijft er een toename ten opzichte van de huidige situatie zichtbaar (figuur 11.5).



Figuur 11.4: Stroomsnelheden (m/s) en richting in Fase 2 met zomerbedverlaging bij een afvoer van 10.000 m³/s



Figuur 11.5: Verschil in stroomsnelheden (m/s) tussen de fase 2 situatie (bypass inclusief zomerbedverlaging) en de huidige situatie bij een afvoer van 10.000 m³/s

11.2.2 Stroombeeld in Vossemeer en Bypass

Doordat de schotten in het inlaatwerk bij 10.000 m³/s zullen overstromen, zal er stroming door de bypass plaatsvinden. Figuur 11.6 toont de stroomsnelheden in de bypass bij een afvoer van 10.000 m³/s. De stroomsnelheden blijven beperkt en zijn voornamelijk geconcentreerd in de vaargeul. Bij hogere afvoeren gaan ook de hoger gelegen delen van de bypass meestromen, maar bij 10.000 m³/s is dit nog niet het geval. De afvoer door de bypass is circa 40 m³/s bij deze IJsselaafvoer. De stroomsnelheden blijven over het algemeen beperkt tot orde 0,1 – 0,15 m/s. In de kleinere gedeeltes (midden gedeelte bypass) neemt de snelheid toe tot 0,2 tot 0,25 m/s.

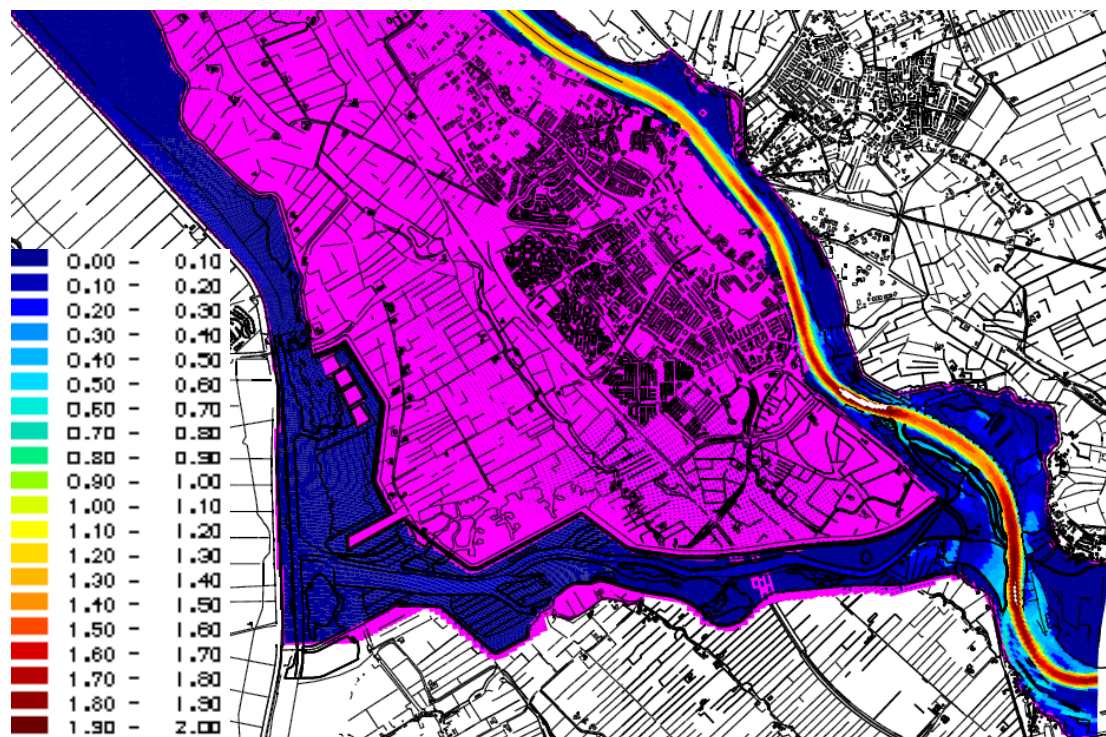
Daarnaast is het voor de scheepvaart op de bypass en Drontermeer van belang om te bepalen welke stroomsnelheden optreden bij de aansluiting van deze twee vaarwegen. De eventuele dwarsstroming wordt getoetst in hoofdstuk 12. De stroomsnelheden bij de aansluiting van de vaarweg Drontermeer-Vossemeer en de recreatiegeul bij 10.000 m³/s blijven beperkt tot maximaal 0,1 m/s.

Ook de stroomsnelheden in het Vossemeer blijven beperkt bij een afvoer van 10.000 m³/s bij Lobith. In een groot gedeelte van het meer blijven de stroomsnelheden beperkt tot maximaal 0,1 m/s. Alleen bij de Roggebot sluis is de snelheid hoger: orde 0,2 m/s en in de bocht net benedenstrooms van de sluis: orde 0,15 m/s.

Op die locatie zijn de stroomsnelheden aan de teen van de dijk ook hoger dan in de rest van het meer. Dit is een aandachtspunt voor de dijkstabiliteit bij hogere afvoeren.

Bij extreme noordwester- of westerstormen kan door het waterstandsverschil dat ontstaat tussen de IJsselmonding en de bypass, een stroming ontstaan bij de opening door Roggebot en op de andere smalle gedeeltes in de bypass. In paragraaf 8.3 is berekend dat de stroomsnelheid bij storm kleiner is dan bij een extreme afvoersituatie. Voor de oeverbescherming en bodembescherming bij Roggebot is de afvoersituatie maatgevend en niet de stormsituatie.

Ook voor de overige gedeeltes van de bypass geldt dat de stroomsnelheden in de bypass tijdens extreme stormen lager zullen zijn dan bij extreme afvoersituaties. De stroomsnelheden tijdens een extreme storm worden ~~in~~ geschat op stroomsnelheden kleiner dan 0,5 m/s in oostelijk en westelijk gedeelte van de bypass. Tijdens extreme afvoeren kan de stroomsnelheid toenemen tot snelheden van 0,5 tot 1,0 m/s.



Figuur 11.5: Stroomsnelheden (m/s) en richting in de bypass in fase 2 met zomerbedverlaging bij een afvoer van 10.000 m³/s. De figuur toont dat de stroomsnelheden in de bypass bij 10.000 m³/s allemaal zeer laag zijn (orde 0,1-0,2 m/s)

12

EFFECTEN OP STROOMBEELD IN- EN UITSTROOMOPENING

Bij aangetakte nevengeulen kunnen bij lage afvoeren dwarsstromingen optreden bij de in- en uitstroomopeningen van de geulen. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Daarvoor is het noodzakelijk om de dwarsstroming inzichtelijk te maken en te beoordelen in welke mate deze dwarsstroming (mogelijk) toeneemt.

Als beoordelingseis (aspect 2.3 uit tabel 4 van het beoordelingskader) geldt: Bij het meestromen van nevengeulen mag op de rand van de vaargeul de dwarsstroom bij een debiet $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$, maximaal $0,30 \text{ m/s}$ bedragen. Bij debieten van meer dan $50 \text{ m}^3/\text{s}$ is nader onderzoek nodig, waarbij als vuistregel een maximale dwarsstroom van $0,15 \text{ m/s}$ geldt.

De dwarsstroming is bepaald voor fase 1 en fase 2, op zowel de IJssel als op de vaargeul in het Drontermeer en Vossemeer. In bijlage G en H is de dwarsstroming op de kribbakenlijn van de linkeroever van de IJssel in diverse figuren getoond.

12.1 Dwarsstroming IJssel, Fase 1

Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

In fase 1 is er met de herinrichting van de Onderdijkse Waard sprake van een permanent meestromende nevengeul. De drempel van de nevengeul is ontworpen op een hoogte van NAP+0,8 m. Afhankelijk van het morfologisch effect van de nevengeul kan worden gekozen om de drempelhoogte verder te verhogen of verlagen. In de drempel zit een duiker welke een bepaald permanente afvoer door de nevengeul reguleert tot maximaal 2,5%. Dit geldt bij afvoeren tot $6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij hogere afvoeren gaat de uiterwaard meestromen (over de drempel die boven de duiker in de nevengeul wordt aangelegd. Bij $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ stroomt er 2,2% door de nevengeul, bij $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ stroomt er 1,9% en bij $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is dit 1,45%. In het rapport morfologie [15] is dit verder uitgewerkt, zie paragraaf 6.2.6 van dat rapport.

In fase 1 is er nog geen migratiegeul en -sluis en stroomt het inlaatwerk alleen mee bij een afvoer hoger dan $15.500 \text{ m}^3/\text{s}$.

De figuren in bijlage G tonen de dwarsstroming op de kribbakenlijn van de linkeroever bij afvoeren van $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bij $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is er nauwelijks een verschil ten opzichte van de huidige situatie. De nevengeul zorgt voor een kleine toename in dwarsstroming (ca. $0,04 \text{ m/s}$) nabij de inlaat van de permanent meestromende nevengeul. Bij de aantakking van het Koeluchtergat met het zomerbed (bovenstrooms van de bypass, kmr 990,0) treedt ca. $0,05 \text{ m/s}$ meer dwarsstroming op (stijgt naar $0,12 \text{ m/s}$). Bij de uitstroomopening bij kmr 992,7 tot 992,9 is ook een lichte toename ($< 0,05 \text{ m/s}$) te zien door de lozing vanuit de nevengeul. Het debiet door de nevengeul is kleiner dan $50 \text{ m}^3/\text{s}$ en de dwarsstroming blijft overal ruim onder de beoordelingseis van $0,3 \text{ m/s}$ (dwarsstroomsnelheden lager dan $0,1 \text{ m/s}$).

Bij $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ treedt het water bij de aantakking van het Koeluchtergat eerder terug naar het zomerbed door de kade (NAP+1,0 m) langs de oever van het zomerbed die langs het traject van de verlaagde stroombaan ligt (NAP+0,5 m).

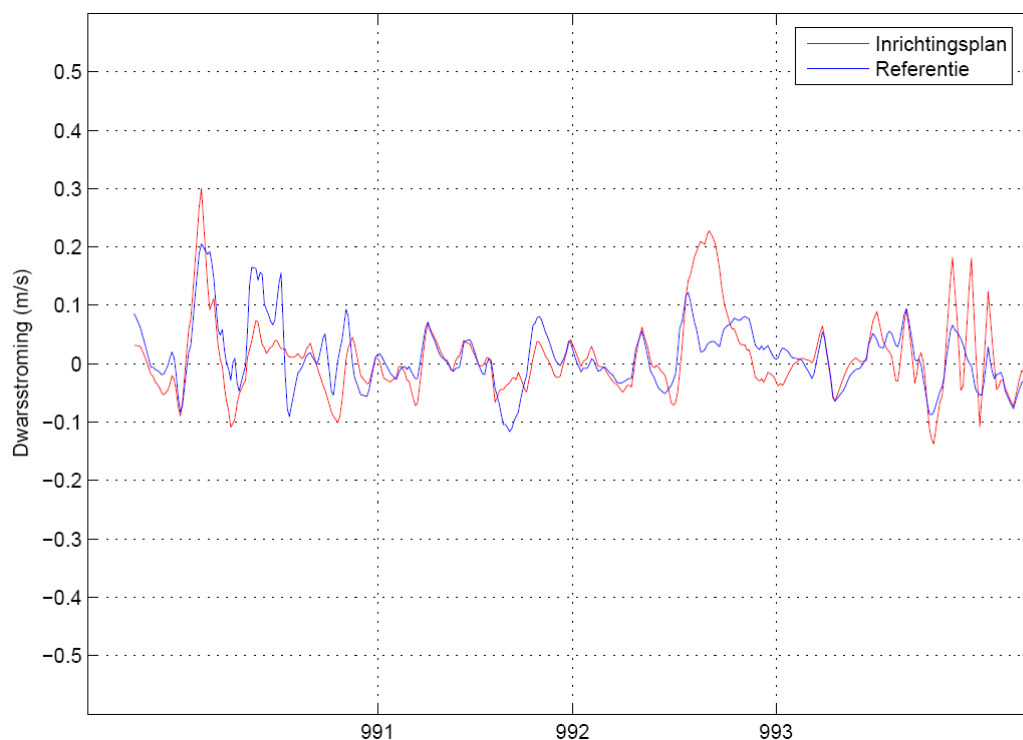


De dwarsstroming is hier 0,24 m/s (toename van 0,12 m/s), met minder dan 50 m³/s valt dit nog binnen de gestelde eis. *Verderop in de tekst is hiervoor een reducerende maatregel genoemd.* Halverwege de nieuwe kade die voor de verlaagde stroombaan ligt vindt ook dwarsstroming richting het zomerbed plaats. *Het is belangrijk om de nieuwe kade zo parallel mogelijk aan de oever te laten lopen om dwarsstroming te minimaliseren.* Bij de instroomopening van de nevengeul van de Onderdijkse Waard vindt een toename van dwarsstroming plaats van 0,10 m/s, naar 0,15 m/s. Bij de uitstroomopening neemt de dwarsstroming toe naar 0,12 m/s. Het debiet door de nevengeul is kleiner dan 10 m³/s en de dwarsstroming blijft overal onder de beoordelingseis van 0,3 m/s.

Bij 6.000 m³/s is het debiet door de nevengeul circa 11 m³/s. Bij deze afvoer blijft de maximale dwarsstroming ook onder de beoordelingseis van 0,3 m/s. De maximale dwarsstroming is ca. 0,22 m/s halverwege de kade die voor de verlaagde stroombaan ligt; dit is een toename van ca. 0,07 m/s. Bij de instroomopening van de permanent meestromende nevengeul is de toename 0,08 m/s, stijgend naar 0,22 m/s. Bij de uitstroomopening is de dwarsstroming maximaal 0,17 m/s, een stijging van 0,07 m/s.

Bij een afvoer van 8.000 m³/s stroomt de uiterwaard volledig mee. Figuur 12.1 toont de dwarsstroming bij 8.000 m³/s voor fase 1 op de kribbakenlijn. Het debiet door de nevengeul bij deze afvoer is maximaal 45 m³/s. De dwarsstroming bij de uitstroomopening is 0,22 m/s, dit is binnen de norm van 0,30 m/s. Bij de instroomopening is dit circa 0,05 tot 0,1 m/s. Bij de aantakking van het Koeluchtergat is de dwarsstroming ca. 0,34 m/s, een toename van 0,14 m/s. Alleen bij deze locatie wordt de norm van 0,3 m/s licht overschreden.

De hogere dwarsstroming wordt met name veroorzaakt door de aanleg van de kade langs het zomerbed ter hoogte van de stroombaan (NAP+0,5 m) naar de inlaat. Door deze kade niet geheel door te trekken naar het defensie platform, maar 50 m noordelijk daarvan de kade te laten stoppen, is een reductie in dwarsstroming mogelijk. De dwarsstroming reduceert dan van 0,34 m/s naar 0,3 m/s (zie figuur 12.1). Daarmee valt de dwarsstroming juist binnen de gestelde eis. Op deze manier stroomt niet al het water terug het zomerbed in, maar blijft een deel door de Onderdijkse Waard stromen. Het verwijderen van het defensie platform zou een maximale optimalisatie zijn (ook qua waterstandsdeling), dit is echter onwaarschijnlijk (culturele betekenis?).



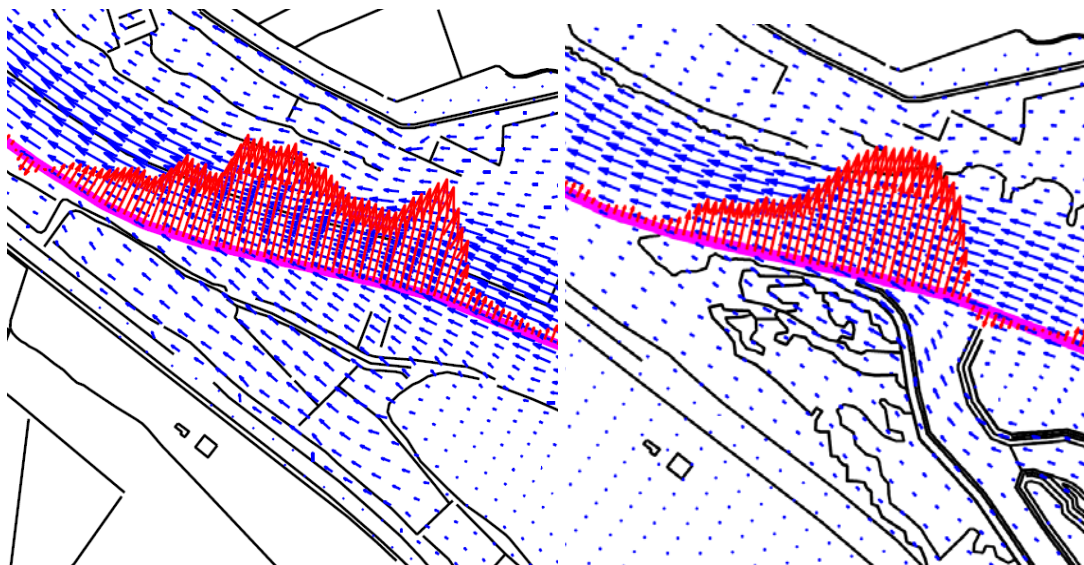
Figuur 12.1: Dwaarsstroming en afvoerlijnen fase 1 Onderdijkse Waard bij 8.000 m³/s voor het inrichtingsplan met optimalisatie bij de kade bij het defensie platform. Afvoerlijnen zijn per 10m³/s, maximaal stroomt er 45 m³/s door de Onderdijkse Waard.

Bij afvoeren van 10.000 m³/s stroomt de gehele uiterwaard mee, maar gaat er nog geen water de bypass in. Er is een kleine toename in dwarsstroming bij de aantakking van het Koeluchtergat waar dit maximaal 0,22 m/s bedraagt, dit is in de huidige situatie 0,20 m/s. Door bovengenoemde optimalisatie van de kade bij het defensie platform is dit

te verlagen naar 0,16 m/s. De instroom naar de uiterwaard over de kade voor de verlaagde stroombaan kent een dwarsstroming van 0,20 m/s. Bij de uitstroomopening bedraagt de dwarsstroming 0,37 m/s en is het meer geconcentreerd dan in de referentiesituatie. De beoordelingseis van 0,15 m/s wordt bij deze afvoer op de genoemde locaties overschreden.

Ook bij de uitstroomopening van de nevengeul is beoordeeld of de dwarsstroming verder te reduceren is. Uit berekeningen volgt dat het verwijderen van ruige vegetatie of deels weghalen van de langskade geen effect heeft. Uit vergelijking van het stroombeeld bij de huidige en toekomstige situatie (figuur 12.2) blijkt dat water niet meer rechtdoor stroomt maar door de vaargeul/nevengeul naar buiten stroomt. De vaargeul naar de recreatiesluis is vrij loodrecht op het zomerbed aangetakt. Dit is gedaan vanwege veiligheid voor elkaar kruisende scheepvaart en zodat scheepvaart op de IJssel niet per vergissing de recreatievaart in vaart. Het onder een hoek aantakken van de vaargeul zou de dwarsstroming kunnen minimaliseren, dit is echter niet gewenst vanwege bovengenoemde reden.

Met een extra hydraulische berekening is beoordeeld of het verhogen van de langskade en verflauwen van het talud van de geul effect heeft. De gedacht hier achter is dat minder water zal uitstromen door de uitstroomopening, maar in de uiterwaard blijft. Uit de berekeningsresultaten bij 8.000 en 10.000 m³/s blijkt dit echter geen effect te hebben. De dwarsstroming is daarmee moeilijk te mitigeren gegeven de scheepvaartseis voor een niet parallel aangetakte geul. De overschrijding van de dwarsstroming is bij afvoeren vanaf 8.500 m³/s. Dit komt slechts enkele dagen per jaar voor, terwijl de verkeersveiligheid bij kruisend verkeer elke dag in het zomerseizoen zal spelen. Bij afvoeren lager dan 8.500 m³/s voldoet de dwarsstroming aan de normen.



Figuur 12.2: Dwarsstroming bij uitstroomopening geul Onderdijkse Waard in referentie (links) en inrichtingsplan (rechts) bij 10.000 m³/s.

Bij afvoeren van 16.000 m³/s stroomt niet alleen de uiterwaard maar ook de bypass mee. Er wordt 220 m³/s naar de bypass onttrokken. De maximale dwarsstroming bij de instroomopening is 0,31 m/s, terwijl de maximale dwarsstroming bij de uitstroomopening 0,37 m/s bedraagt. De beoordelingseis van 0,15 m/s wordt bij deze afvoer op meerdere plaatsen overschreden.

In tabel 12.1 is een overzicht gegeven van de dwarsstroming op de drie kritische locaties voor fase 1.

Tabel 12.1: Maximale dwarsstroomsnelheden (m/s) op de kribbakenlijn bij de 3 kritische locaties in het inrichtingsplan en de referentiesituatie voor fase 1.

Q-Lobith (m ³ /s)	Q-nevengeul (m ³ /s)	Koeluchtergat		Instroom		Nevengeul / recreatiegeul Uitstroom	
		Kmr 990,0		Kmr 990,2 – 990,7		Kmr 992,7	
		Ref	VKA	Ref	VKA	Ref	VKA
16.000	580 m ³ /s + 220 m ³ /s bypass	0,07	0,1	0,22	0,31	0,33	0,37
10.000	225 m ³ /s	0,2	0,16)*	0,2	0,2	0,2	0,37
8.000	45 m ³ /s	0,2	0,3)*	0,16	0,12	0,12	0,22
6.000	11 m ³ /s	0,11	0,14	0,14	0,22	0,1	0,17
4.000	<10 m ³ /s	0,12	0,24	0,05	0,15	0,09	0,12
2.000	<10 m ³ /s	0,07	0,12	0,05	0,12	0,02	0,06

)* :na optimalisatie van kade bij defensie platform

12.2 Dwarsstroming IJssel, Fase 2

Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

In fase 2 staan de schotten in het inlaatwerk standaard ingesteld op NAP+1,5 m. Dit betekent dat de inlaat pas gaat overstromen bij afvoeren hoger dan 8.500 m³/s. Bij afvoeren hoger dan 15.000 m³/s is de volledige capaciteit van het inlaatwerk noodzakelijk en worden de schotten totaal verwijderd. De drempel ligt dan op NAP+0,5 m. Met deze opstelling is gerekend in de onderstaande berekeningsresultaten. Bij deze opstelling stroomt er circa 40 m³/s door de inlaat bij een afvoer van 10.000 m³/s en 540 m³/s bij 16.000 m³/s.

Onder dagelijkse omstandigheden stroomt de migratiegeul mee. Voor deze migratiegeul geldt een onttrekking van maximaal 0,54% (bij 2.000 m³/s) van de IJsselafoer met een maximum van 3 m³/s). De inrichting van de Onderdijkse Waard is gelijk aan de inrichting voor fase 1, echter enkel het beheer van de vegetatie is minder intensief.

De figuren in bijlage H tonen de dwarsstroming op de rand van de kribbakenlijn bij afvoeren van 2.000 m³/s, 4.000 m³/s, 6.000 m³/s, 8.000 m³/s, 10.000 m³/s en 16.000 m³/s.

De figuren in bijlage H tonen dat er ten opzichte van de referentiesituatie weinig verandert bij afvoeren van 2.000, 4.000, 6.000 en 8.000 m³/s ten opzichte van fase 1. De onttrekking naar de migratiesluis zorgt ter plaatse voor een lichte stijging in dwarsstroming. Dit leidt echter niet tot nadelige dwarsstroming en is niet verantwoordelijk voor een overschrijding van de beoordelingseis van 0,3 m/s op die locatie. Bij 8.000 m³/s stroomt er maximaal 49 m³/s door de Onderdijkse Waard, de beoordelingseis is dan dat de dwarsstroming niet groter mag zijn dan 0,3 m/s. De dwarsstroming bij de uitstroomopening (kmr 992,7) is maximaal 0,22 m/s. Ter plaatse van de aantakking van het Koeluchtergat (0,34 m/s) wordt deze eis licht overschreden.

Dit is te optimaliseren door de kade langs de stroombaan nabij het defensie platform te verwijderen (zie tekst in par 12.1). De dwarsstroming neemt dan af tot 0,30 m/s.

Bij 10.000 m³/s is de afvoer door de bypass circa 40 m³/s. De dwarsstroming is vergelijkbaar met de situatie in fase 1 alleen de uitstroming naar het zomerbed neemt toe tot 0,39 m/s. Ook is in fase 2 de instroom naar de uiterwaard over de kade die voor de verlaagde stroombaan ligt 0,20 m/s. De dwarsstroming bij de aantakking van het Koeluchtergat bedraagt 0,25 m/s. *Door bovengenoemde optimalisatie van de kade bij het defensie platform is dit te verlagen naar 0,16 m/s.* Bij 10.000 m³/s wordt de norm van 0,15 m/s dus overschreden op drie locaties. *Voor optimalisatie mogelijkheden voor de dwarsstroming bij de uitstroomopening wordt verwezen naar de tekst in paragraaf 12.1. Uit deze afweging volgt dat het lastig is de dwarsstroming te verlagen gezien de gestelde eis van verkeersveiligheid voor kruisende scheepvaart.*

Bij 16.000 m³/s neemt de afvoer door de bypass toe tot circa 540 m³/s. De dwarsstroming is bij deze afvoer afwijkend van het beeld dat is beschreven voor fase 1. Op de kribbakenlijn bij de instroomopening is de dwarsstroming maximaal 0,38 m/s. In fase 1 is in dit instroomgebied een dwarsstroming van 0,32 m/s berekend. Bij de uitstroomopening van de nevengeul is de uitstroom meer geconcentreerd dan in fase 1 en is de dwarsstroming met 0,44 m/s eveneens hoger. De dwarsstroming bij de aantakking van het Koeluchtergat wordt in fase 2 ook verhoogd met 0,09 m/s.

De dwarsstroming bij de instroomopening is bij afvoeren van 10.000 m³/s en zeker bij afvoeren van 16.000 m³/s hoger dan het criterium uit de beoordelingseis (de nautische criteria worden overschreden). Met Rijkswaterstaat moet worden besproken of dergelijke effecten acceptabel zijn. Het verlagen van de dwarsstroming zal ene verlaging van het waterstandsverlagende effect van de bypass betekenen.

Het zal lastig zijn om mitigerende maatregelen op te stellen om de dwarsstroming bij deze hoge afvoeren te reduceren. Om de taakstelling van het project te behalen is een dergelijke onttrekking naar de bypass nodig, het neveneffect hiervan is een dwarsstroming. Door de gewijzigde oriëntatie van de IJsseldijk en het inlaatwerk is er reeds een optimalisatie doorgevoerd in de mate van dwarsstroming. Een overschrijding blijft echter onvermijdelijk bij het onttrekken van een dergelijke hoge afvoer naar de bypass.

Het blijft zaak om te zorgen dat schippers voorbereid zijn bij dergelijke hoge afvoeren op een bepaalde mate van dwarsstroming bij het inlaatwerk. Mogelijk dat er gedacht moet worden aan signaleringsborden of invaarbeveiliging voor de scheepvaart.

In tabel 12.2 is een overzicht gegeven van de dwarsstroming op de drie kritische locaties voor fase 2.

Tabel 12.2: Maximale dwarsstroomsnelheden (m/s) op de kribbakenlijn bij de 3 kritische locaties in het inrichtingsplan en de referentiesituatie voor fase 2.

Q-Lobith (m ³ /s)	Q-nevengeul (m ³ /s)	Koeluchtergat		Instroom		Nevengeul / recreatiegeul Uitstroom	
		Kmr 990,0		Kmr 990,2 – 990,7		Kmr 992,7	
		Ref	VKA	Ref	VKA	Ref	VKA
16.000	450 m ³ /s + 540 m ³ /s bypass	0,07	0,15)*	0,22	0,37	0,33	0,43
10.000	245 m ³ /s + 40 m ³ /s bypass	0,2	0,16)*	0,2	0,2	0,2	0,39
8.000	49 m ³ /s	0,2	0,3)*	0,16	0,12	0,12	0,22
6.000	11 m ³ /s	0,11	0,14	0,14	0,22	0,1	0,17
4.000	<10 m ³ /s	0,12	0,24	0,05	0,15	0,09	0,12
2.000	<10 m ³ /s	0,07	0,12	0,05	0,12	0,02	0,06

)*: na optimalisatie van kade bij defensie platform

12.3 Dwarsstroming vaargeul Verlengde Vossemeer

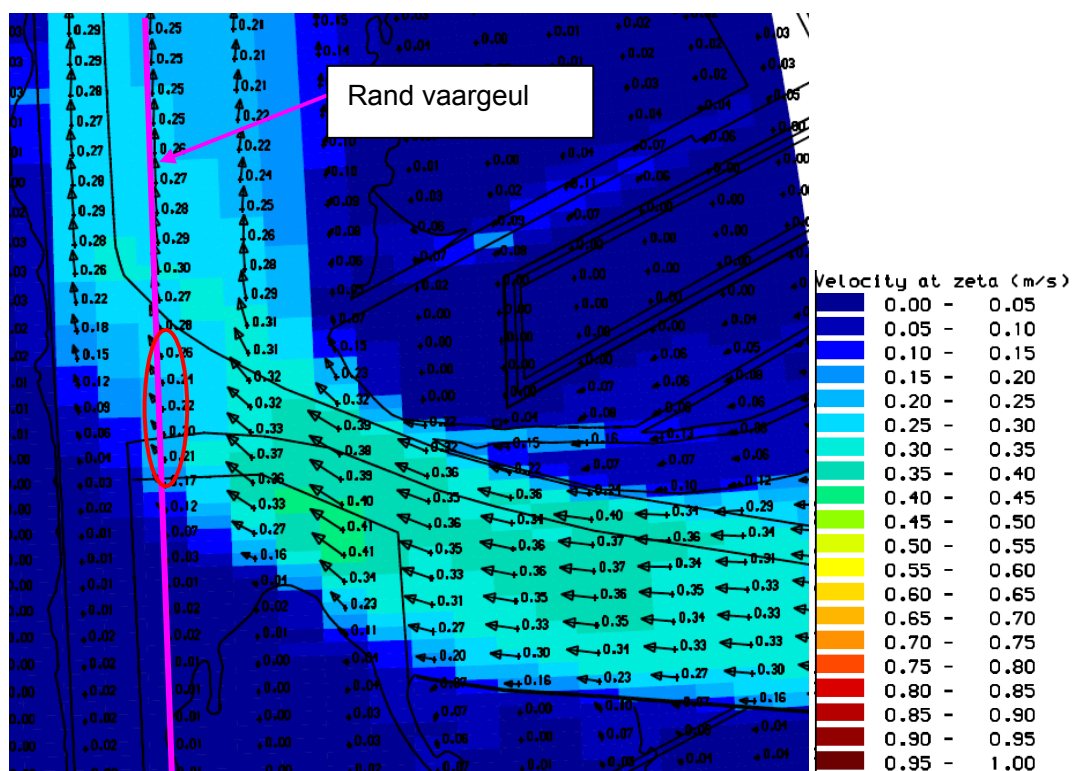
In het Vossemeer treedt er mogelijk dwarsstroming op de rand van de vaargeul. Deze vaargeul is de scheepvaartroute tussen de randmeren (o.a. Drontermeer) en het Ketelmeer.

In fase 1 is er geen sprake van dwarsstroming op de rand van de vaargeul in het Drontermeer. De bypass stroomt nog niet mee bij lage afvoeren, dus er is amper toevoer van water richting het Drontermeer.

Enkel bij een zeer extreme afvoerconditie (> 15.500 m³/s te Lobith) stroomt de bypass mee en ontstaat er stroming. De dwarsstroming die hierbij optreedt is in figuur 12.3 weergegeven op de locatie waar de bypass aantakt op het Verlengde Vossemeer.

De stroomsnelheid op de rand (zie paarse lijn) is maximaal 0,3 m/s. De maximale dwarsstroomsnelheid vindt plaats in de aantakking van de bypass (zie rode cirkel) en bedraagt 0,14 m/s. De dwarsstroming heeft hier een hoek van 30 tot 40 graden.

In Fase 2 is er bij een afvoer van 2.000 m³/s, 4.000 m³/s, 6.000 m³/s en 8.000 m³/s geen dwarsstroming op de rand van de vaargeul, omdat er geen water de bypass wordt ingelaten. De stroomsnelheid bij deze afvoeren is kleiner dan 0,05 m/s.



Figuur 12.3: Dwaarsstroomsnelheid en -richting op de rand van de vaargeul door het Verlengde Vossemeer bij een afvoer van 16.000 m³/s in Fase 1

Bij 10.000 m³/s stroomt de bypass mee met ca. 40 m³/s. De stroming naar de vaargeul neemt hierdoor toe. Deze blijft echter laag, de maximale stroomsnelheid is circa 0,10 m/s op de rand tussen bypass en Verlengde Vossemeer. Op de rand van de vaargeul is de stroomsnelheid maximaal circa 0,08 m/s. De dwarsstroming op deze rand is maximaal circa 0,04 m/s. De dwarsstroming blijft op de rand van de vaargeul binnen de gestelde beoordelingscriteria. Deze situatie zal dus geen hinder veroorzaken voor scheepvaart indien binnen de vaargeul gebleven wordt. In de opening bij Roggebot zijn de stroomsnelheden 0,20 m/s in noordelijke richting, deze stroomsnelheden zijn tegen de vaarrichting in of met de vaarrichting mee. Dit zal geen hinder voor de scheepvaart veroorzaken wat betreft dwarsstroming.

Verder op in het Vossemeer zijn de maximale stroomsnelheden in de vaargeul ca 0,15 m/s met/tegen de vaarrichting mee/in. Ook dit leidt niet tot bezwaren voor de scheepvaart.

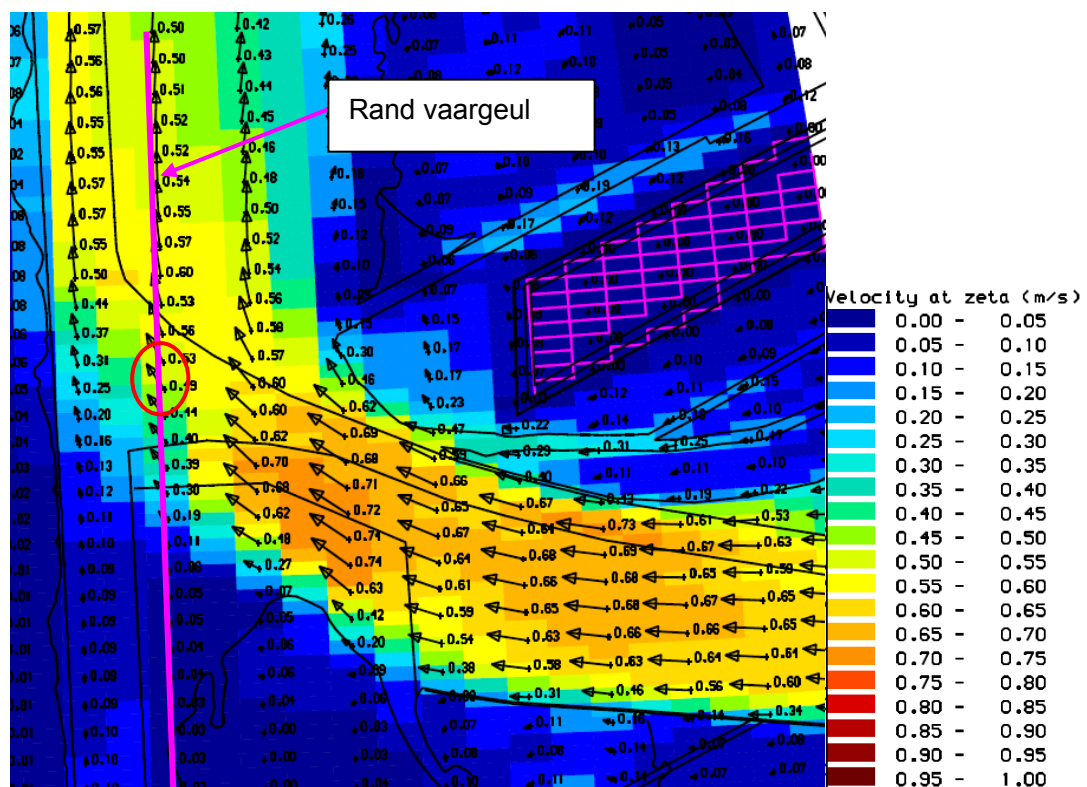
Bij 16.000 m³/s is de afvoer door de bypass circa 540 m³/s. De maximale dwarsstroming op de rand van de vaargeul door het Verlengde Vossemeer is circa 0,28 m/s (0,49 m/s onder een hoek van 34 graden). De rode cirkel in Figuur 12.4 toont deze situatie.

De dwarsstroming is hiermee bij deze extreme afvoerconditie hoger dan de gestelde beoordelingscriterium van 0,15 m/s. Schepen die binnen de vaargeul varen zullen bij deze conditie hinder onder vinden van de dwarsstroming. Als schepen via de Reevesluis uit het stromingsluwe Drontermeer komen, dan moeten ze bewust worden gemaakt van deze stromingssituatie.

In de opening bij Roggebot zijn de stroomsnelheden 1,8 m/s in noordelijke richting, deze stroomsnelheden zijn tegen de vaarrichting in of met de vaarrichting mee. Deze

stroomsnelheden zijn der mate hoog dat schippers hier veel hinder van zullen hebben. Voornamelijk vanwege de relatief smalle doorvaarbreedte onder de brug bij Roggebot. Het is de vraag of er bij deze conditie nog scheepvaart toegelaten moet worden. Verder op in het Vossemeer zijn de maximale stroomsnelheden in de vaargeul circa 1,2 m/s met/tegen de vaarrichting mee/in. Dit leidt tot een aandachtspunt voor de scheepvaart, maar waarschijnlijk niet tot gevaar omdat de stroming in/tegen de vaarrichting in is.

Bij het beoordelen van de dwarsstroming bij 10.000 en 16.000 m³/s is het belangrijk om te onthouden dat dergelijke condities een zeer kleine kans van voorkomen hebben. Een conditie van 10.000 m³/s treedt slechts gemiddeld eens per 7 jaar op en de conditie met 16.000 m³/s slechts eens per 1250 jaar.



Figuur 12.4: Dwarsstroomsnelheid en -richting op de rand van de vaargeul door het Verlengde Vossemeer bij een afvoer van 16.000 m³/s in Fase 2



Tauw



Bos



13

EFFECTEN OP AFVOERVERDELING

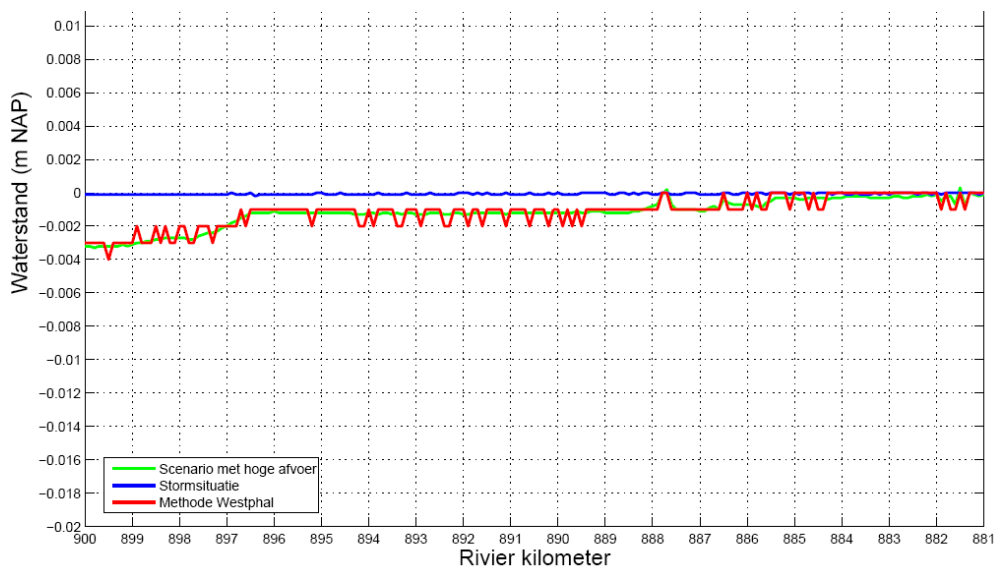
Het effect in deze paragraaf bevat het effect van de bypass en de zomerbedverlaging t.o.v. de huidige situatie.

Aangezien het projectgebied ongeveer 110 km van het splitsingspunt 'de IJsselkop' (kmr 880) ligt, is de verwachting dat de ingreep geen effect heeft op de afvoerverdeling op dit splitsingspunt. Er zijn daarom binnen dit project geen berekeningen gemaakt met een vrije afvoerverdeling. Met Rijkswaterstaat Oost-Nederland is afgesproken om deze veronderstelling te controleren op basis van het waterstandseffect op de IJsselkop.

De beoordeling van het effect op het splitsingspunt bij MHW is voorgeschreven in aspect 1.3 uit tabel 4 van het beoordelingskader [1]. Een hogere afvoer op een bepaalde riviertak resulteert in hogere waterstanden, wat niet acceptabel is. Het is dan ook van belang dat aan de beleidsmatige afvoerverdeling wordt vastgehouden. Volgens aspect 1.4, 2.4 en 2.5 moet de wijziging op de afvoerverdeling ook gecontroleerd worden bij een normaal hoogwater ($10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) en bij een laag water (OLR).

Figuur 13.1 toont het effect op de waterstand over de gehele IJssel voor fase 2 (bypass en zomerbedverlaging) ten opzichte van de huidige situatie. De figuur toont het waterstandsverschil bij een 1/2000 afvoer, een 1/2000 jaar wind en een gecombineerde situatie (Westphal). De lijnen tonen dat er vanaf kmr 885 (5 km benedenstrooms van het splitsingspunt) een stabiel effect zichtbaar begint te worden. Op kmr 900 is het verschil in waterstand bij een afvoerconditie van $16.655 \text{ m}^3/\text{s}$ een waterstandsval van ca. 4 mm. Dit betekent dat er geen wijziging in de afvoerverdeling bij een maatgevende afvoer situatie is te verwachten door de uitvoering van de bypass.

Bij een normaal hoogwater ($10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) en een laag water zijn de waterstandseffecten reeds eerder uitgewerkt. Bij deze afvoeren wordt geen wijziging van de afvoerverdeling over het splitsingspunt verwacht. Op basis van de effecten in fase 2 is geconcludeerd dat er in fase 1 ook geen effecten zullen optreden op het splitsingspunt ten gevolge van de bypass.



Figuur 13.1: waterstandseffect in de as van de IJssel nabij het splitsingspunt (kml 880) tussen de fase 2 situatie (bypass inclusief zomerbedverlaging) en de huidige situatie bij een 1/2000 jaar afvoersituatie, 1/2000 jaar stormsituatie en de MHW stand

14

ROBUUSTHEID

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de robuustheid van het systeem. De robuustheid heeft betrekking op de vraag in welke mate de bypass toekomstvast is.

In dit verband zijn er twee thema's die in dit hoofdstuk aan de orde komen:

- De eerste vraag heeft betrekking op het effect van een geopend inlaatwerk op de maatgevende waterstand tijdens maatgevende stormcondities.
- De tweede vraag heeft betrekking op de effectiviteit van de bypass, bij toenemende maatgevende afvoer van 16.000 m³/s naar 18.000 m³/s te Lobith bij een IJsselmeerpeilstijging van 0,23 m. Dit is beoordeeld door de toetspeilen van verschillende scenario's te vergelijken met de toetspeilen van de HR1996.

We zijn ons er van bewust dat er nog veel meer thema's rond robuustheid spelen. Dit zijn echter de thema's die binnen de projectbeschrijving aan de orde zijn gesteld.

14.1

Effect open of gesloten inlaatwerk bij storm

In de Systeemanalyse [12] en het Technisch Ontwerp [14] is het voorontwerp van het inlaatwerk toegelicht. Het inlaatwerk is in fase 2 standaard ingesteld met schotten tot een niveau van NAP+1,5 m. Door deze standaard opstelling is het inlaatwerk slechts gedeeltelijk gesloten en zal bij een extreme noordwester storm water vanuit de bypass naar de IJssel kunnen stromen. De vraag is echter of deze standaard instelling van de schotten in het inlaatwerk niet leidt tot een verhoging van de maatgevende waterstand op de IJssel in geval van een maatgevende stormconditie. Ofwel, wat is het effect van een bij storm geopend of gesloten inlaatwerk op de maatgevende waterstanden op de IJssel en op de bypass.

Bij een extreme noordwester- of westerstorm stuwt het water op in het Ketelmeer, in de bypass en in de IJssel. Door de aanleg van de bypass wordt de afstand tussen Ketelmeer en IJssel relatief kleiner, waarmee de windinvloed verder stroomopwaarts merkbaar zal zijn dan in de huidige situatie. Dit effect zou kunnen worden voorkomen als het inlaatwerk wordt gesloten bij extreme stormcondities.

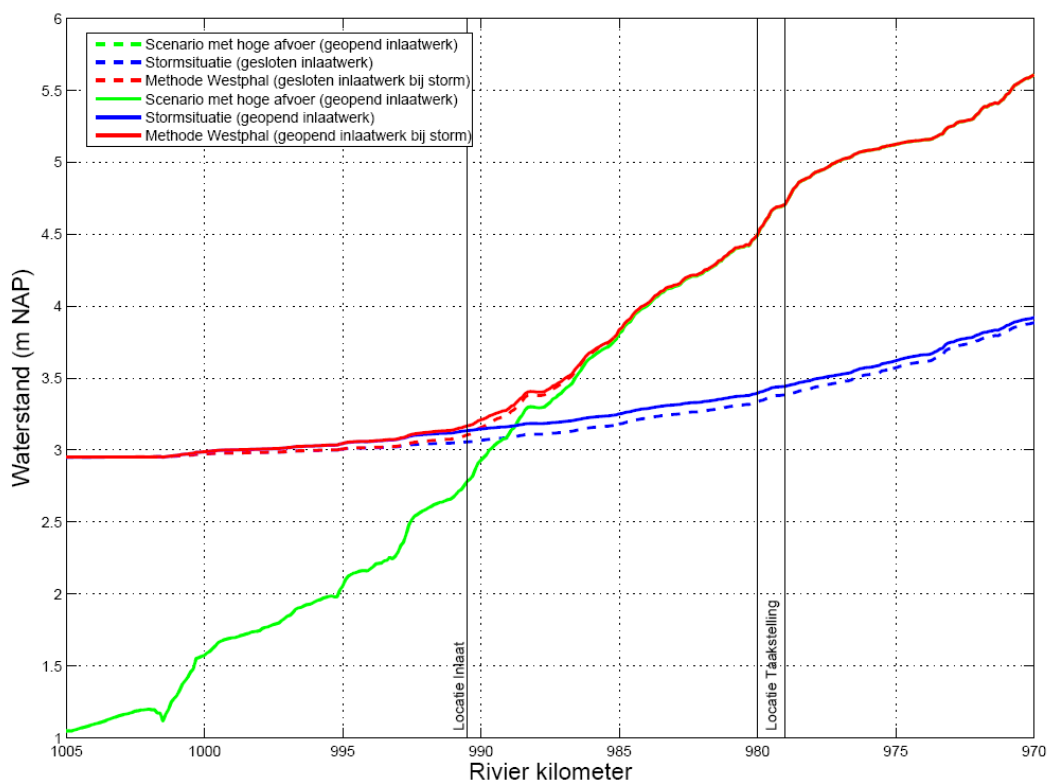
Indien het inlaatwerk geopend blijft tijdens extreme noordwester- tot westerstormen, heeft dit een licht (enkele centimeters) waterstandverhogend effect op de waterstand op de IJssel. Omdat de bypass een kortere verbinding vormt naar het deel van de IJssel nabij het inlaatwerk, nemen de waterstanden op dit deel toe tijdens een extreme wester- of noordwester storm. Bij een 1/2000 jaar storm in combinatie met een 1/1 jaar afvoer neemt de waterstand bij het inlaatwerk toe met circa 6 cm (zie figuur 14.1 en 14.2). Over het gehele traject tussen kmr 1003 en 960 neemt de waterstand bij storm licht toe met enkele centimeters. Deze waterstandverhoging heeft echter geen hinderlijk effect op de maatgevende waterstanden op de IJssel.

De maatgevende waterstand in de beneden IJssel wordt bepaald door een combinatie van storm en hoge afvoer (zie H2). Figuur 2.2 toont dat ter plaatse van de bypass (kmr 990) de MHW-stand grotendeels afvoergedomineerd is. Door de uitvoering van de zomerbedverlaging en de bypass gaat de maatgevende waterstand op de IJssel bij het inlaatwerk (kmr 990,5) met circa 72 cm omlaag (zie figuur 9.10).

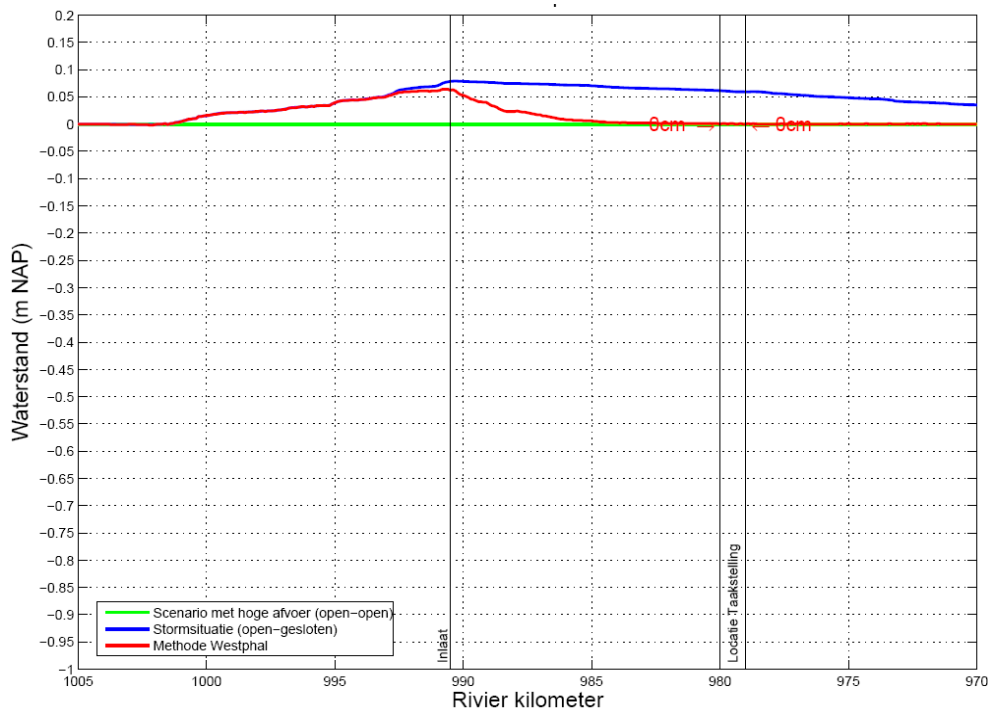
Door het geopend houden van het inlaatwerk tijdens een extreme storm reduceert dit waterstandsverlagende effect van de maatregelen licht, de MHW-stand (volgens methode Westphal) daalt nog met circa 65 cm t.o.v. de huidige situatie.

Concluderend kan gezegd worden dat:

- Een geopend inlaatwerk tijdens extreme noordwester- tot westerstormen heeft een licht (enkele cm's) waterstandverhogend effect op de waterstand op de IJssel over een traject van ca. 45 km (kmr 1002 tot kmr 960);
- Deze verhoging echter geen hinderlijk effect heeft op de MHW stand (bepaald middels methode Westphal). Door de uitvoering van de zomerbedverlaging en de bypass gaat de MHW-stand bij het inlaatwerk met 72 cm omlaag. Door het geopend houden van het inlaatwerk is dit nog ca. 65 cm. Enkel op de kmr 999-1002 gaat de MHW-stand iets (1 à 2 cm) omhoog ten opzichte van de huidige MHW-stand. Ten opzichte van de huidige situatie verbetert de situatie dus nog significant;
- Vanuit veiligheid (MHW-stand) is er dus geen reden om de inlaat bij storm altijd gesloten te houden of altijd afsluitbaar te maken.



Figuur 14.1: Waterstanden in de as van de IJssel bij een 1/2000 jaar afvoer- en windconditie en de MHW-stand (methode Westphal). De blauwe doorgetrokken lijn toont een situatie waarbij de inlaat is geopend bij storm en de blauwe gestippelde lijn voor een situatie waarbij de inlaat is gesloten bij storm

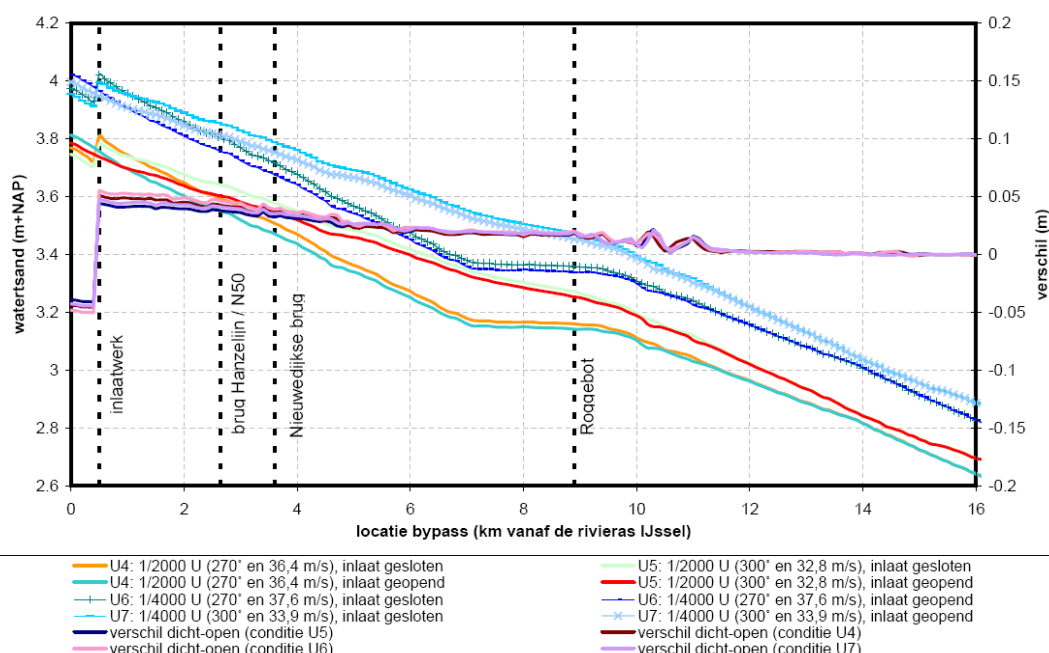


Figuur 14.2: Verschil in waterstand tussen een situatie met een altijd geopende bypass en een situatie met een gesloten bypass tijdens een stormgedomineerde situatie. De rode lijn toont het effect op de MHW stand

In bovenstaande analyse is het effect van een gesloten of geopend inlaatwerk beoordeeld bij maatgevende stormcondities. Bij frequenter voorkomende stormen heeft het geopend laten van het inlaatwerk, ook effect op de waterstand in de IJssel. Indien bij frequenter voorkomende stormen de inlaat geopend is, zal de waterstand op het traject tussen ca. kmr 1000 en kmr 980-970 toenemen. Deze toename leidt echter niet tot een situatie waarbij de hoogwaterveiligheid in gevaar komt. De dijkhoogtes zijn tenslotte bepaald op een maatgevende hoogte bij een combinatie van een 1/2000 jaar afvoerconditie en een 1/2000 jaar stormconditie.

Wel kan het geopend laten van het inlaatwerk zorgen voor negatieve morfologische effecten bij storm, mogelijk spoelt er sediment of slib vanuit de bypass richting de IJssel. Ook kan het leiden tot lichte dwarsstroming voor de scheepvaart indien er bij een storm water via het inlaatwerk naar de vaargeul in de IJssel stroomt. Deze effecten worden op dit moment niet als significant verondersteld.

Het gesloten houden van het inlaatwerk bij stormcondities zorgt ook voor een lichte vermindering van de opstuwing in de bypass zelf. Figuur 14.3 toont de waterstanden in de as van de bypass bij verschillende windcondities en bij een situatie met een gesloten en een geopend inlaatwerk. Indien het inlaatwerk gesloten is zorgt dit voor een opstuwing van ca. 5 cm nabij het inlaatwerk. Deze hogere waterstand in de bypass is nagenoeg hetzelfde bij een 1/2000 of 1/4000 conditie voor zowel wester- als noordwesterstorm. In de bepaling van de ontwerppeilen in deel B is steeds gerekend met het conservatieve uitgangspunt van een gesloten inlaatwerk.



Figuur 14.3: Waterstanden in de bypass bij verschillende stormcondities bij een open en een gesloten inlaatwerk. De rechter Y-as toont het verschil in waterstand bij een open en gesloten inlaatwerk

14.2 Toenemende afvoer

14.2.1 Inleiding

Iedere 5 jaar worden de maatgevende afvoeren opnieuw bepaald. Nadat in 1993 en 1995 hoogwatersituaties waren opgetreden bleek dat dit een grote invloed had op de maatgevende afvoer van de Rijn en de Maas. De maatgevende afvoer van de Rijn is daarom verhoogd van 15.000 m³/s naar 16.000 m³/s, uitgaande van een normfrequentie van 1/1250. Deze verhoogde maatgevende afvoer had tot gevolg dat ook de toetspeilen zijn gestegen. De planologische kernbeslissing Ruimte voor de Rivier heeft als doel deze toetspeilen te verlagen zodat in 2015 de veiligheid weer in overeenstemming is met het wettelijk vereiste niveau. Klimaatveranderingen kunnen er toe leiden dat het Rivierensysteem in de toekomst nog hogere afvoeren te verwerken krijgt en de toetspeilen verder zullen stijgen, daarnaast zal het IJsselmeerpeil in de toekomst wellicht worden verhoogd.

In paragraaf 14.2.2 is beoordeeld in welke mate de effectiviteit van de bypass bij een toenemende maatgevende afvoer zal veranderen. Dit is beoordeeld door de toetspeilen van verschillende scenario's te vergelijken met de toetspeilen van de HR1996. Op deze manier kan onderzocht worden wanneer aanvullende maatregelen nodig zijn. Bij deze analyse is steeds uitgegaan van een gecombineerde effect van de volgende maatregelen:

- Inrichtingsplan SNIP 3 IJsseldelta-Zuid fase 2;
- Snip 3 variant RvdR Zomerbedverdieping, verkort traject;
- Inrichtingsplan Onderdijkse Waard.

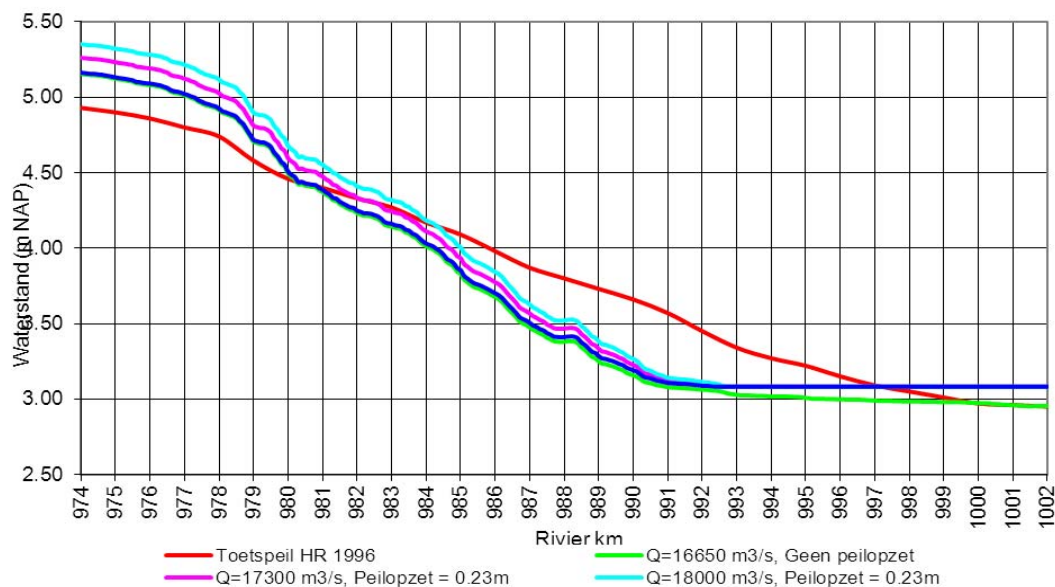
In paragraaf 14.2.3 worden ten slotte de onderdelen van het ontwerp besproken die aangepast dienen te worden indien in de toekomst de wens ontstaat om relatief meer water door de bypass af te gaan voeren, en minder door de IJssel.

De gepresenteerde waterstanden zijn in deze paragraaf zijn bepaald met behulp van de methode Westphal. Voor de toekomstscenario's met een hogere afvoer dan de MHW afvoer is uitgegaan van een IJsselmeerpeilstijging van 0,23 m (jaar 2100). Voor de benodigde windconditie is één WAQUA berekening gemaakt bij een 1/1 jaar afvoer en een 1/2000 jaar storm op het IJsselmeer met daarbij de peilstijging van 23 cm (door scheefstand is er op rand van WAQUA model een peilstijging van 13 cm toegevoegd).

14.2.2 Vergelijking toetspeilen

In het invloedgebied van de zomerbedverdieping en IJsseldelta- Zuid is er sprake van twee verschillende normeringen van de IJsseldijken. Voor de dijken van dijkkring 11 (IJsseldelta) en dijkkring 10 (Mastenbroek) geldt een normfrequentie van 1/2000. Rondom Zwolle, in dijkkringgebied 53 (Salland), hebben de dijken een normfrequentie van 1/1250. In het gebied tussen rivierkilometer 974 en 984 dient daarom rekening gehouden te worden met twee verschillende toetspeilen.

Bij de nu volgende analyse dient rekening gehouden te worden met het feit dat slechts 2 RvdR maatregelen zijn meegenomen. Ook andere RvdR projecten als Dijkverlegging Westenholte en Uiterwaardvergraving Scheller en Oldener Buitenwaarden zullen een waterstandsverlaging effect tot gevolg hebben en een positieve bijdrage leveren aan de robuustheid van het systeem.



Figuur 14.4: Waterstanden afvoerscenario's volgens de methode Westphal ten opzichte van het HR 1996 toetspeil (normfrequentie 1/2000)

In figuur 14.4 zijn de waterstanden weergegeven voor het benedenstroomse deel van de IJssel waarvoor een normfrequentie geldt van 1/2000. Tabel 14.1 toont de waterstandsverschillen t.o.v. het toetspeil bij de Inlaat en bij Zwolle.

De groene lijn in de figuur geeft het scenario weer voor de huidige MHW afvoer ($16.655 \text{ m}^3/\text{s}$) na uitvoering van de maatregelen. De rode lijn geeft het toetspeil (1/2000 jaar) weer. Tussen rivier kilometer 980 en kilometer 999 wordt het waterpeil verlaagd tot beneden het toetspeil van 1996. Een peilverhoging van 0,23 m op het IJsselmeer (donkerblauwe lijn) heeft als gevolg dat het toetspeil benedenstrooms van km 997 zal stijgen ten opzichte van het toetspeil 1996. Hogere afvoeren dan de MHW afvoer (paarse en lichtblauwe lijn) zullen in dit gebied niet tot hogere toetspeilen leiden, dit komt doordat dit deel van de rivier stormgedomineerd is.

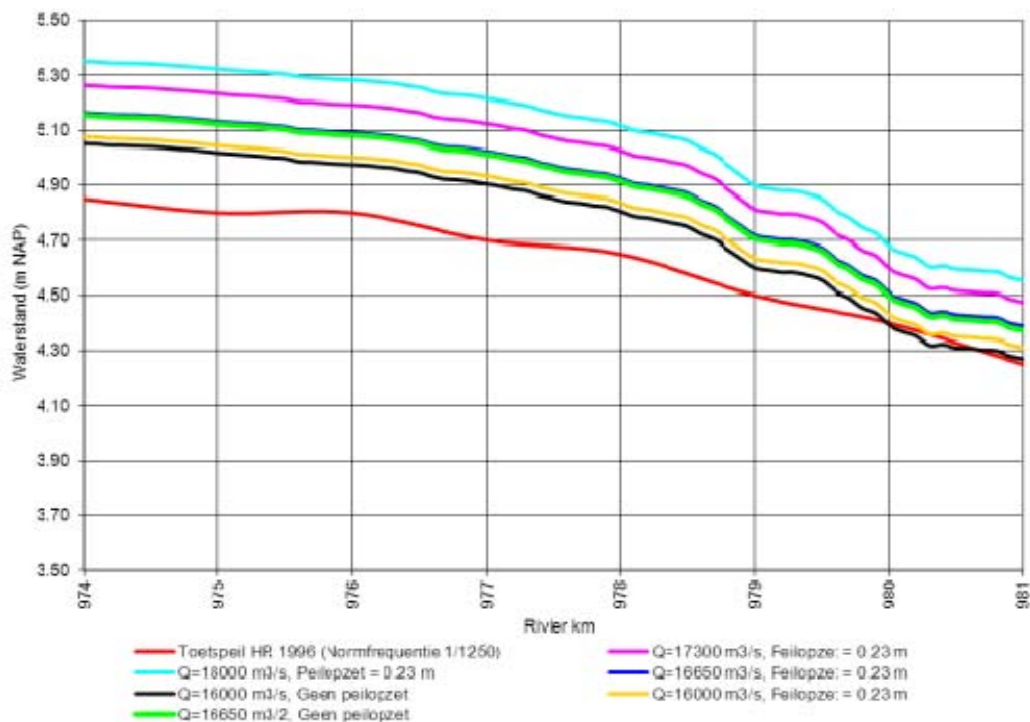
Bij Zwolle, op de locatie waar de taakstelling geldt (kvr 980-981), heeft het verhogen van het peil op het IJsselmeer met 0,23 m een beperkt effect van 2 cm op het rivierpeil.

Bij een toenemende afvoer zal het invloedgebied van de maatregelen opschuiven in benedenstroomse richting; indien de afvoer in de toekomst zal toenemen naar $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$, is het gecombineerde effect van de bypass, de zomerbedverlaging en de Onderdijkse Waard niet voldoende om ook in die situatie het waterpeil op dit punt bij Zwolle (kvr 980-981) te verlagen naar een peil dat lager is dan het toetspeil 1996. Enkel op het traject tussen kvr 985 en 997 blijft de waterstand bij $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ lager dan de toetspeilen van 1996. Boven- en benedenstrooms hiervan zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk om de waterstand onder het toetspeil te houden.

Tabel 14.1: Waterstandsverschil van de afvoerscenario's ten opzichte van het toetspeil op de IJssel bij Zwolle en bij de inlaat van de bypass

Scenario	Verschil t.o.v. toetspeil HR 1996 (m)			
	Zwolle (km 981)		Inlaat (km 991)	
	normfrequentie 1/2000	normfrequentie 1/1250	normfrequentie 1/2000	normfrequentie 1/1250
Q=16000 m^3/s , geen peilopzet	-	0,00	-	-
Q=16000 m^3/s , 0,23 m peilopzet	-	0,06	-	-
Q=16618 m^3/s , geen peilopzet	-0,03	0,12	-0,49	-
Q=16618 m^3/s , 0,23 m peilopzet	-0,01	0,14	-0,46	-
Q=17300 m^3/s , 0,23 m peilopzet	0,07	0,22	-0,45	-
Q=18000 m^3/s , 0,23 m peilopzet	0,15	0,30	-0,43	-

In figuur 14.5 zijn de waterstanden weergegeven voor het deel van de IJssel bij Zwolle waarvoor een normfrequentie geldt van 1/1250. Tabel 14.1 toont de waterstandsverschillen t.o.v. het toetspeil. De huidige maatgevende afvoer bij deze normfrequentie is $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Het gecombineerde effect van de bovengenoemde maatregelen zorgt er voor dat het peil tussen km 980 en 981 daalt tot een niveau dat lager is dan het toetspeil van 1996. Bovenstrooms van kilometer 980 zijn aanvullende maatregelen nodig om de waterstand onder het toetspeil te krijgen. Bij toekomstige scenario's waarbij het IJsselmeerpeil hoger wordt en de afvoer toeneemt wordt dit verschil tussen toetspeil en nieuwe waterstand groter.



Figuur 14.5: Waterstanden afvoerscenario's ten opzichte van het HR 1996 toetspeil (1/1250)

14.2.3 Kritische onderdelen ontwerp

Indien de wens ontstaat om juist extra water door de bypass te gaan onttrekken bij een stijgende afvoer zijn ingrepen noodzakelijk. Onderstaand zijn een aantal kritische punten in het ontwerp aangegeven die dan aangepakt moeten worden. Deze kritische punten volgen ook uit figuur 8.6. Dit figuur toont de stroomsnelheden bij 18.000 m³/s. De stroomsnelheden bij 18.000 m³/s stijgen met ca. 10% ten opzichte van de situatie bij een afvoer van 16.655 m³/s. de afvoer door de bypass stijgt overigens ook met ca. 10%. De kritische punten zijn:

- Doorstroombreedte bij de opening bij Roggebot. In het Inrichtingsplan is deze breedte nu 100 m. Indien dit verder verbreed wordt neemt de stroomsnelheid hier af en neemt de afvoercapaciteit van de bypass in zijn geheel toe;
- De brug van de Hanzelijn en N50 heeft een beperkt doorstroomprofiel. De doorstroombreedte is hier slechts ca. 175 m tot ca. 190 m. Indien de breedte hier toeneemt verlaagd dat ook de hydraulische weerstand van de bypass in zijn geheel en neemt de afvoercapaciteit toe;
- Belangrijkste element in het regelen van de hoeveelheid water dat door de bypass gaat stromen is het inlaatwerk. De bruto breedte van inlaatwerk is 253 m, indien de breedte toeneemt of de drempelhoogte afneemt kan de hoeveelheid water door de bypass toenemen. Echter de andere kritische punten in deze lijst worden dan een steeds grotere bottleneck;
- Het vegetatiebeeld/natuurbeeld in de bypass is zeer gevarieerd. Op sommige locaties is een laag interventie niveau aangehouden, waarmee de vegetatie erg ruig is. Indien er een intensiever beheer wordt toegepast neemt de hydraulische ruwheid van de totale bypass af en kan de afvoercapaciteit toenemen. Hierbij geldt echter ook dat dit samen moet gaan met de opening bij Roggebot, het inlaatwerk en de Knoop om voldoende resultaat te hebben.



Tauw



15 ONZEKERHEDEN

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op bepaalde onzekerheden die invloed hebben op de in dit rapport gepresenteerde resultaten en effecten.

15.1.1 Onzekerheden in ontwerppeilen

De in deze rapportage gepresenteerde ontwerpbelastingen (deel B) zijn bepaald op een gering aantal condities. In algemene zin leidt deze gekozen methode tot een te conservatief beeld, er zijn tenslotte alleen zeer extreme condities beoordeeld. Daarnaast is er niet gerekend met windbeschutting boven land. Het gehanteerde windveld in de WAQUA berekeningen is uniform over het hele modeldomein, met dezelfde richting en snelheid.

De probabilistische studie van Svasek en HKV [28] die parallel met deze studie is uitgevoerd toont aan dat de ontwerppeilen uit deze studie robuust zijn. De dijkhoogtes en ontwerppeilen uit de probabilistische studie zijn significant lager dan bepaald in de voorliggende studie. In bijlage L is hierover een door DHV gemaakte vergelijking opgenomen (zie ook paragraaf 6.1). Men zou hieruit kunnen afleiden dat er een kostenoptimalisatie mogelijk is in de hoogte van de dijken.

Er zijn echter een aantal onzekerheden binnen het systeem, die pleiten voor het robuust ontwerpen van de dijkhoogtes, zoals:

- De bypass is een stormgedomineerd systeem, de dijkhoogtes worden bepaald door extreme waterstanden die tijdens extreme stormen optreden. In de voorliggende studie is niet beoordeeld wat de gevoeligheid van het systeem is voor een verandering in windrichting of windsnelheid. Uit een studie van DHV van 2006 [7] is gebleken dat een toename van de windsnelheid met 4 m/s bij extreme condities, kan leiden tot een verhoging van de maatgevende waterstanden van 0,5 m in de bypass. Gezien de onzekerheden rondom klimaatverandering, windstatistiek en de consequenties van klimaatverandering op extreme stormcondities, is dit een belangrijke onzekerheid;
- Op het IJsselmeer en daarmee ook op het Vossemeer kunnen buistoten, bui-oscillaties en seiches optreden. Hierdoor kan de waterstand zeer kortstondig wisselen. In de ontwerppeilen is conform de leidraad een toeslag van 10 cm opgeteld bij de MHW-stand. Er is echter onbekend of deze toeslag voldoende is. De slingeren kunnen in dit gebied toenemen tot orde een meter. Onbekend is of deze slingeren (deels) nog optreden boven op de MHW-stand. Deze onzekerheid in ontwerppeil pleit voor een robuust ontwerp. De gehanteerde toeslag voor slingeren van 10 cm op de maatgevende waterstand moet beschouwd worden als een minimale waarde;
- Er is onzekerheid over de koppeling tussen het optreden van een hoge rivierafvoer en een extreme storm. Indien een extreme storm optreedt op moment van een hoge rivierafvoer, waarbij de bypass ook dienst moet doen als hoogwatergeul, leidt dit tot hogere maatgevende waterstanden dan de waterstanden waarmee nu is gerekend. Theoretisch is de kans op een combinatie van een 1/1000 jaar afvoer (ca 15.000 m³/s) en een 1/5 jaar storm ca. 1/90.000 jaar ($1/1000 \cdot 1/5 \cdot 10/182$) = 1/91000. Een dergelijke combinatie levert volgens de theorie geen reële kansbijdrage meer aan het falen van het systeem. Volgens de theorie zou een storm van eens per 2 jaar dit nog wel doen;
- Er is onzekerheid over het beleid ten aanzien van de meerpeilstijging op het IJsselmeer.

De ontwerppeilen voor 2115 zijn bepaald op basis van maximaal 1,0 m meerpeilstijging van het winterstreefpeil. Indien in toekomstig beleid (Nationaal waterplan en Deltaprogramma) wordt besloten tot een hogere stijging van het winterstreefpeil, dan hoeven de dijken niet direct te worden afgekeurd bij een toetsing;

- De ontwikkeling van nieuwe modellen, zoals het Deltamodel, en nieuwe methodes, kunnen leiden tot vernieuwde inzichten in de ontwerppeilen. Het is niet uit te sluiten dat door deze ontwikkeling de toetspeilen naar boven bijgesteld moeten worden voor de IJsseldelta.

De ontwerppeilen in de studie van Svasek en HKV [28] moeten gelezen worden als toetspeilen. De ontwerppeilen uit voorliggende studie voldoen aan deze toetspeilen. Daarnaast is er in het ontwerp ruimte om eventuele nieuwe inzichten in de genoemde onzekerheden te kunnen opvangen, zonder dat het dijkontwerp moet worden aangepast. De ontwerppeilen zijn daarmee robuust voor de genoemde onzekerheden.

15.1.2 Onzekerheden rondom inlaatwerk

Voor het inlaatwerk wordt een robuuste oplossing geadviseerd. Dit betekent dat er nu wordt voorgesteld om te kiezen voor een inlaatwerk welke in hoogte verstelbaar is en niet voor enkel een drempel op een vast niveau. De keuze voor een in hoogte verstelbaar inlaatwerk vormt een robuuste oplossing waarbij rekening is gehouden met de volgende onzekerheden:

- in paragraaf 14.1 is beoordeeld wat het effect is van het geopend laten van het inlaatwerk tijdens extreme stormen op de MHW-stand op de IJssel. Het blijkt dat door de zomerbedverlaging de MHW-stand dusdanig is verlaagd op de IJssel, dat het geopend laten van het inlaatwerk geen negatieve effecten heeft op de hoogwaterveiligheid. Wel is het zo dat deze analyse afhankelijk is van de IJsselaflow tijdens een dergelijke storm. Indien de IJssel afvoer hoger wordt dan de aangenomen 1/1 jaar afvoer, kan het effect van een geopend inlaatwerk groter zijn. Er moet dus in het ontwerp de mogelijkheid zijn om het inlaatwerk volledig te sluiten;
- als de bypass meestroomt tijdens een hoogwater op de IJssel, heeft dit morfologische effecten. Uit de morfologische effectbeoordeling volgt dat er ondanks de aanzanding vanwege de bypass en de nevengeul Onderdijkse Waard, toch voldoende vaardiepte overblijft. Echter de onzekerheden in het ontwerp van de zomerbedverlaging, de onzekerheid over de frequentie van meestromen van de bypass en de onzekerheid rondom de morfologische voorspellingen onderbouwen de keuze voor een flexibele kering. Door te kiezen voor een in hoogte verstelbare inlaat, blijft de mogelijkheid bestaan om de inlaat minder frequent te openen, als blijkt dat de morfologische effecten toch hoger zijn dan op basis van de huidige inzichten kan worden verwacht;
- een keuze voor een gesloten of geopend inlaatwerk is afhankelijk van de beoordeelde effecten in dit rapport. Deze effecten zijn afhankelijk van de zomerbedverlaging. Uitgegaan is nu van het verkorte traject, het SNIP3 ontwerp. Een wijziging in dit ontwerp kan mogelijk tot andere inzichten leiden. Dit pleit voor de robuuste keuze van een in hoogte verstelbaar inlaatwerk.

15.1.3 Onzekerheden in hydraulische effectbeoordeling

Ook in de beoordeelde hydraulische effecten (deel C) van de bypass zitten bepaalde onzekerheden.



- Een onzekerheid is het hydraulisch effect van de morfologische effecten, die ten gevolge van de zomerbedverlaging en de bypass zullen gaan optreden in het zomerbed van de IJssel. Een aanzandingsgolf ter plaatse van het inlaatwerk kan er voor zorgen dat de taakstelling niet meer gehaald wordt.
Het is niet uit te sluiten dat bij een extreme afvoergolf er voordat de piekafvoer bij het inlaatwerk langskomt, reeds een aanzandingsdrempel in het zomerbed bij het inlaatwerk ligt. Dit zou kunnen maken dat de maatregel minder effect heeft dan verwacht;
- Onzekerheid bestaat er over de koppeling tussen zomerbedverlaging en bypass. In de voorliggende studie is gerekend met het verkorte traject van de zomerbedverlaging, het SNIP3 ontwerp. Onbekend is op dit moment of dit ontwerp vergunbaar is. Dit kan gevolgen hebben voor de in dit rapport gerapporteerde hydraulische effecten;
- Er is onzekerheid over de afvoerverdeling naar de IJssel bij de midden afvoeren. Door de uitvoering van de RvR-projecten zal de afvoerverdeling gaan wijzigen. Onbekend is wat deze afvoerverdeling zal gaan worden. Dit kan consequenties hebben voor de berekende effecten op dwarsstroming, inundatiefrequentie, stroomsnelheden in het projectgebied en de morfologische effecten;
- De hydraulische effectbeoordeling is uitgevoerd door gebruik te maken van de vigerende modelinstrumenten, zoals WAQUA en SOBEK. Deze modellen herbergen een bepaalde onzekerheid. Zo is de grofmazigheid van het rekenrooster een belangrijke gevoeligheid. Ook de ruwheids codering voor de vegetatie is een belangrijke gevoeligheid. Nieuwe inzichten of veranderingen in deze parameters kunnen leiden tot wijzigingen in de gepresenteerde effecten;
- De hydraulische effecten zijn beoordeeld voor de bypass alleen of in samenhang met de zomerbedverlaging. Echter een onzekerheid is nog de invloed van andere RvdR-projecten, zoals Noorderdiep, dijkverlegging Westenholte en de uiterwaardvergraving Scheller en Oldener buitenwaarden. De verwachting is dat het effect op de gepresenteerde effecten klein zal zijn, omdat deze projecten bovenstrooms van het projectgebied liggen. De zomerbedverlaging heeft wel grote invloed op de gepresenteerde effecten aangezien deze op nagenoeg hetzelfde traject ligt.



Tauw



Bos



16

CONCLUSIES

De conclusies zijn opgedeeld in conclusies over de taakstelling, de ontwerpbelastingen (fase 1 en fase 2), de robuustheid en de hydraulische effectbeoordeling.

Taakstelling

1. Het inrichtingsplan van de bypass voldoet aan de taakstelling uit de PKB RvdR en het Nationaal Waterplan. Het effect van de bypass in fase 2 is een waterstandverlaging van 32,2 cm op kmr 980,0. De aanwezige overruimte is 2,2 cm ten opzichte van de gestelde taakstelling. De maximale waterstandsdeling is 72 cm op kmr. 990,5. Het inrichtingsplan met het interventiewaardeniveau voor de vegetatie geeft een gelijke waterstandsdeling van 32,2 cm op kmr 980,0;
2. De bijdrage van de bypass in fase 1 aan de korte termijn taakstelling uit de PKB RvdR in fase 1 is een waterstandverlaging van 12,8 cm op kmr 980,0. Hiermee levert de onttrekking van 220 m³/s door de bypass en de herinrichting van de Onderdijkse Waard een relevante bijdrage aan de korte termijn taakstelling van 41 cm te Zwolle. De maximale waterstandsdeling ter hoogte van het inlaatwerk is 27 cm in de as van de rivier.

Ontwerpbelastingen voor fase 1

3. De optredende maatgevende belastingen voor de dijken en kunstwerken in en langs de bypass worden volledig bepaald door de condities in fase 2 als de inlaat functioneert en de opening bij Roggebot gecreëerd is. Vanwege de verlengde uitvoeringsduur is het echter ook relevant om te beschouwen welke maximale belastingen kunnen optreden in fase 1;
4. Een belangrijke eis voor de hoogwaterveiligheid is de eis dat de waterstand bij Roggebot Zuid tijdens een situatie van spuien (onttrekking van 220 m³/s) niet hoger mag komen dan een waterstand van NAP+1,70 m (inclusief windeffect). Om dit te bewaken is een meetnet noodzakelijk. Dit meetnet is nodig om de regelbare schuiven in het inlaatwerk zodanig te kunnen bijstellen dat aan deze eis voldaan blijft;
5. De maatgevende waterpeilen voor fase 1 zijn samengevat in tabel 16.1.

Tabel 16.1: Maatgevende waterstanden voor fase 1 voor dijken en kunstwerken

Dijksectie / kunstwerk	Maatgevend event	Waterstand (m+NAP)
IJsseldijk IJsselzijde, verbindende waterkering	1:4000 storm noordwest	3,93
IJsseldijk IJsselzijde, IJsselgedeelte	1:2000 storm noordwest	3,77
IJsseldijk bypasszijde	1:4000 storm zuidwest	2,90
Bypassdijken oostzijde	1:2000 storm zuidwest	2,70
Bypassdijken westzijde	1:2000 storm zuidwest	2,20
Reevedam Noord	1:2000 storm zuidwest	2,15
Reevedam Zuid	1:2000 storm zuidwest	2,15
Roggebot Noord	1:4000 storm noordwest	3,40
Drontermeerdijk	1:4000 storm zuidwest	2,38
Roggebot Zuid	1:4000 storm zuidwest	2,38

Ontwerpbelastingen voor fase 2

6. De hydraulische belastingen die optreden in fase 2 zijn, door de open verbinding met het IJsselmeer en de functie als hoogwatergeul, maatgevend voor het ontwerp van de dijklichamen en de kunstwerken;
7. De ontwerppeilen in de bypass zijn op elk van de gedefinieerde ontwerp punten (voor zowel dijken als kunstwerken) puur storm gedomineerd. Alle afvoercondities geven een lagere waterstand dan de condities met een volledig stormgedomineerde situatie. De maatgevende waterstanden in de bypass bij een stormconditie liggen ca. 1 meter hoger dan de waterstanden bij een maatgevende afvoerconditie;
8. De maatgevende waterstanden van de bypassdijken voor 2065 liggen tussen de NAP+3,4 m, in het meest westelijke gedeelte, tot NAP+3,85 m, in het meest oostelijke gedeelte van de bypass. Voor 2115 is dit NAP+3,80 tot NAP+4,20 m;
9. Door voor de klimaatdijk een 2115+ scenario (1,5 m meerpeilstijging) te hanteren, worden de maatgevende waterstanden ca. 0,25 m hoger dan zou gelden voor een 2115 scenario (1,0 m meerpeilstijging). De maatgevende waterstand voor de klimaatdijk is ca. NAP+4,20 m;
10. De maatgevende waterstand aan de westelijke zijde van de IJsseldijk wordt gedomineerd door een oostelijke windrichting (270°, conditie U6). De maatgevende waterstand voor de westelijke zijde van de IJsseldijk is NAP+4,04 m voor 2065;
11. De kruinhoogte van het gedeelte van de Drontermeerdijk tussen Reevedam en Roggebot moet voor fase 2 worden verhoogd. Voor fase 2 geldt een maatgevende waterstand van NAP+3,5 tot 3,6 m voor 2065. De dijkhoogtes van de Vossemeerdijk ten noorden van Roggebot hoeft niet te worden gewijzigd. De maatgevende waterstand voor de Reevedam is NAP+3,64 m voor 2065;
12. Een geopend inlaatwerk bij extreme stormcondities zorgt voor een lichte (orde 5 cm) vermindering van het ontwerppeil voor de dijken en kunstwerken in de oostzijde van de bypass;
13. Bij de noordelijke dijken in de bypass variëren de golfhoogtes bij het ontwerppeil tussen de 0,4 en 0,8 m. De golfrichtingen variëren tussen de 240 en de 360 graden. Aan de zuidelijke dijk zijn de golfhoogtes bij het ontwerppeil over het algemeen iets hoger en valt de golf ook rechter op de dijk. De golfhoogtes variëren tussen de 0,4 en 0,9 m. De golfhoogtes op de Drontermeerdijk zijn ca. 0,6 tot 1,0 m en op de IJsseldijk West ca. 1,0 m;
14. Uit de berekening blijkt dat de meerpeilstijging geen grote invloed heeft op de golfhoogtes. Bij de maatgevende stormcondities zijn de golven dus niet diepte gelimiteerd;
15. De maximale stroomsnelheden in de bypass treden op bij een afvoer van 16.655 m³/s (1/2000 jaar afvoer). De maximale stroomsnelheid in de bypass vindt plaats bij het inlaatwerk (1,5 m/s) en bij de opening bij Roggebot (1,9 m/s). Deze stroomsnelheden maken een bodembescherming noodzakelijk. Ook in andere gedeeltes van de hoofdgeul zijn de stroomsnelheden dermate dat er oeverbescherming noodzakelijk is (zie figuur 8.5). De stroomsnelheden bij een extreme afvoersituatie zijn hoger dan tijdens de opzet van een extreme stormsituatie;
16. De toetspeilen uit de probabilistische studie van Svasek en HKV [28], tonen dat de in deze studie gepresenteerde ontwerppeilen robuust zijn. De genoemde onzekerheden (hoofdstuk 15) rondom de ontwerppeilen, pleiten echter voor het robuust ontwerpen van de dijkhoogtes. Hiermee is er in het ontwerp ruimte om eventuele nieuwe inzichten in de genoemde onzekerheden te kunnen opvangen, zonder dat het dijkontwerp moet worden aangepast.

Robuustheid

17. Voor het inlaatwerk is een robuuste oplossing geadviseerd. Dit betekent dat het voorontwerp van het inlaatwerk een werk betreft met in hoogte verstelbare schotten;
18. Een geopend inlaatwerk tijdens extreme noordwester- tot westerstormen heeft een licht (enkele cm's) waterstandverhogend effect op de waterstand op de IJssel. Deze verhoging heeft geen hinderlijk effect heeft op de MHW stand. Door de uitvoering van de zomerbedverlaging en de bypass gaat de MHW-stand bij het inlaatwerk reeds met 72 cm omlaag. Door het geopend houden van het inlaatwerk blijft hier nog ca. 65 cm verlaging van over.
Conclusie is dat het geopend houden van het inlaatwerk niet leidt tot een verhoging van de huidige MHW-stand. Vanuit veiligheid (MHW-stand) is er geen reden om de inlaat bij storm altijd gesloten te houden;
19. Het gecombineerde effect van de SNIP3 variant zomerbedverlaging en het SNIP3 inrichtingsplan IJsseldelta Zuid is voldoende om, ook bij een IJsselmeerpeilstijging van 0,23 m en bij afvoeren tot 18.000 m³/s, de 1/2000 waterstand tussen kmr 985 en kmr 997 te verlagen tot beneden het toetspeil van 1996;
20. Het gecombineerde effect van de SNIP3 variant zomerbedverlaging en het SNIP3 inrichtingsplan IJsseldelta Zuid is niet voldoende om de 1/2000 waterstanden, benedenstrooms van kmr 997 te verlagen tot een niveau dat lager is dan het toetspeil van 1996, indien het IJsselmeerpeil met 0,23 m toeneemt. Dit gebied is stormgedomineerd waardoor rivierverruimingsmaatregelen nauwelijks effect hebben op de toetspeilen in dit gebied. Andere maatregelen zullen hier nodig zijn indien het IJsselmeerpeil zal stijgen in de toekomst;
21. Berekeningen bij afvoeren tot 18.000 m³/s tonen dat de bypass voldoende robuust is om hogere afvoeren, dan de 1/2000 jaar afvoer, te kunnen verwerken. De effectiviteit van de bypass kan verder toenemen door het stroomprofiel bij het inlaatwerk, de Knoop, de Nieuwedijkse Brug en Roggebot te verbreden.

Hydraulische effecten

Tabel 16.2 geeft per aspect uit het rivierkundig beoordelingskader de conclusie weer.

Tabel 16.2: Conclusies hydraulische effecten per beoordeeld aspect

Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variante	Conclusie
Aspect 1.1: MHW stand op de as van de rivier (§9.1 en §9.3)	Fase 1: Bijdrage aan taakstelling korte termijn op kmr 979 - 980	Fase 1	Het effect van de bypass in fase 1 is een waterstandverlaging van 12,8 cm op kmr 980,0. Hiermee levert de onttrekking van 220 m ³ /s door de bypass en de herinrichting van de Onderdijkse Waard een relevante bijdrage aan de korte termijn taakstelling van 41 cm te Zwolle. De maximale waterstandsval ter hoogte van het inlaatwerk is 27 cm in de as van de rivier.
	Fase 2: Waterstandverlaging in rivieras ≥ 30 cm op kmr 979 - 980	Fase 2	Effect bypass t.o.v. de huidige situatie: - Maximale waterstandsverlaging (MHW) is 32,2 cm op kmr 980,0; - Maximale waterstandsval bij inlaatwerk is 72 cm. Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: - Maximale waterstandsverlaging (MHW) is 42,1 cm op kmr 980,0; - Maximale waterstandsval bij inlaatwerk is 85 cm.



Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variant	Conclusie
Aspect 1.2: MHW stand binnen een uiterwaard (§9.2 en §9.4)	Toename waterstand aan de bandijk. Ter acceptatie voorleggen aan dijkbeheerder	Fase 1	- Geen opstuwung langs dijken IJssel bij een afvoersituatie; - Langs de Vossemeerdijk neemt de waterstand toe met 8 cm nabij Roggebot Noord t.o.v. de huidige situatie bij een 1/2000 jaar afvoer. De MHW-stand blijft echter ongewijzigd (storm gedomineerd).
		Fase 2	Effect bypass t.o.v. de huidige situatie: - Geen opstuwung langs dijken IJssel bij een afvoersituatie; - Langs de Vossemeerdijk neemt de waterstand toe met 56 cm nabij Roggebot Noord t.o.v. de huidige situatie bij een 1/2000 jaar afvoer. De MHW-stand blijft echter ongewijzigd (storm gedomineerd). Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: - Geen opstuwung langs dijken IJssel bij een afvoersituatie; - Langs de Vossemeerdijk neemt de waterstand toe met 43cm nabij Roggebot Noord t.o.v. de huidige situatie bij een 1/2000 jaar afvoer. De MHW-stand blijft echter ongewijzigd (storm gedomineerd).
Aspect 1.3: Afvoerdeling bij MHW bij IJsselpunt (H13)	Afwijking afvoerdeling < 5 m ³ /s t.o.v. referentie Beoordeeld bij 1/2000 jaar afvoer.	Fase 1	Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: Geen waterstandverandering op splitsingspunt (kmr 880), daarmee ook geen effect op afvoerdeling.
		Fase 2	Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: Geen waterstandverandering op splitsingspunt (kmr 880), daarmee ook geen effect op afvoerdeling.
Aspect 2.1: Inundatiefrequentie van de Onderdijkse waard en de Bypass (H10)	Verandering inundatie frequentie t.o.v. de huidige situatie	Fase 1	Inundatiefrequentie van de Onderdijkse Waard neemt door de zomerbedverlaging af (van 5 dg/jaar naar 2 dg/jaar). De hoog gelegen gebieden zullen minder vaak overstroomd. Door aanleg van de nevengeul en de recreatiegeul neemt op deze locaties de inundatiefrequentie toe. Er wordt geen extra hinder door deze verandering voor gebruikers verwacht. Wel zal het natuurbeeld veranderen, in het inrichtingsplan is hierop ingespeeld. De inundatiefrequentie van het bypassgebied neemt vanzelfsprekend toe door de peildynamiek op het Drontermeer. Een afvoersituatie heeft een dusdanig kleine kans van voorkomen dat de inundatiefrequentie hier niet door wijzigt.
		Fase 2	De wijziging van de inundatiefrequentie voor de Onderdijkse Waard is gelijk aan de wijzigingen in fase 1. De inundatiefrequentie van het bypassgebied neemt vanzelfsprekend toe. De waterstanddynamiek van Vossemeer zal ook in de bypass aanwezig zijn. De verwachting is dat de hogere delen (>0.5m) ca. 1-5 dagen per jaar inunderen bij storm.



Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variant	Conclusie
			Het recreatiegebied krijgt een beschermingsniveau van circa 1/100 jaar, hiervoor dient het terrein opgehoogd te worden tot NAP+2,3 m.
Aspect 2.2: Stroombeeld in de uiterwaard (Hoofdstuk 11)	Verandering stroomsnelheden beoordeeld bij een afvoer van 10.000 m ³ /s	Fase 1	Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: De stroomsnelheden nemen toe in de migratiegeul, nevengeul en de recreatiegeul. De stroomsnelheden zijn ca. 0,5 m/s, tot maxima van 0,8 m/s bij de uitstroomopening van de nevengeul. In gebied tussen de geulen worden de snelheden beperkt hoger tot 0,2 tot 0,35 m/s. De stroomsnelheid op de IJssel neemt toe, voornamelijk in het gedeelte boven- en benedenstrooms van de nevengeul, met circa 0,3 tot 0,4 m/s. Over het traject van de nevengeul is deze toename circa 0,1 tot 0,2 m/s. Deze toename wordt veroorzaakt door de waterstandsval t.g.v. de zomerbedverlaging. Op de bypass en Drontermeer treden geen nadelige stromingseffecten op, ook niet bij storm.
		Fase 2	Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: Doordat de schotten (NAP+1,5) van het inlaatwerk gaan overstromen neemt de stroomsnelheid in de stroombaan van de Onderdijkse Waard toe. Verder blijven de stroomsnelheden in de Onderdijkse waard vergelijkbaar met fase 1. De afvoer door de bypass is circa 40 m ³ /s bij een IJsselaflow van 10.000 m ³ /s. De stroomsnelheden blijven over het algemeen beperkt tot orde 0,1 – 0,15 m/s. In de smallere gedeeltes neemt de snelheid toe 0,25 m/s. De stroomsnelheden bij de aansluiting van de vaarweg Drontermeer-Vossemeer en de recreatiegeul blijven beperkt tot max 0,1 m/s. Bij Roggebot nemen de stroomsnelheden toe tot 0,15 m/s in het Vossemeer tot 0,1 m/s. Bij storm kunnen de stroomsnelheden door de opening bij Roggebot toenemen tot ca. 0,5 m/s.



Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variant	Conclusie
Aspect 2.3: Stroombeeld bij in- en uitstroomopening van de nevengeulen (H12)	Stroomsnelheid dwars op vaarweg op rand vaargeul $\leq 0,3$ m/s als $Q_{\text{geul}} < 50 \text{ m}^3/\text{s}$ of $0,15$ m/s als $Q_{\text{geul}} > 50 \text{ m}^3/\text{s}$ Beoordeeld bij 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000 en $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en bij storm	Fase 1	Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: De herinrichting van de Onderdijkse Waard leidt niet tot een hinderlijk effect op dwarsstroming voor scheepvaart op de IJssel bij afvoeren t/m $8.500 \text{ m}^3/\text{s}$. Enkel bij de bovenstroomse gelegen uitstroomopening van het Koeluchtergat is dit $0,30$ m/s na optimalisatie van de kade bij het defensie platform. De toekomstige situatie lijdt hiermee tot een licht veranderend beeld wat hinderlijk zou kunnen zijn voor de scheepvaart. Bij hogere afvoeren neemt de hinder voor scheepvaart wel toe en wordt de norm op een drietal locaties overschreden. Bij $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is de dwarsstroming bij het Koeluchtergat $0,166$ m/s, bij de stroombaan naar het inlaatwerk $0,2$ m/s en bij de uitstroomopening $0,37$ m/s. Bij $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is de dwarsstroming bij de stroombaan naar het inlaatwerk $0,32$ m/s en bij de uitstroomopening $0,37$ m/s. Op Drontermeer is er in fase 1 geen hinderlijk effect op dwarsstroming te verwachten, ook niet bij storm.



Beoordeeld aspect	Effect / voorwaarde	Variant	Conclusie
		Fase 2	Effect bypass en zomerbedverlaging t.o.v. huidige situatie: Bij afvoeren t/m 8.500 m³/s wijzigt de dwarsstroming niet ten opzichte van de dwarsstroming in fase 1. Bij 10.000 m³/s neemt de afvoer door de bypass toe tot circa 200 m³/s. Bij de uitstroomopening van de nevengeul neemt de snelheid toe 0,39 m/s. Over de kade die voor de verlaagde stroombaan ligt is de dwarsstroming 0,20 m/s. De dwarsstroming bij de aantakking van het Koeluchtergat bedraagt 0,16 m/s. Bij 10.000 m³/s wordt de norm van 0,15 m/s dus overschreden op drie locaties. Bij 16.000 m³/s neemt de afvoer door de bypass toe tot circa 440 m³/s. Op de kribbakenlijn bij de instroomopening is de dwarsstroming maximaal 0,38 m/s. Bij de uitstroomopening van de nevengeul is de uitstroom meer geconcentreerd dan in fase 1 en is de dwarsstroming met 0,44 m/s eveneens hoger. De dwarsstroming bij de aantakking van het Koeluchtergat wordt in fase 2 ook verhoogd met 0,09 m/s. Op de rand van de vaargeul door het verlengde Vossemeer is er bij afvoer t/m 8.000 m³/s geen dwarsstroming. Bij 10.000 m³/s en 16.000 m³/s is dit wel het geval met een dwarsstroming van resp. 0,04 m/s en 0,28 m/s. Ander punt van aandacht zijn de hogere stroomsnelheden vanaf 10.000 m³/s door de opening bij Roggebot en in de vaargeul door het Vossemeer en verlengde Vossemeer. Schepen op de (rustige) randmeren zijn mogelijk niet gewend aan stroming (weliswaar in/tegen de stroomrichting). Bij een stroomsnelheid van groter dan 0,5 m/s door de opening bij Roggebot wordt de scheepvaart gestremd. Bij storm kan dit ook voorkomen. Inschatting is dat dit slechts hoogstens enkele dagen per jaar zal voorkomen tijdens een paar fases van een jaarlijkse noordwester storm en bij hoogwaters hoger dan 10.000 m³/s.



Tauw



Bos



17

LITERATUUR

- [1] Rijkswaterstaat (2009), Rivierkundig Beoordelingskader versie 2.01, Rijkswaterstaat Waterdienst, 1 juli 2009.
- [2] Brouwer (2010) Bepaling hydraulische effectiviteit hoogwatergeul Kampen, Brief 18 februari 2010, Programmadirectie Ruimte voor de Rivier.
- [3] Velzen, E.H. van, Jesse, P., Cornelissen, P., Coops, H. (2003) Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, Arnhem, november 2003, RIZA rapport 2003.028.
- [4] Vos, T (2007), Baseline maatregelen: eisen en richtlijnen, Rijkswaterstaat Oost Nederland.
- [5] Provincie Overijssel (2010), Fasering IJsseldelta Zuid, Systeembeschuwing, Uitgangspunten ontwerp waterkering, februari 2010, WA-RK20100110.
- [6] Provincie Overijssel (2005), Bypass Kampen, Concept - Eindrapportage Taskforce Hydraulica, dossier W3147.01.005, WG-SE20050720, mei 2005.
- [7] Joost ter Hoeven (2006), Memo hydraulische analyses en dijkontwerp (versie 2), WGSE20060532, 23 juni 2006.
- [8] RIZA, 25 maart 1999, Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied, RIZA rapport 99.040.
- [9] RWS Waterdienst, 8 april 2009, Toekomstvastheid van de hoogwatergeul in de IJsseldelta, rapportnr.2009.005.
- [10] Ministerie VenW e.a, 22 dec. 2009, Nationaal Waterplan 2009-2015.
- [11] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Planstudie IJsseldelta Zuid, product 4: Inrichtingsplan IJsseldelta Zuid, concept, 29 mei 2012.
- [12] Royal Haskoning, Tauw en Witteveen+Bos, Planstudie IJsseldelta Zuid, Product 1, Systeemanalyse, concept, 29 mei 2012.
- [13] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Planstudie IJsseldelta Zuid, Product 3: Waterkeringsplan, concept, 29 mei 2012.
- [14] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Planstudie IJsseldelta Zuid, Product 2: Technisch Ontwerp, concept, 29 mei 2012
- [15] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Planstudie IJsseldelta Zuid, Product 12: Morfologische effectbeoordeling, concept, 29 mei 2012.
- [16] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Planstudie IJsseldelta-Zuid, Product 5: Beheer- en onderhoudsplan, concept, 29 mei 2012.
- [17] Pakketten Hydra-M (versie 1.4) en Hydra-VIJ (versie 3.1, oktober 2008) voor de IJssel, Ketelmeer en Vossemeer en pakket Promovera (versie 1.2.1) voor de randmeren.
- [18] TAW, Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, Deel I- bovenrivierengebied, september 1985.
- [19] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Rapportage Waterkwaliteit, Deelproduct 10, concept, 29 mei 2012.
- [20] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Hydraulische Randvoorwaarden en Uitgangspunten, definitief, 11 juni 2010, 9V4747.A9/N0003/901807/VVDM/Nijm.
- [21] Technische adviescommissie voor de waterkeringen (1999), Leidraad Zee- en Meerdijken, december 1999.
- [22] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009), Addendum 1 bij de Leidraad Zee- en Meerdijken t.b.v. het ontwerpen van meerdijken, 25 maart 2009.
- [23] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007), Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied, Drukkerij Ando bv, Den Haag, juli 2007.



- [24] Royal Haskoning, TAUW en Witteveen+Bos, Rapportage Geohydrologische Effecten, Deelproduct 10, concept, 29 mei 2012
- [25] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DWW, RIKZ & RIZA, Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006), Directoraat-Generaal Water, Den Haag, Augustus 2007, ISBN 978-90-369-5761-8.
- [26] DHV, Zomerbedverlaging Beneden-IJssel, deelrapport 2: Hydraulica en Morfologie, Planstudie SNIP3, concept rapport, maart 2011.
- [27] Min van I&M en Min. van ELI, Deltaprogramma 2012, september 2011
- [28] HKV_Lijn in water /Svasek Hydraulics, Probabilistische berekeningen bypass Kampen, oktober 2010
- [29] RWS, dienst Verkeer en Scheepvaart, Richtlijnen Vaarwegen 2011, december 2011

Bijlage A

Baseline kaarten Inrichtingsplan (hoogtemodellen en vegetatiekaarten)



Tauw



Bos





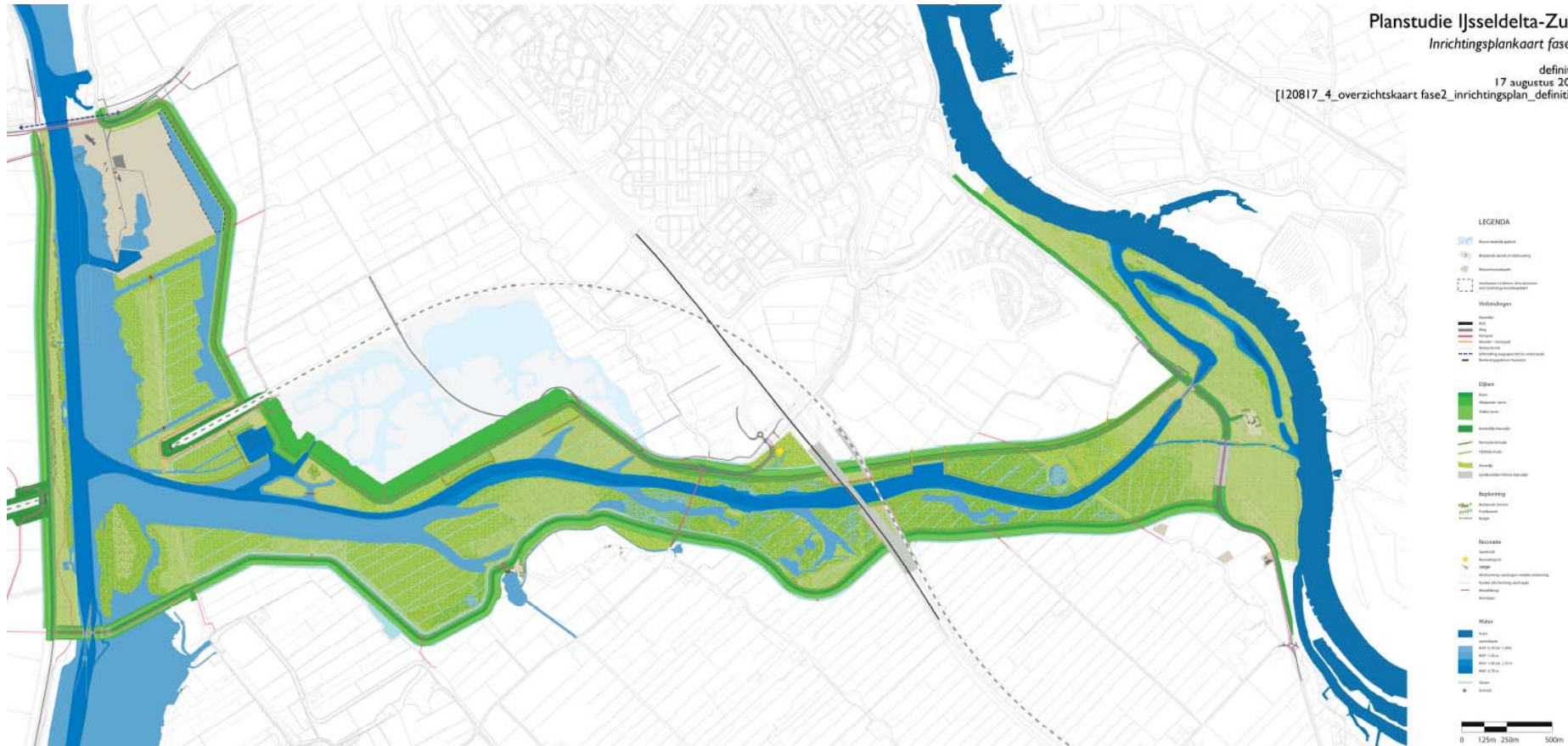
Planstudie IJsseldelta-Zuid

Inrichtingsplankaart fase 2

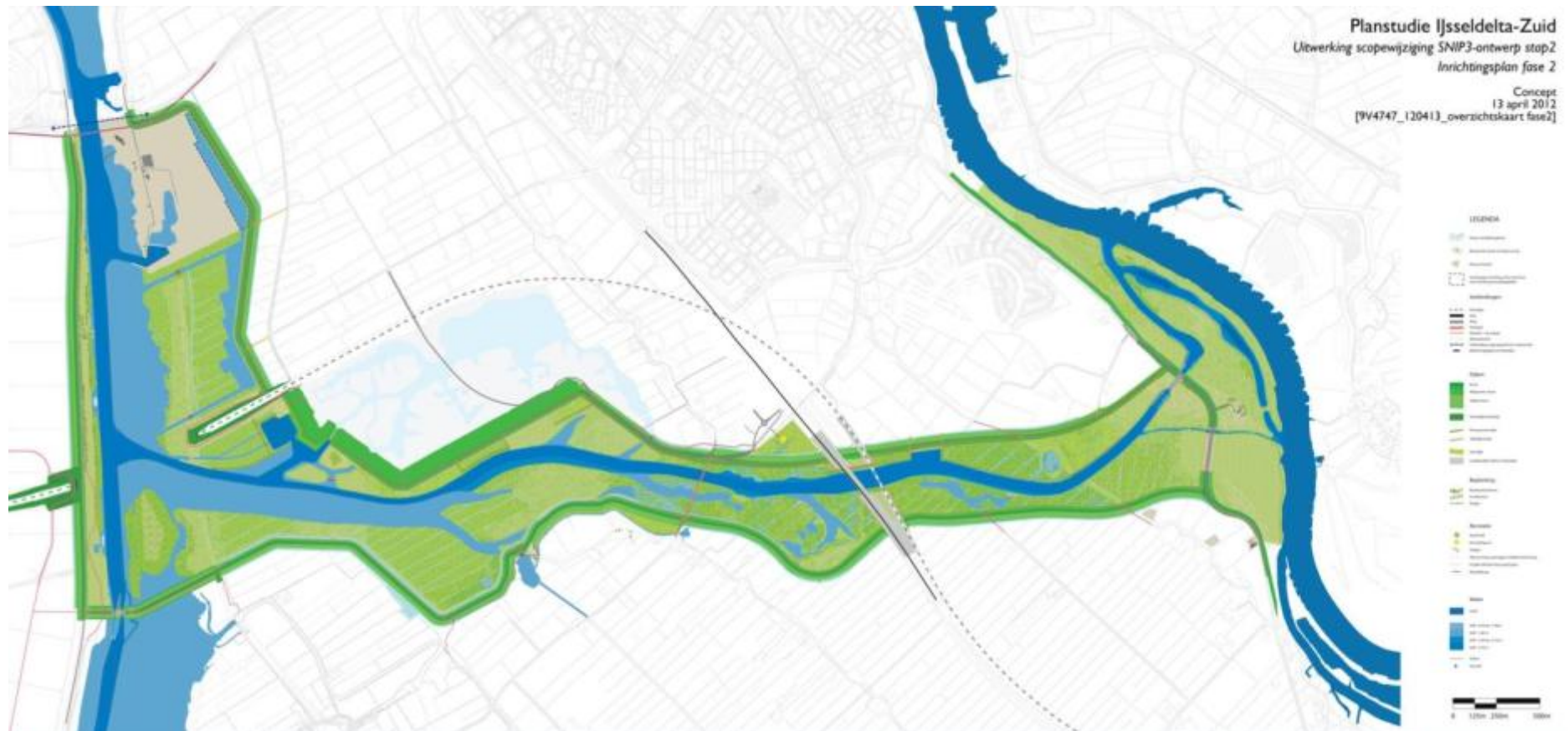
definitief

17 augustus 2012

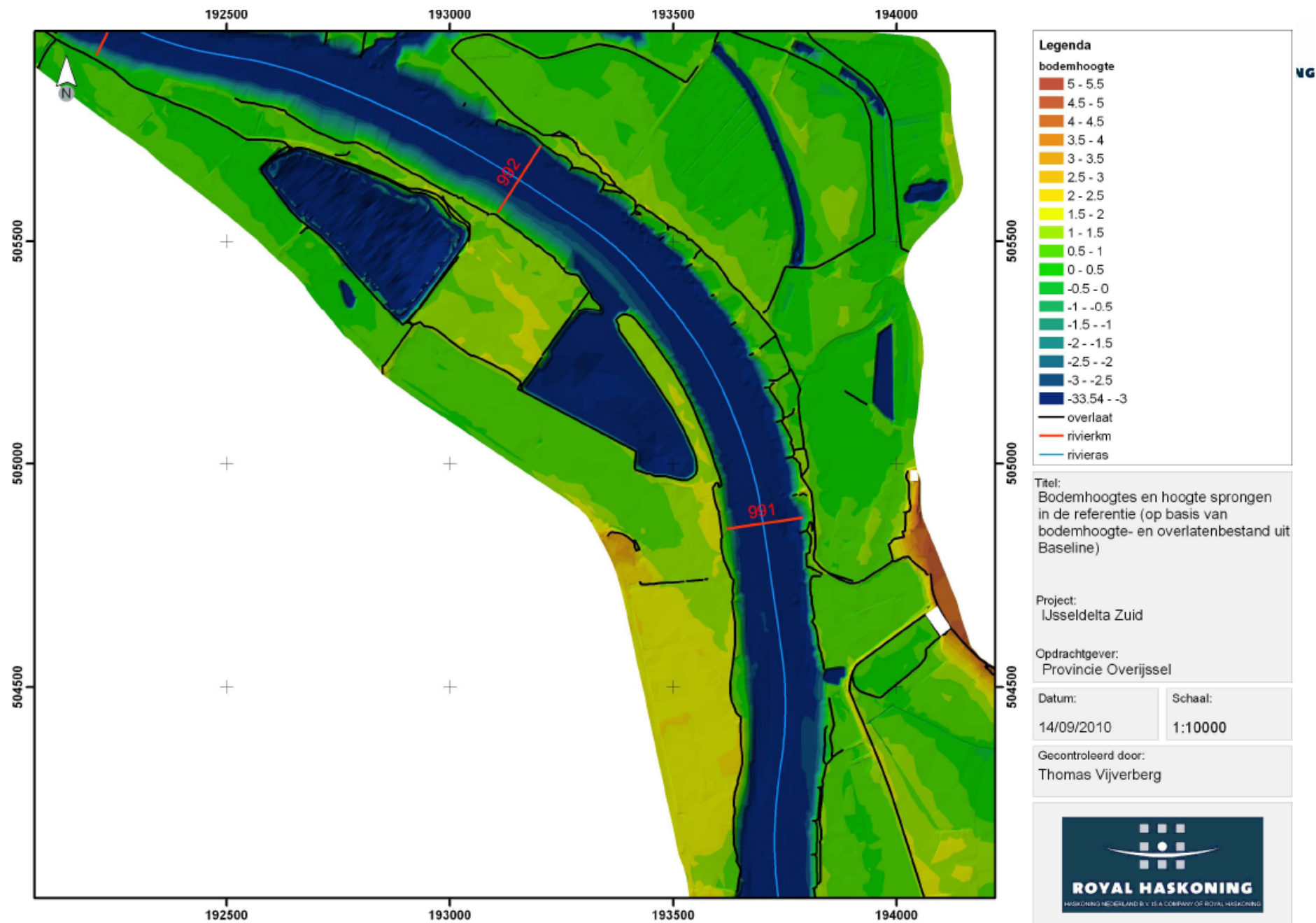
[120817_4_overzichtskaat fase2_inrichtingsplan_definitief]

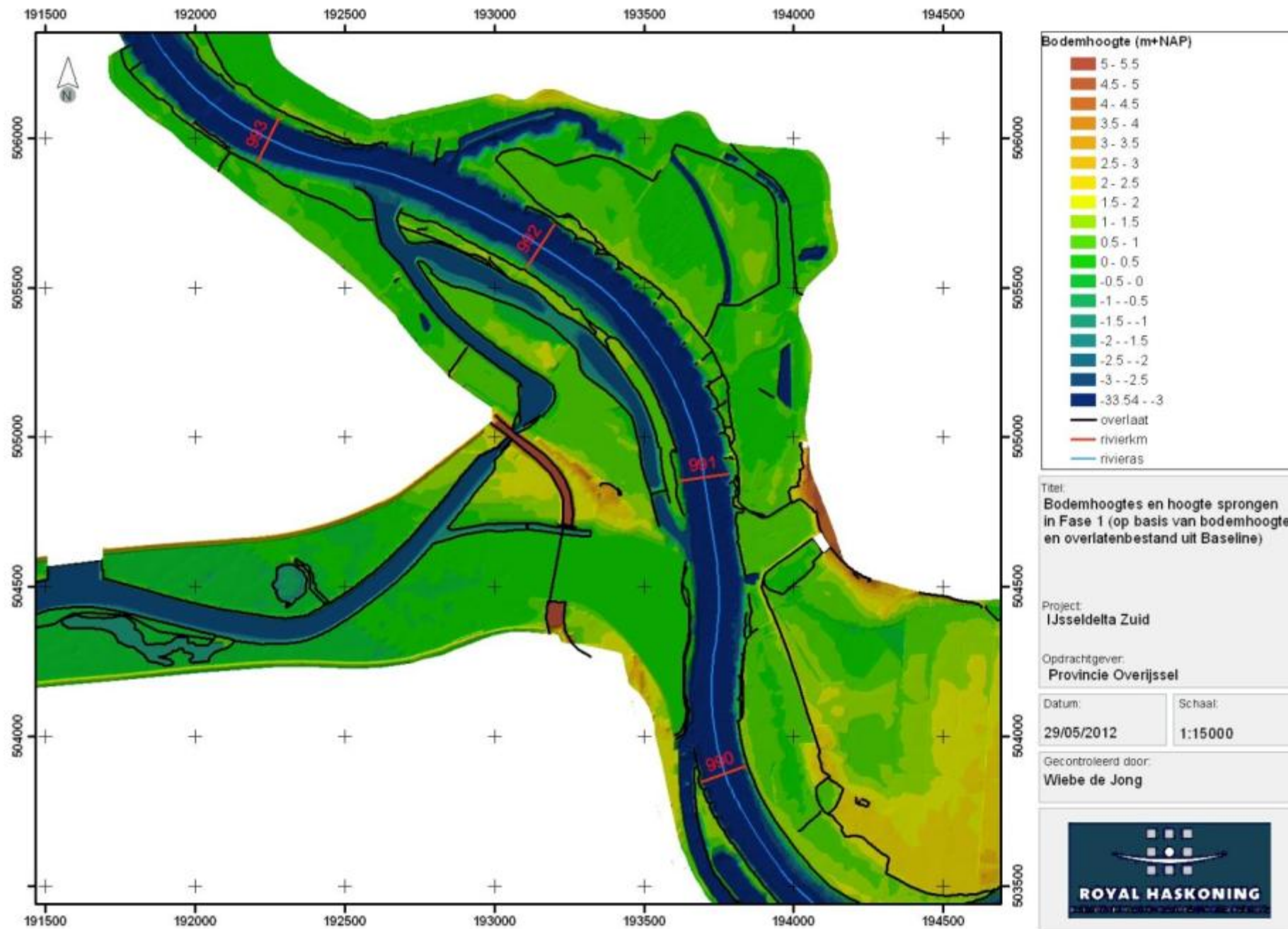


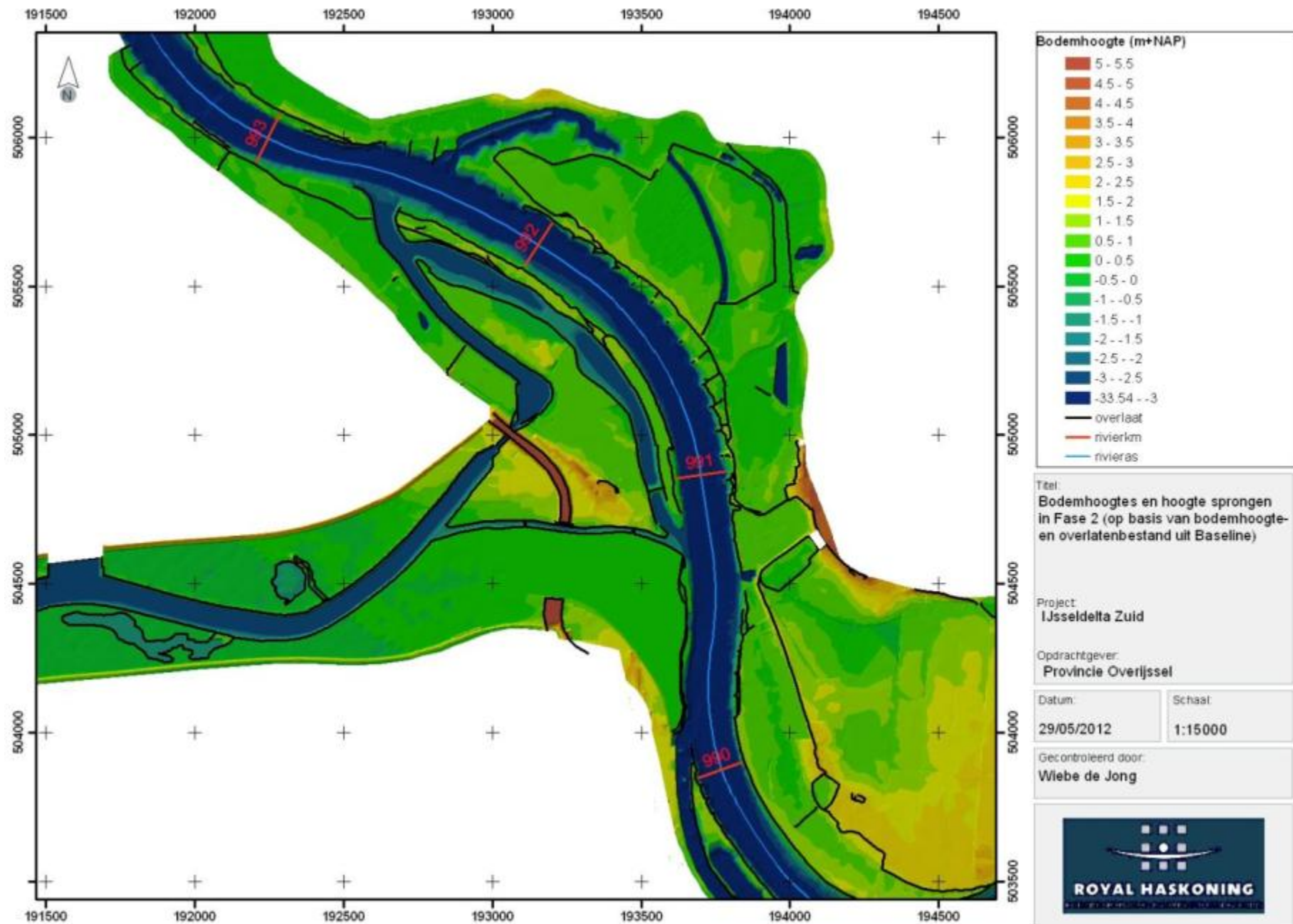
Figuur A.1: Inrichtingsplan fase 1

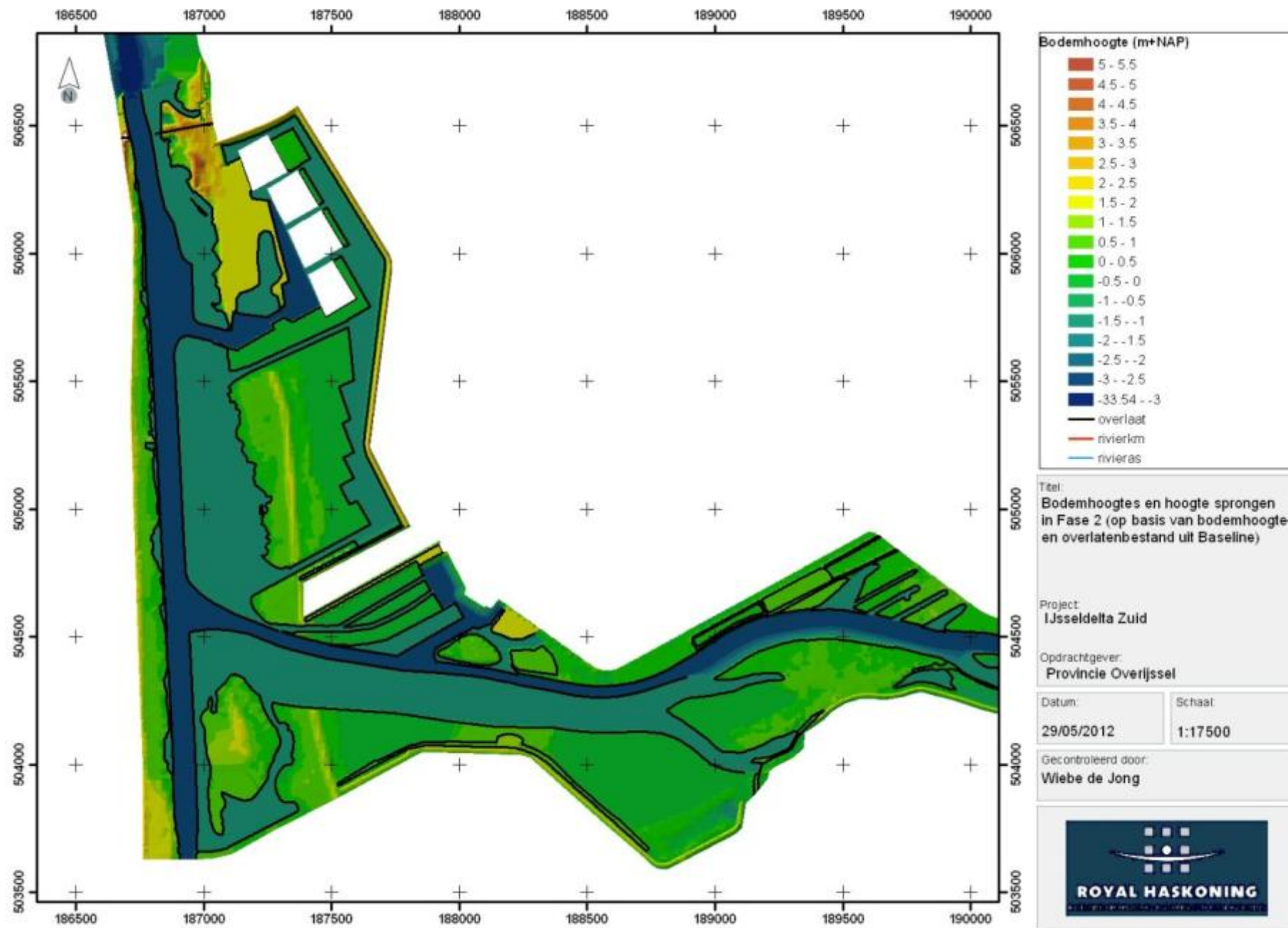


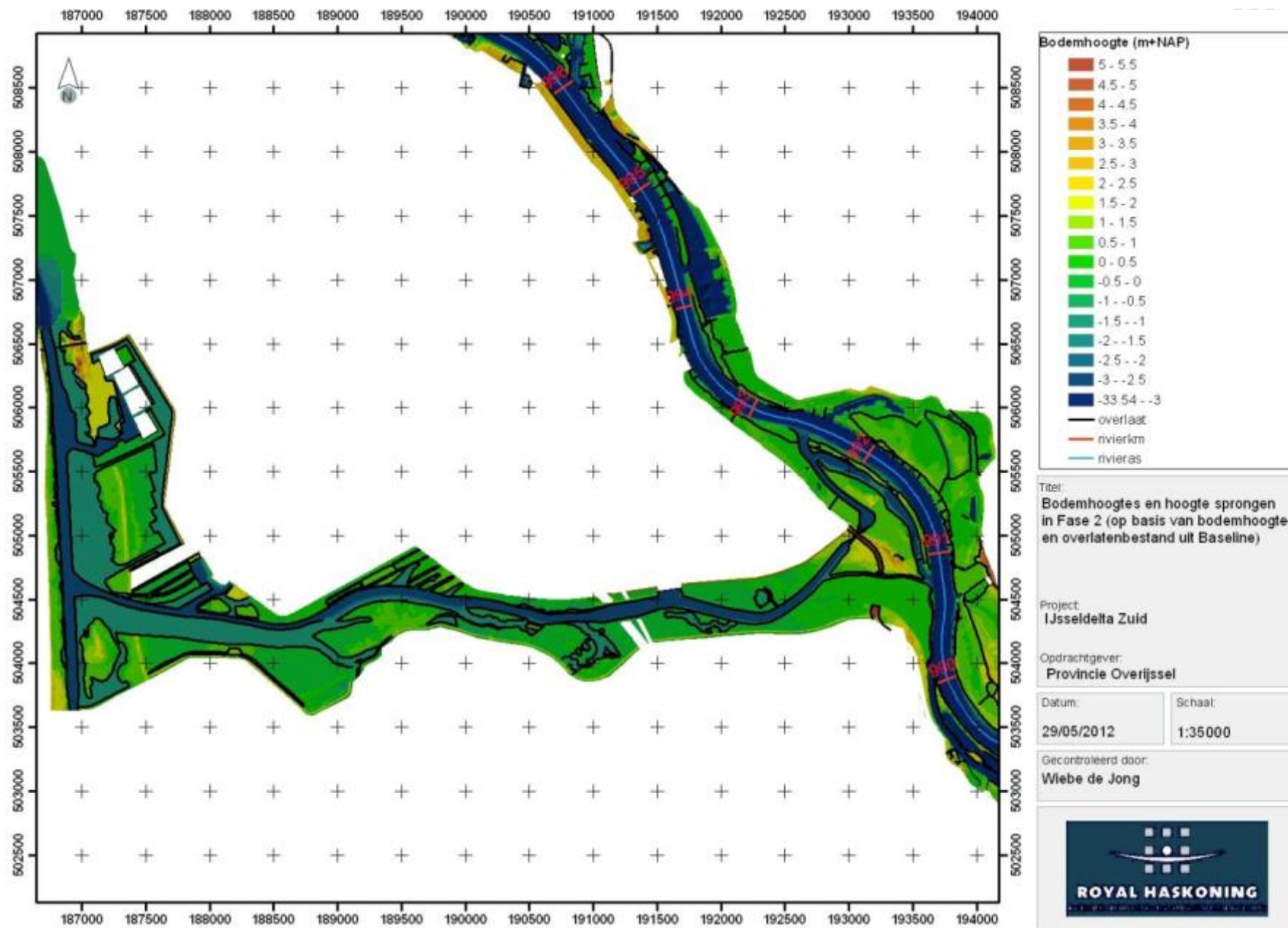
Figuur A.2: Inrichtingsplan fase 2

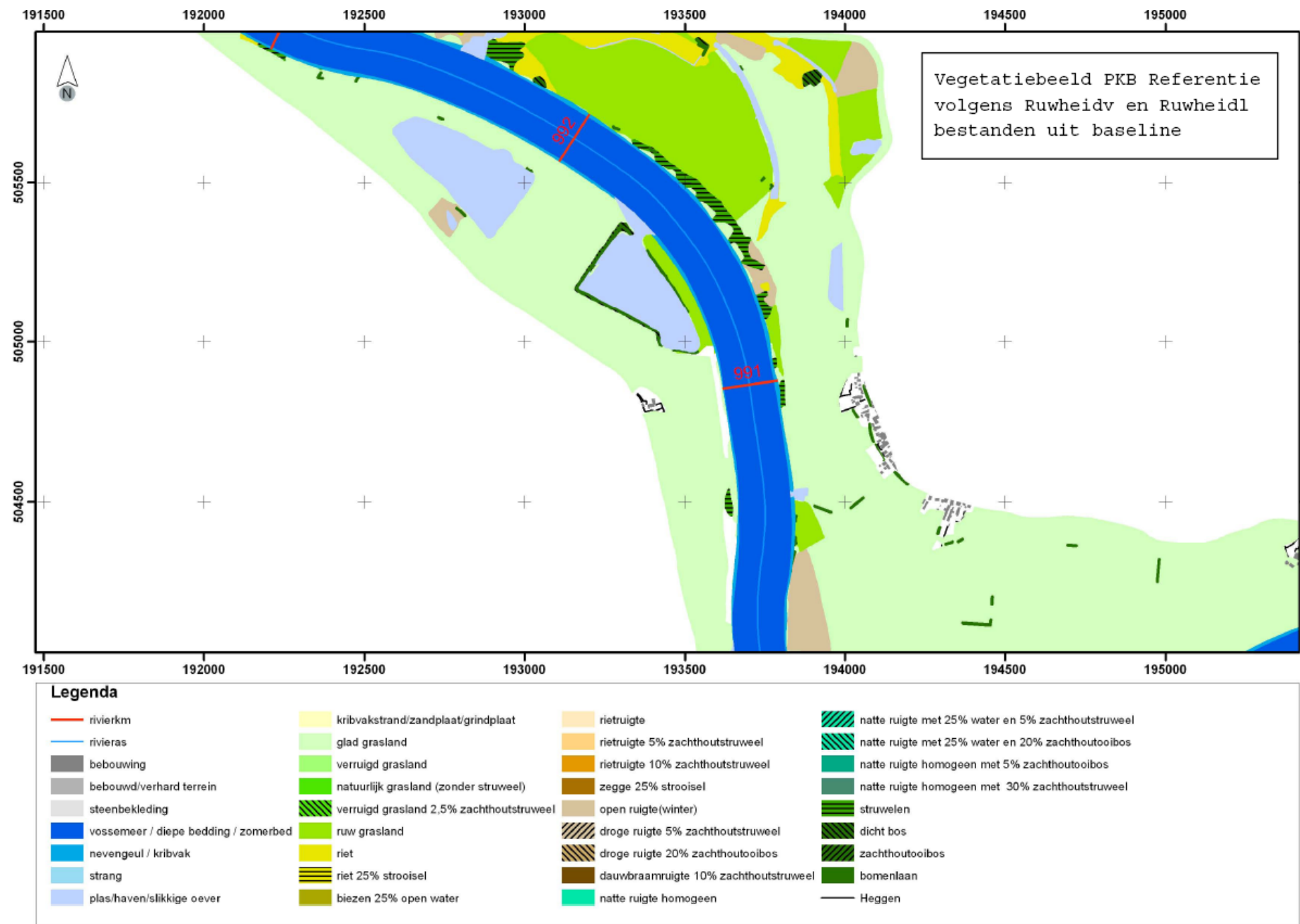


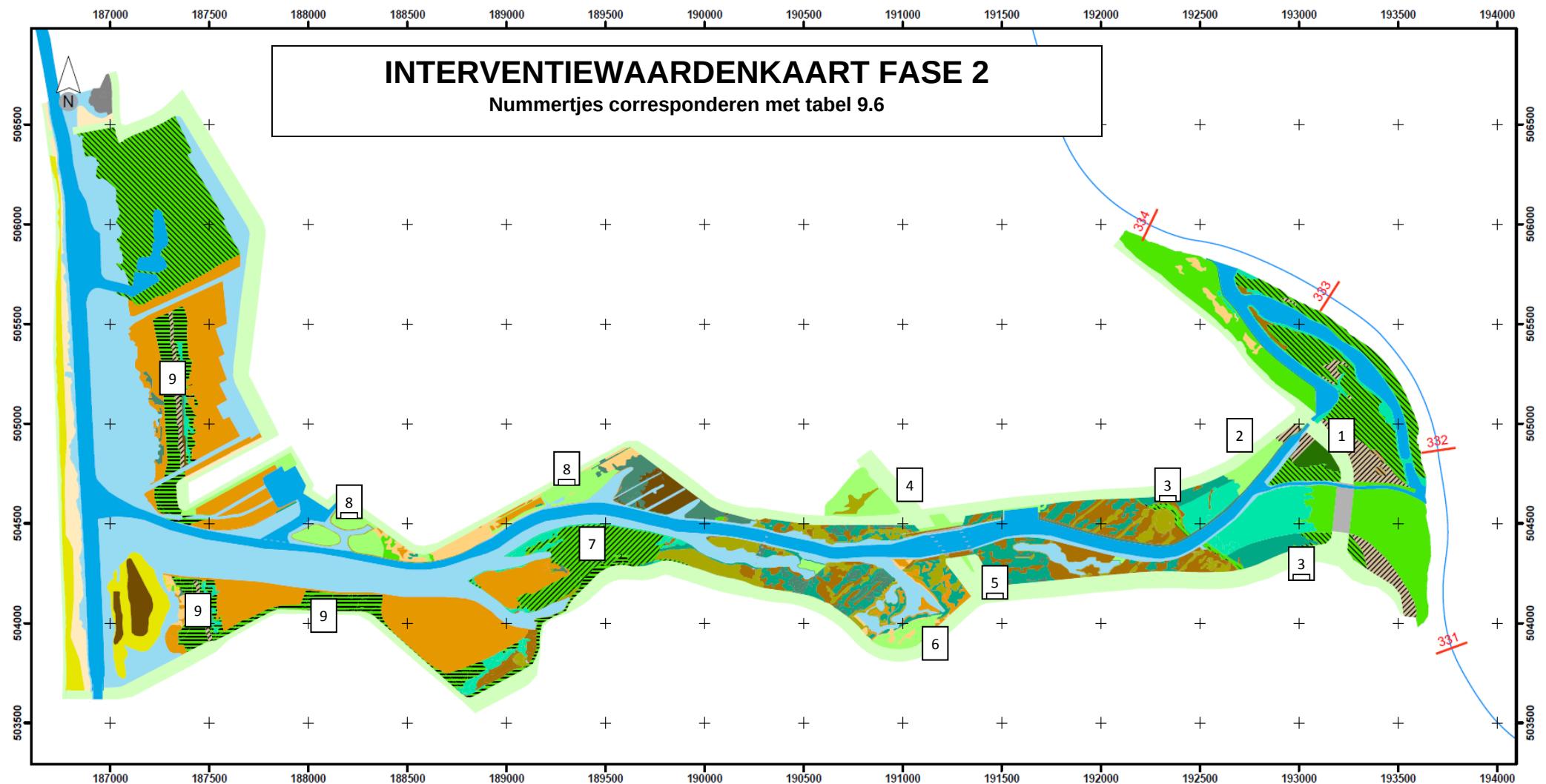






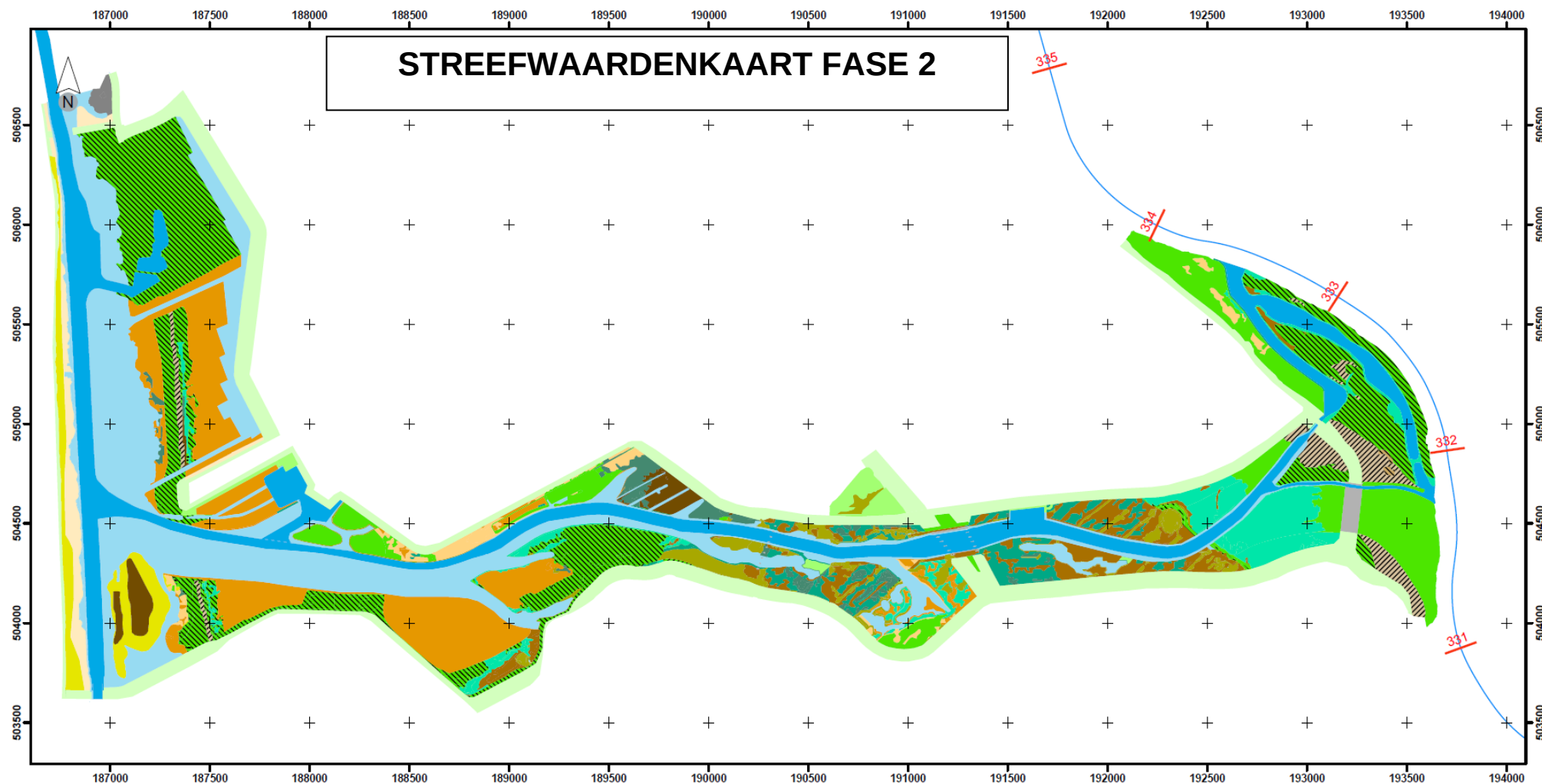






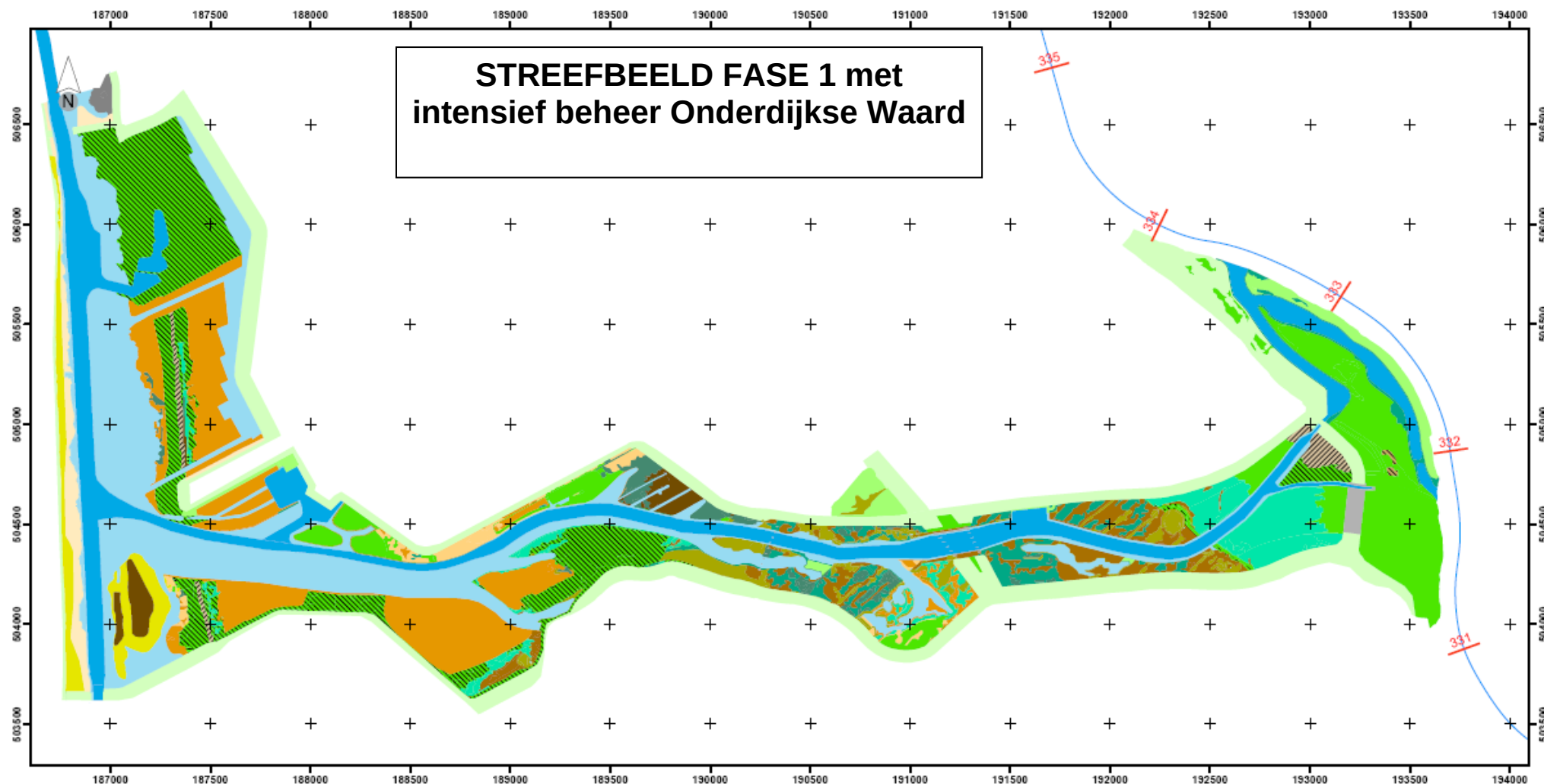
Legenda

- | | | | |
|---------------------------|--|---|---|
| — rivierkm | verruigd grasland | rietruigte | natte ruigte homogeen |
| — rivieras | natuurlijk grasland (zonder struweel) | rietruigte 5% zachthoutstruweel | — natte ruigte met 25% water en 20% zachthoutooibos |
| — bebouwd/verhard terrein | verruigd grasland 2,5% zachthoutstruweel | rietruigte 10% zachthoutstruweel | — natte ruigte homogeen met 5% zachthoutooibos |
| — steenbekleding | verruigd grasland 5% zachthoutstruweel | zegge 25% strooisel | — natte ruigte homogeen met 30% zachthoutstruweel |
| — nevengeul | verruigd grasland 20% zachthoutstruweel | — droge ruigte 5% zachthoutstruweel | — zachthoutooibos |
| — (ondiep) open water | riet | — droge ruigte 20% zachthoutooibos | |
| — glad grasland | biezen 25% open water | — dauwbraamruigte 10% zachthoutstruweel | |



Legenda

— rivierkm	 verruigd grasland	 rietruigte	 natte ruigte homogeen
— rivieras	 natuurlijk grasland (zonder struweel)	 rietruigte 5% zachthoutstruweel	 natte ruigte homogeen met 5% zachthoutoobos
 bebouwd/verhard terrein	 verruigd grasland 2,5% zachthoutstruweel	 rietruigte 10% zachthoutstruweel	 natte ruigte homogeen met 30% zachthoutstruweel
 steenbekleding	 verruigd grasland 5% zachthoutstruweel	 zegge 25% strooisel	 zachthoutoobos
 nevengeul	 verruigd grasland 20% zachthoutstruweel	 droge ruigte 5% zachthoutstruweel	
 (ondiep) open water	 riet	 droge ruigte 20% zachthoutoobos	
 glad grasland	 biezen 25% open water	 dauwbraamruigte 10% zachthoutstruweel	



Legenda

— rivierkm	verruigd grasland	rietruigte	natte ruigte homogeen
— rivieras	natuurlijk grasland (zonder struweel)	rietruigte 5% zachthoutstruweel	natte ruigte met 25% water en 20% zachthoutooibos
bebouwd/verhard terrein	verruigd grasland 2,5% zachthoutstruweel	rietruigte 10% zachthoutstruweel	natte ruigte homogeen met 5% zachthoutooibos
steenbekleding	verruigd grasland 5% zachthoutstruweel	zegge 25% strooisel	natte ruigte homogeen met 30% zachthoutstruweel
nevengeul	verruigd grasland 20% zachthoutstruweel	droge ruigte 5% zachthoutstruweel	zachthoutooibos
(ondiep) open water	riet	droge ruigte 20% zachthoutooibos	
glad grasland	biezen 25% open water	dauwbraamruigte 10% zachthoutstruweel	



Tauw



Bos





Tauw



Bijlage B

Modelsetting en verificatie



Tauw

Witteveen

Bos



MODELSETTINGS EN VERIFICATIE

Modelsettings

In deze bijlage zijn de modelsettings gegeven voor de uitgevoerde WAQUA berekeningen binnen dit project. De bijlage toont diverse tabellen waarin de modelsettings zijn getoond.

Tabel B.2 toont de verschillende kenmerk (id.) codes voor de uitgevoerde WAQUA berekeningen. Elke berekening heeft zijn eigen code. Op basis van deze tabel kan teruggezocht worden voor welke fase, met welke afvoer en met welke referentiesituatie de WAQUA berekening is uitgevoerd. Vanwege de verschillende referentiesituaties en de combinatie met zomerbedverlaging en Onderdijkse Waard, zijn er een veelvoud van berekeningen gemaakt voor zowel effectbeoordeling als voor de ontwerpbelastingen.

Tabel B.3 toont de kenmerk (id.) codes voor de uitgevoerde SWAN berekeningen. Het doel van de SWAN berekeningen is het komen tot de golfbelasting voor het ontwerp van de dijken en de kunstwerken. Berekeningen zijn uitgevoerd voor fase 1 en fase 2.

Tabel B.4 toont de namen van de gebruikte en aangemaakte volledige baseline modellen voor elke fase en voor de referentiesituatie. Tevens toont de tabel uit welke maatregelen deze modellen zijn opgebouwd. Vanwege de verschillende referentiesituaties en de combinatie met zomerbedverlaging en Onderdijkse Waard, zijn er vele verschillende Baseline modellen gebruikt. Het is belangrijk om deze in de toekomst uit elkaar te houden en te kunnen reproduceren.

De maatregelen die gebaseerd zijn op het Inrichtingsplan (versie 29 mei 2012) zijn:

Fase 1:

- IJs_kamp_byf1b → maatregel voor de inrichting van de bypass voor fase 1 met vegetatie streefbeeldniveau;
- IJs_kamp_owf1b → maatregel voor de inrichting van de Onderdijkse Waard voor fase 1 met vegetatie interventieniveau fase 1.

Fase 2:

- IJs_kamp_byf2b → maatregel voor de inrichting van de bypass voor fase 2 met vegetatie streefbeeldniveau;
- IJs_kamp_owf2b → maatregel voor de inrichting van de Onderdijkse Waard voor fase 2 met vegetatie interventieniveau fase 2;

Eventueel toe te voegen (afhankelijk van schematisatie en aard van de berekening):

- ijs_kamp_byf2binv → maatregel voor de inrichting van de bypass voor fase 2 met vegetatie interventieniveau;
- ijs_kamp_inl15 → maatregel om de standaardopstelling (tot NAP+1,5 m) van de schotten in het regelwerk te schematiseren.

Voor de situaties waarbij de zomerbedverlaging Beneden-IJssel (ontwerp april 2012) is meegenomen gelden de volgende twee maatregelen. Deze maatregelen zijn aangeleverd door het projectteam zomerbedverlaging van DHV.

- M_B2009_05;
- M_zblJ_VKA97_a2_13.

In Tabel B.5 zijn de gewijzigde modelsettings in de WAQUA berekening aangegeven voor de berekeningen die dienen om de maatgevende waterstanden te berekenen. In deze tabel kan teruggevonden worden welke:

- Kolom 1: wat het kenmerk is van de WAQUA berekening;
- Kolom 2 en 3: welk baseline model als basis is gebruikt en welke WAQUA schematisatie is gebruikt;
- Kolom 4: voor welke fase de berekening is uitgevoerd;
- Kolom 5 en 6: welke windrichting en -snelheid zijn gebruikt. In sommige sommen is wel met wind gerekend, bij andere niet. Indien er niet met wind is gerekend is er 'nvt' gezet. Indien er wel met wind is gerekend is de wind als een uniforme, stationaire wind opgelegd in WAQUA. Hierbij is niet gerekend met een 9-urige voorflank, een 2-urige piek en een 9-urige achterflank. In het model is vanaf het begin de piekwind snelheid stationair opgelegd. Daarnaast is er geen beschutting (wind hiding factor) boven land of ten gevolge van vegetatie of bebouwing meegenomen. Het windveld is dus uniform over het hele modeldomein, met dezelfde richting en snelheid. De interne opzet t.g.v. windopzet in het systeem is dus wel berekend bij de berekeningen waar wind is toegevoegd.
Voor de berekeningen met de methode Westphal is geen interne windopzet verrekend. De berekeningen voor de methode Westphal zijn enkel gebruikt voor het toetsen van de taakstelling en niet voor het bepalen van de ontwerppeilen;
- Kolom 7: de bestanden voor de lateralen op de IJssel die in de berekening zijn gebruikt. Bij lage afvoeren (lager dan $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith) is niet gerekend met lateralen, bij afvoeren hoger dan $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn de 1/1250 jaar lateralen gebruikt. Voor fase 2 zijn de lateralen aangevuld met de lateralen ten gevolge van de onttrekking door de migratiegeul. Bij de stormgedomineerde condities zijn geen lateralen op de IJssel toegevoegd;
- Kolom 8: of het inlaatwerk geopend of gesloten is. Bij de Q-condities is het inlaatwerk geopend, bij de U-condities is voor zowel open of gesloten doorgerekend;
- Kolom 9: welke afvoer op de IJsselkop is opgelegd in het model;
- Kolom 10: welke waterstand is opgelegd op de open rand van het model op het Ketelmeer. De rand van het WAQUA model ligt op de hoogte van het uitvoerpunt F095 Ketelmeerdijk. F095 is een uitvoerpunt in Hydra-M. Voor elke conditie is met Hydra-M bepaald wat de waterstand is op de punt. Deze waterstand is vervolgens als rand in het WAQUA model gehanteerd. Hierdoor bevat de modelrand in de IJsselmonding dus reeds het waterstandseffect ten gevolge van een hogere windsnelheid.
Voor de condities waarin de toekomstige meerpeilstijging is meegenomen is de open rand op het Ketelmeer verhoogd met de bij de peilstijging behorende stijging van de MHW-stand op deze rand. Bij een meerpeilstijging van 30 cm, stijgt de MHW-stand (U-condities) bij F095 met 17 cm, bij 1,0 m met 55 cm [9]. Bij de Q-conditie is de totale meerpeilstijging opgeteld op de rand.

In tabel B.6 zijn de gewijzigde modelsettings in de WAQUA berekening aangegeven voor de berekeningen die dienen voor de hydraulische effectbeoordeling voor fase 1. De indeling van de tabel is hetzelfde als voor model B.5

In tabel B.7 zijn de gewijzigde modelsettings in de WAQUA berekening aangegeven voor de berekeningen die dienen voor de hydraulische effectbeoordeling voor fase 2 en voor de beoordeling van de taakstelling. De indeling van de tabel is hetzelfde als voor model B.5

In tabel B.8 zijn de gewijzigde modelsettings in de WAQUA berekening aangegeven voor de berekeningen die dienen voor de toetsing van de robuustheid. De indeling van de tabel is hetzelfde als voor model B.5.

Verificatie

Om te toetsen of de modelresultaten betrouwbaar zijn, zijn verschillende controles uitgevoerd. Hieronder volgen de resultaten van enkele van deze controles.

Bij de berekeningen voor de ontwerpbelastingen is gecontroleerd of de berekende waterstanden overeenkomen met de bekende maatgevende waterstanden uit Hydra-M en Promovera voor dezelfde condities. Voor de condities die leiden tot de ontwerppeilen voor de bypass, komen de modelresultaten goed overeen met de bekende maatgevende waterstanden uit Hydra-M en Promovera voor de IJsselmonding, Vossemeer en Drontermeer. Dit geeft vertrouwen in de berekende maatgevende waterstanden voor de bypass.

Tabel B.1: Verificatie van modelresultaten ten opzichte van maatgevende waterstanden voor enkele illustratiepunten uit Hydra-M en Promovera

Illustratiepunt	Conditie [norm en windrichting]	Resultaat Hydra-M of Promovera [m+NAP]	Modelresultaat WAQUA [m+NAP]	Vershil (relatief) [m]
Roggebot Noord	1/2000, 300°	3,19	3,27 (F2_U5)	0,08 (2,5%)
	1/4000, 300°	3,40	3,44 (F2_U7)	0,04 (1,0%)
F035, Vossemeerdijk	1/2000, 300°	2,90	2,96 (F2_U5)	0,06 (2,1%)
	1/4000, 300°	3,10	3,18 (F2_U7)	0,08 (2,6%)
N442 Ramsdijk	1/2000, 270°	2,88	3,00 (F2_U4)	0,12 (4,2%)
	1/4000, 270°	3,10	3,22 (F2_U6)	0,15 (4,9%)
Roggebot Zuid	1/4000, 240°	2,38	2,40 (F1_C2)	0,04 (0,8%)
Wanningeweg	1/4000, 240°	2,31	2,33 (F1_C2)	0,02 (0,8%)

De berekeningen met wind zijn gecontroleerd op de mate van doorwerking van de interne windopzet. Het 2-dimensionele beeld van de interne scheefstand komt overeen met de opgelegde windrichting. De interne windopzet berekend in WAQUA is hoger dan hetgeen eerder met Bretschneider was berekend. Op basis van Bretschneider werd een verschil in scheefstand in de bypass van west naar oost van ca. 20 cm berekend bij maatgevende condities. Uit de WAQUA berekeningen blijkt dit meer te zijn, ca. 40 cm.

Voor de WAQUA berekeningen is gecontroleerd of de eindresultaten stabiel waren. Met name de U-conditie in de methode Westphal bleek moeilijk stabiel te krijgen. Om het eindresultaat stabiel te krijgen, is de rekenduur 2x zo lang gemaakt als gebruikelijk. Gebruikelijk is een simulatieduur van 7200 minuten, nu is er gerekend met 14400 minuten. Dit is voor alle gemaakte berekeningen gehanteerd.

De modelresultaten voor de rivierkundige effectbeoordeling zijn geverifieerd door te controleren of op locaties waar geen ingreep plaats vindt, ook geen rivierkundig effect berekend wordt. De effecten die getoond worden, mogen enkel de effecten van de bypass zijn. Dit blijkt te kloppen.

De berekening van de referentiesituatie is gecontroleerd met de aangeleverde berekeningsresultaten van deze referentiesituatie. Deze komen met elkaar overeen.



Afvoer bij Lobith [m³/s]	Referentie			Inrichtingsplan						
				Fase 1		Fase 2				Fase 3
	Geen ZBIJ	Met ZBIJ	Met ZBIJ en peilopzet	Geen ZBIJ	Met ZBIJ	Geen ZBIJ, Geen OW	Geen ZBIJ interventie-niveau	Met ZBIJ Storm: Inlaat dicht	Met ZBIJ Storm: Inlaat open	Met ZBIJ en peilopzet 23 cm
2.000	REF_2k	REF_ZBIJ_2k			F1_b_2k			F2ZB_b_2k		
4.000	REF_4k	REF_ZBIJ_4k			F1_b_4k			F2ZB_b_4k		
6.000	REF_6k	REF_ZBIJ_6k			F1_b_6k			F2ZB_b_6k		
8.000	REF_8k	REF_ZBIJ_8k			F1_b_8k			F2ZB_b_8k		
10.000	REF_10k	REF_ZBIJ_10k			F1_b_10k			F2ZB_b_10k		
16.000	REF_16k	REF_ZBIJ_16k	REF_ZBPL_16k		F1_b_16k			F2ZB_b_16k		F3ZB_b_16k_PL
17.300			REF_ZBPL_17-3k							F3ZB_b_17-3_PL
18.000			REF_ZBPL_18k							F3ZB_b_18k_PL
Westphal Q	REF_Q	REF_QZBIJ	REF_QZBPL	F1_b_Q		F2_b_Q	F2inv_b_Q	F2ZB_b_Q		F3ZB_b_Q_PL
Westphal U	REF_U	REF_UZBIJ		F1_b_U		F2_b_U	F2inv_b_U	F2ZB_b_U44	F2ZB_b_U15	
Zie tabel 4.3				F1_C1				F2_Q1		
Zie tabel 4.3				F1_C2				F2_Q2		
Zie tabel 4.3				F1_C3				F2_Q3		
Zie tabel 4.3								F2_Q4		
Zie tabel 4.3								F2_Q5		
Zie tabel 4.3								F2_Q6		
Zie tabel 4.3								F2_Q7		
Zie tabel 4.3								F2_Q8		
Zie tabel 4.3								F2_Q9		
Zie tabel 4.3								F2_U1	F2_U1_open	
Zie tabel 4.3								F2_U2	F2_U2_open	
Zie tabel 4.3								F2_U3	F2_U3_open	
Zie tabel 4.3								F2_U4	F2_U4_open	
Zie tabel 4.3								F2_U5	F2_U5_open	
Zie tabel 4.3								F2_U6	F2_U6_open	
Zie tabel 4.3								F2_U7	F2_U7_open	

Tabel B.2: Id.-codes van de uitgevoerde WAQUA berekeningen voor elke fase en situatie per afvoer bij Lobith

Tabel B.3: Id.-codes van de SWAN berekeningen voor de relevante fases en situaties

Model	Afvoer bij Lobith [m³/s]	referentie		Inrichtingsplan					
		Geen ZBIJ	Met ZBIJ	Fase 1	Fase 2				
				Geen ZBIJ	Geen ZBIJ, Geen OW	Met ZBIJ en OW Storm: Inlaat dicht	Met ZBIJ en OW na 40jr	Met ZBIJ en peilopzet 23 cm	Met ZBIJ en OW Storm: Inlaat open
SWAN	Zie tabel 4.3			F1_C1		F2_Q4			F2_U2_open
SWAN	Zie tabel 4.3			F1_C2		F2_Q5			F2_U3_open
SWAN	Zie tabel 4.3			F1_C3		F2_Q6			F2_U4_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_Q7			F2_U5_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_Q8			F2_U6_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_Q9			F2_U7_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_U2			F2_U8_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_U3			F2_U9_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_U4			F2_U10_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_U5			F2_U11_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_U6			F2_U12_open
SWAN	Zie tabel 4.3					F2_U7			F2_U13_open
SWAN	Zie tabel 4.3								F2_U14_open
SWAN	Zie tabel 4.3								F2_U15_open

Tabel B.4: Id.-codes van de Baseline schematisaties (volledig model en maatregelen) voor elke fase en situatie

Model	Referentie		Inrichtingsplan						
	Geen ZBIJ	Met ZBIJ	Fase 1 Geen ZBIJ	Fase 1 Met ZBIJ	Fase 2 Zonder ZBIJ en OW Streefbeeld-niveau vegetatie bypass	Zonder ZBIJ en OW Interventie-waardeniveau vegetatie bypass	Met ZBIJ en OW Storm: Inlaat geheel open (NAP+0,5m)	Met ZBIJ en OW Storm: Inlaat standaard opstelling (NAP+1,5 m)	Fase 3 Met ZBIJ en OW en peilopzet 23 cm
Baseline Volledig (29-5-2012)	Simona_rijn_pkb_3_4	REF_ZBIJ	ij_kamp_f1_b	ij_kamp_f1zb_b	ijs_kamp_f2_b	ij_kamp_f2inv_b	ij_kamp_f2zb_b	ij_kamp_f2zb_b15	ij_kamp_f2zb_b
Baseline Maatregel inrichtings plan (29-5-2012)		M_B2009_05 M_zblJ_VKA 97_a2_13	ijs_kamp_owf1b ijs_kamp_byf1b	ijs_kamp_owf1b ijs_kamp_byf1b M_B2009_05 M_zblJ_VKA 97_a2_13	ljs_kamp_byf2b	ijs_kamp_byf2binv ijs_kamp_byf2b M_B2009_05 M_zblJ_VKA97_a2_13	ijs_kamp_owf2b ijs_kamp_byf2b M_B2009_05 M_zblJ_VKA97_a2_13	ijs_kamp_owf2b ijs_kamp_byf2b ijs_kamp_inl15 M_B2009_05 M_zblJ_VKA 97_a2_13	ijs_kamp_owf2b ijs_kamp_byf2b M_B2009_05 M_zblJ_VKA97_a2_13

Tabel B.5: Kenmerken en randvoorwaarden WAQUA t.b.v. de bepaling van de ontwerpbelastingen

Kenmerk Berekening Waqua	Kenmerk volledig model Baseline	Waqua schematisatie	Fase	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Lateraal bestand (WAQUA)	Bypass Open/Dicht	Afvoer ijsselkop [m³/s]	Waterstand benedenstroomse rand WAQUA [m+NAP] of qh relatie
F1_C1	ijs_kampen_F1	F1	F1	210	33.9	nvt	Dicht	900	2.64
F1_C2	ijs_kampen_F1	F1	F1	240	33.9	nvt	Dicht	900	2.64
F1_C3	ijs_kampen_F1	F1	F1	270	38.47	nvt	Dicht	900	2.64
F2_U1	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	nvt	nvt	nvt	Dicht	900	2.95
F2_U2	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	32.75	nvt	Dicht	900	2.63
F2_U3	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	32.75	nvt	Dicht	900	3.01
F2_U4	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	270	36.38	nvt	Dicht	900	2.46
F2_U5	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	32.75	nvt	Dicht	900	2.46
F2_U6	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	270	37.6	nvt	Dicht	900	2.64
F2_U7	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	33.85	nvt	Dicht	900	2.64
F2_Q1	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	1
F2_Q2	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	1.3
F2_Q3	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	2
F2_Q4	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	20.5	q_lateraal-stat.t1250	Open	2461	0.71
F2_Q5	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	22	q_lateraal-stat.t1250	Open	2136	0.87
F2_Q6	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	25	q_lateraal-stat.pkb	Open	1850	1.28
F2_Q7	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	27.53	q_lateraal-stat.pkb	Open	1512	1.64
F2_Q8	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	30.26	q_lateraal-migr_geul.lat	Open	1160	2.05
F2_Q9	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ	F2	300	19	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	0.53
F2_U1_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	nvt	nvt	nvt	Open	900	2.95
F2_U2_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	300	32.75	nvt	Open	900	2.63
F2_U3_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	300	32.75	nvt	Open	900	3.01
F2_U4_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	270	36.38	nvt	Open	900	2.46

Kenmerk Berekening Waqua	Kenmerk volledig model Baseline	Waqua schematisatie	Fase	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Lateraal bestand (WAQUA)	Bypass Open/Dicht	Afvoer ijsselkop [m³/s]	Waterstand benedenstroomse rand WAQUA [m+NAP] of qh relatie
F2_U5_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	300	32.75	nvt	Open	900	2.46
F2_U6_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	270	37.6	nvt	Open	900	2.64
F2_U7_open	ijs_kampen_F2ZBIJ	F2ZBIJ_open	F2	300	33.85	nvt	Open	900	2.64

Tabel B.6: Kenmerken en randvoorwaarden WAQUA t.b.v de effectbeoordeling Fase 1

Kenmerk Berekening Waqua	Kenmerk volledig model Baseline	Waqua schematisatie	Fase	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Lateraal bestand (WAQUA)	Bypass Open/Dicht	Afvoer ijsselkop [m³/s]	Waterstand benedenstroomse rand WAQUA [m+NAP] of qh relatie
F1ZB_b_2k	ij_kamp_F1ZB_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal_ODW.2k	nvt	282	qh
F1ZB_b_4k	ij_kamp_F1ZB_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal_ODW.4k	nvt	567	qh
F1ZB_b_6k	ij_kamp_F1ZB_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal_ODW.6k	nvt	841	qh
F1ZB_b_8k	ij_kamp_F1ZB_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal_ODW.8k	nvt	1147	qh
F1ZB_b_10k	ij_kamp_F1ZB_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal-stat.pkb	nvt	1481	qh
F1ZB_b_16k	ij_kamp_F1ZB_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250_ont220_F1	Onttrekking van 220 m³/s	2461	qh
F1_b_U	ij_kamp_F1_b	F1_b	F1	nvt	nvt	nvt	Dicht	900	2.95
F2_b_Q	ij_kamp_F1_b	F1_b	F1	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Onttrekking van 220 m³/s	2556	1
REF_2k	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	282	qh
REF_4k	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	567	qh
REF_6k	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	841	qh
REF_8k	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	1147	qh
REF_10k	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.pkb	nvt	1481	qh
REF_16k	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2461	qh

Tabel B.7: Kenmerken en randvoorwaarden WAQUA t.b.v de effectbeoordeling Fase 2

Kenmerk Berekening Waqua	Kenmerk volledig model Baseline	Waqua schematisatie	Fase	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Lateraal bestand (WAQUA)	Bypass Open/Dicht	Afvoer ijsselekop [m³/s]	Waterstand benedenstroomse rand WAQUA [m+NAP] of qh relatie
F2_U	ij_kamp_F2_b	F2_b	F2	nvt	nvt	Nvt	Dicht	900	2.95
F2_Q	ij_kamp_F2_b	F2_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	1
F2inv_U	ij_kamp_f2inv_b	F2inv_b	F2	nvt	nvt	Nvt	Dicht	900	2.95
F2inv_Q	ij_kamp_f2inv_b	F2inv_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	1
F2_2k	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal_ODW_MIGR.2k	Open	282	qh
F2_4k	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal_ODW_MIGR.4k	Open	567	qh
F2_6k	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal_ODW_MIGR.6k	Open	841	qh
F2_8k	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal_ODW_MIGR.8k	Open	1147	qh
F2_10k	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.pkb_MIGR	Open	1481	qh
F2_16k	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2461	qh
F2ZB_b_U44	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	nvt	Dicht	900	2.95
F2ZB_b_U15	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	nvt	standaard	900	2.95
F2ZB_b_Q	ij_kamp_F2ZB_b	F2ZB_b	F2	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	1
REF_U	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	900	2.95
REF_Q	pkb_34	ref	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2556	1
REF_ZBIJ_2k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	282	qh
REF_ZBIJ_4k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	567	qh
REF_ZBIJ_6k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	841	qh
REF_ZBIJ_8k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	1147	qh
REF_ZBIJ_10k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.pkb	nvt	1481	qh
REF_ZBIJ_16k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2461	qh
REF_ZBIJ_U	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	nvt	nvt	900	2.95
REF_ZBIJ_Q	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2556	1

Tabel B.8: Kenmerken en randvoorwaarden WAQUA t.b.v. onderzoek robuustheid

Kenmerk Berekening Waqua	Kenmerk volledig model Baseline	Waqua schematisatie	Fase	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Lateraal bestand (WAQUA)	Bypass Open/Dicht	Afvoer ijsselkop [m³/s]	Waterstand benedenstroomse rand WAQUA [m+NAP] of qh relatie
F3ZB_b_Q_PL	ij_kamp_f2zb_b	F3ZB_b	F3	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2556	1.23
F3ZB_b_16k_PL	ij_kamp_f2zb_b	F3ZB_b	F3	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2461	1.23
F3ZB_b_17-3_PL	ij_kamp_f2zb_b	F3ZB_b	F3	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2665	1.23
F3ZB_b_18k_PL	ij_kamp_f2zb_b	F3ZB_b	F3	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	Open	2765	1.23
F3_UZBPL	ij_kamp_f2zb_b	F3ZB_b	F3	nvt	nvt	nvt	Dicht	900	3.08
REF_ZBPL_16k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2461	1.23
REF_ZBPL_17-3k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2665	1.23
REF_ZBPL_18k	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2765	1.23
REF_QZBPL	REF_ZBIJ	REFZB	Ref	nvt	nvt	q_lateraal-stat.t1250	nvt	2556	1.23





Tauw

Witteveen

Bos





Tauw



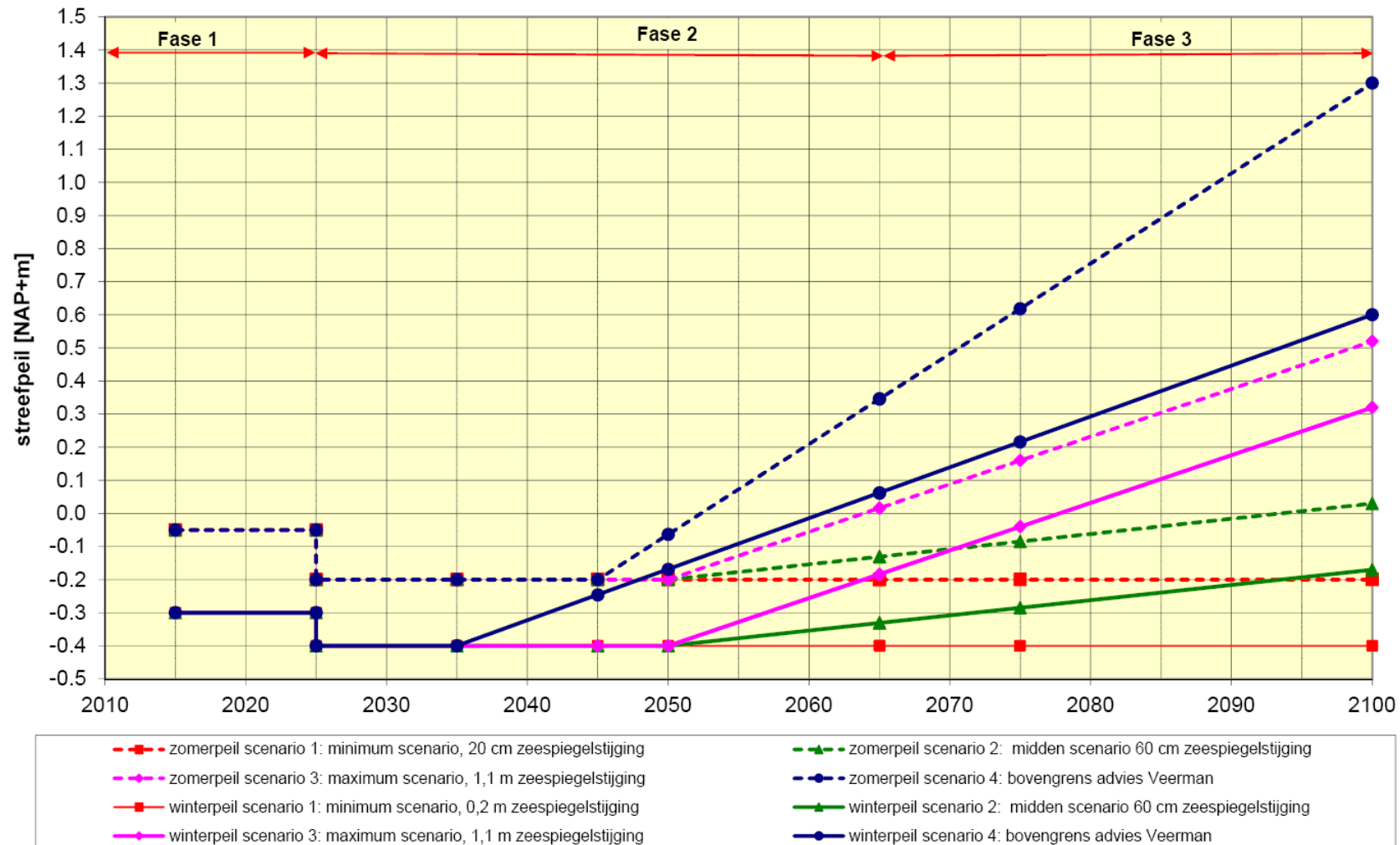
Bijlage C

Verloop streefpeilen

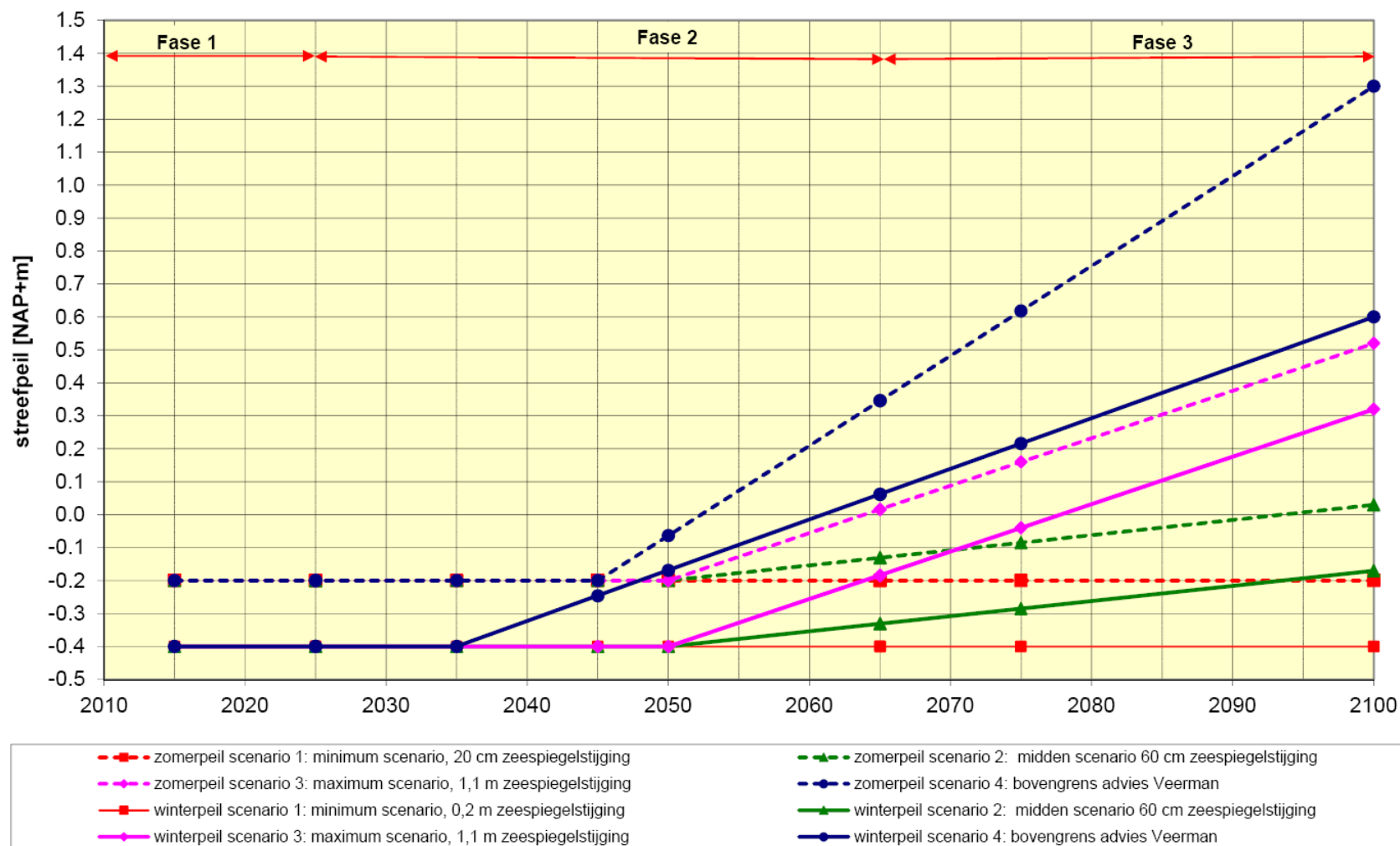


Tauw

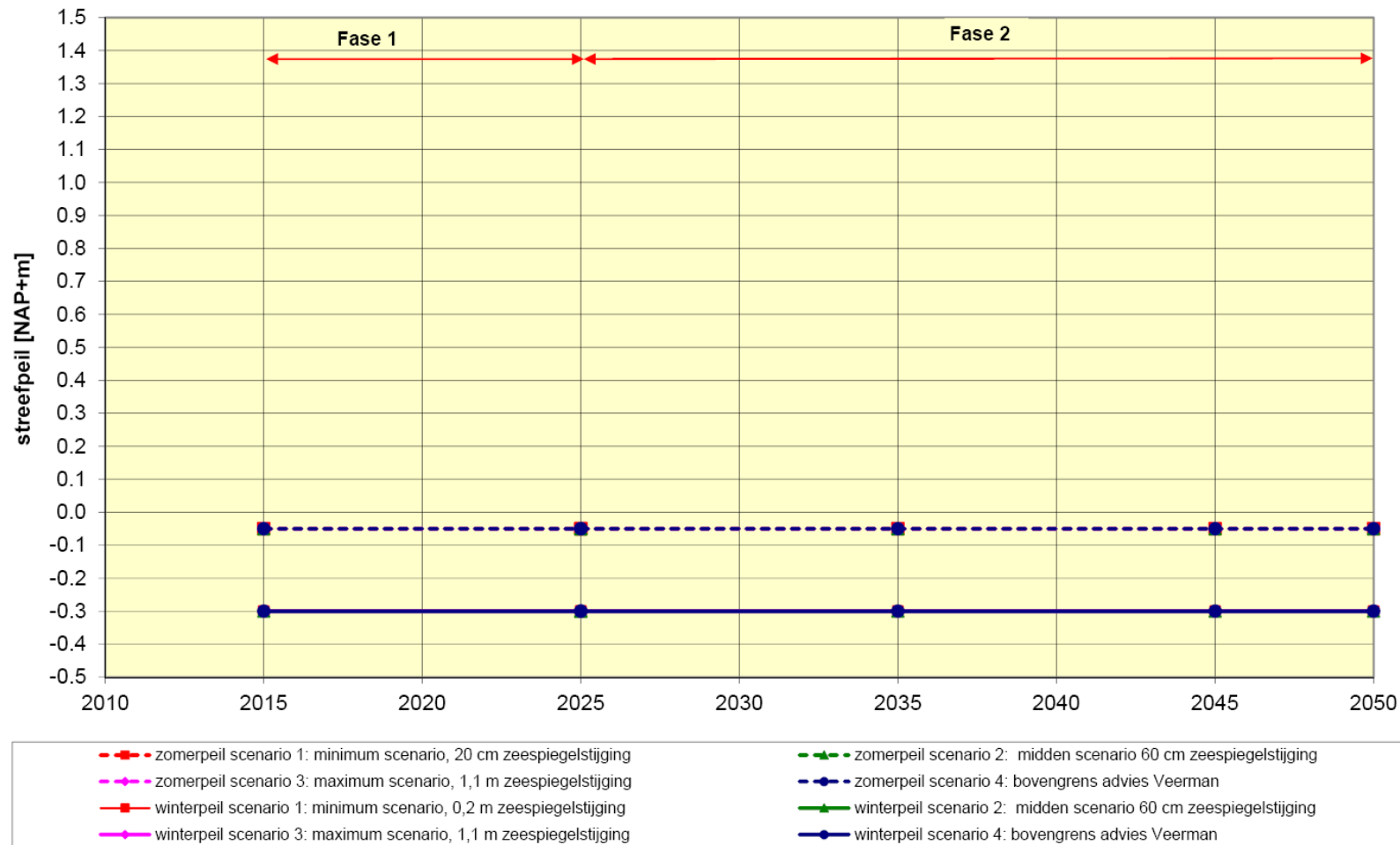




Figuur C.1: Verloop streefpeilen (winter en zomer) in de bypass van 2015 tot 2100 volgens de 4 scenario's (paragraaf 5.3)



Figuur C.2: Verloop streefpeilen (winter en zomer) in het Vossemeer van 2015 tot 2100 volgens de 4 scenario's (paragraaf 5.3).



Figuur C.3: Verloop streefpeilen (winter en zomer) in het Drontermeer van 2015 tot 2050 volgens de 4 scenario's (paragraaf 5.3).



Tauw



Bos





Tauw

Witteveen

Bos



ROYAL HASKONING

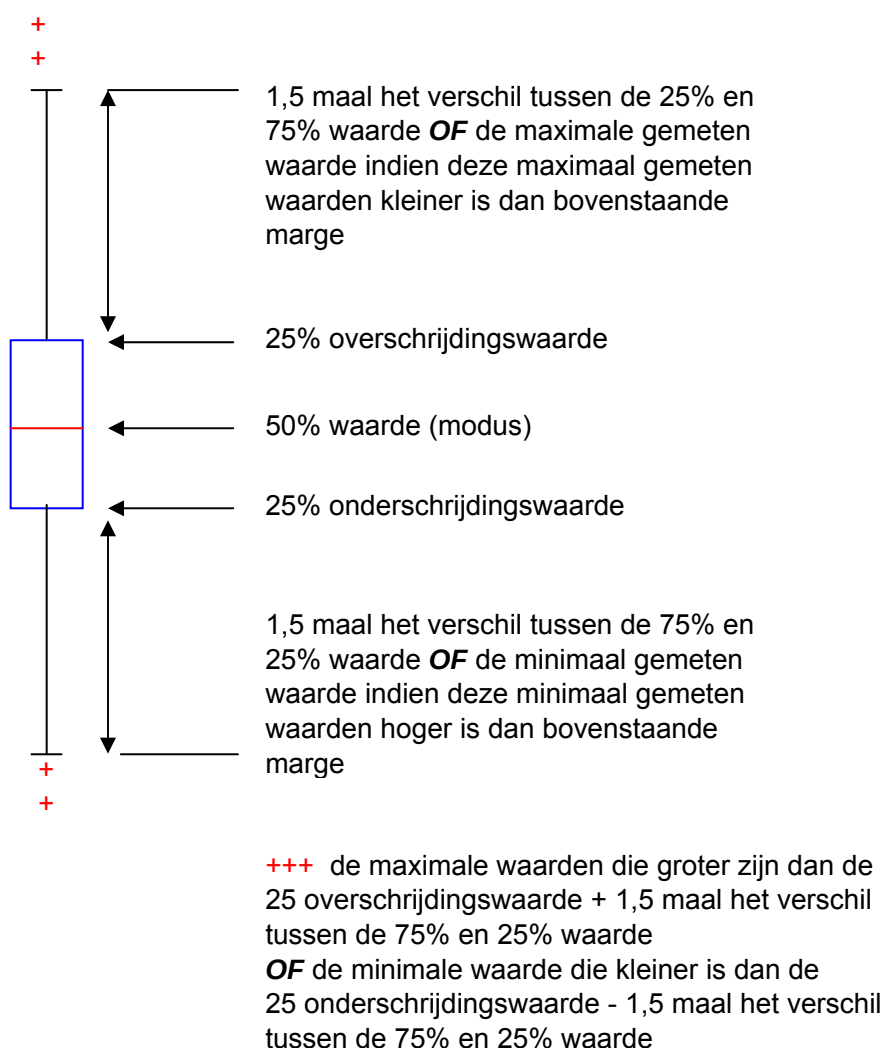
Bijlage D

Boxplots Waterstanden op basis van daggemiddelde waterstand metingen



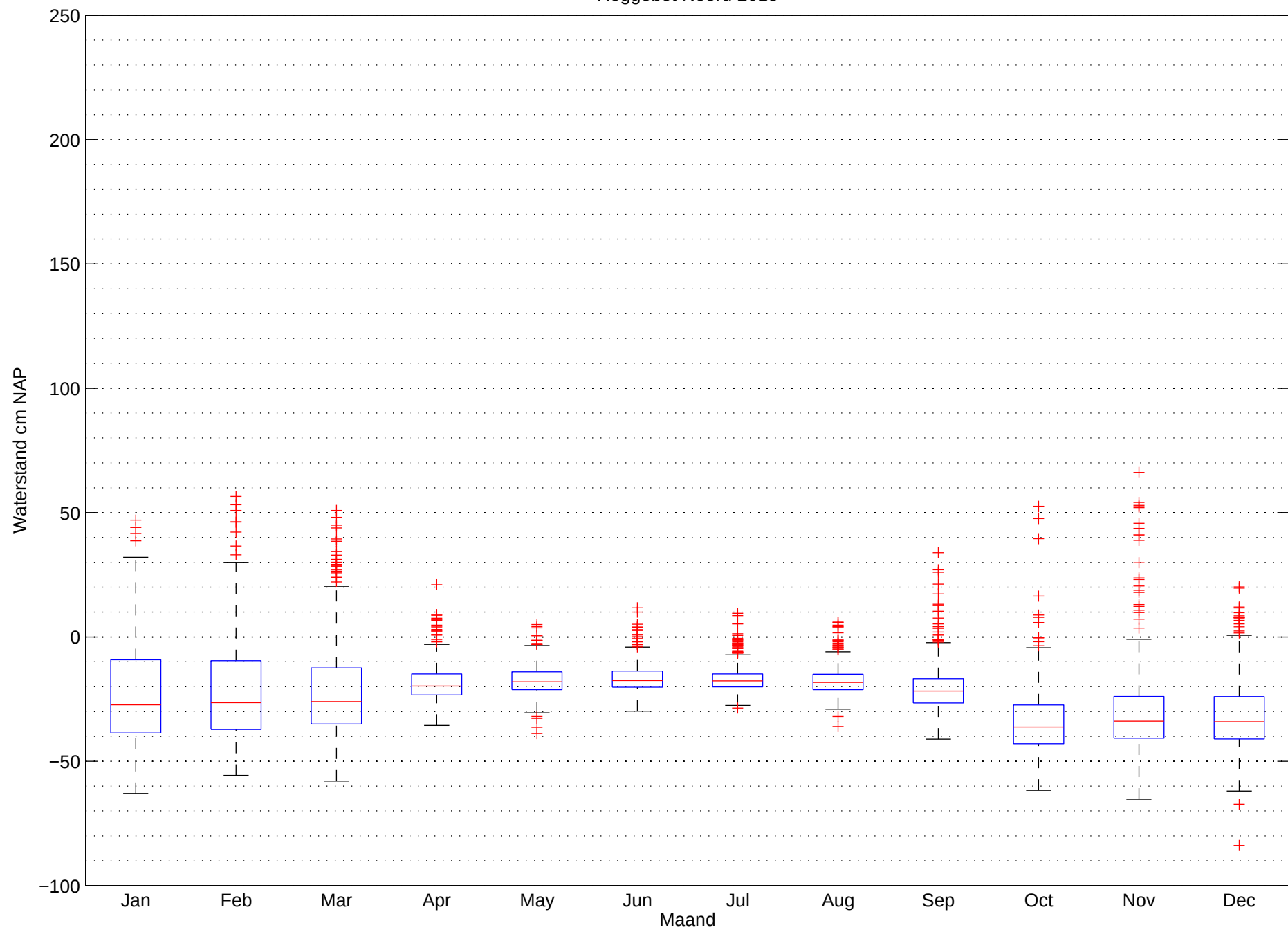
In deze bijlage is een statistische verwerking van de daggemiddelde waterstandmetingen bij Roggebot Noord, Roggebot Zuid en de Inlaat gegeven. Roggebot Noord is het meetpunt dat aangehouden is voor representatieve waterstanden voor fase 2. Roggebot Zuid is het meetpunt voor representatieve waterstanden voor fase 1. De boxplots tonen per maand de huidige voorkomende waterstanden.

De boxplots moeten als volgt gelezen worden:

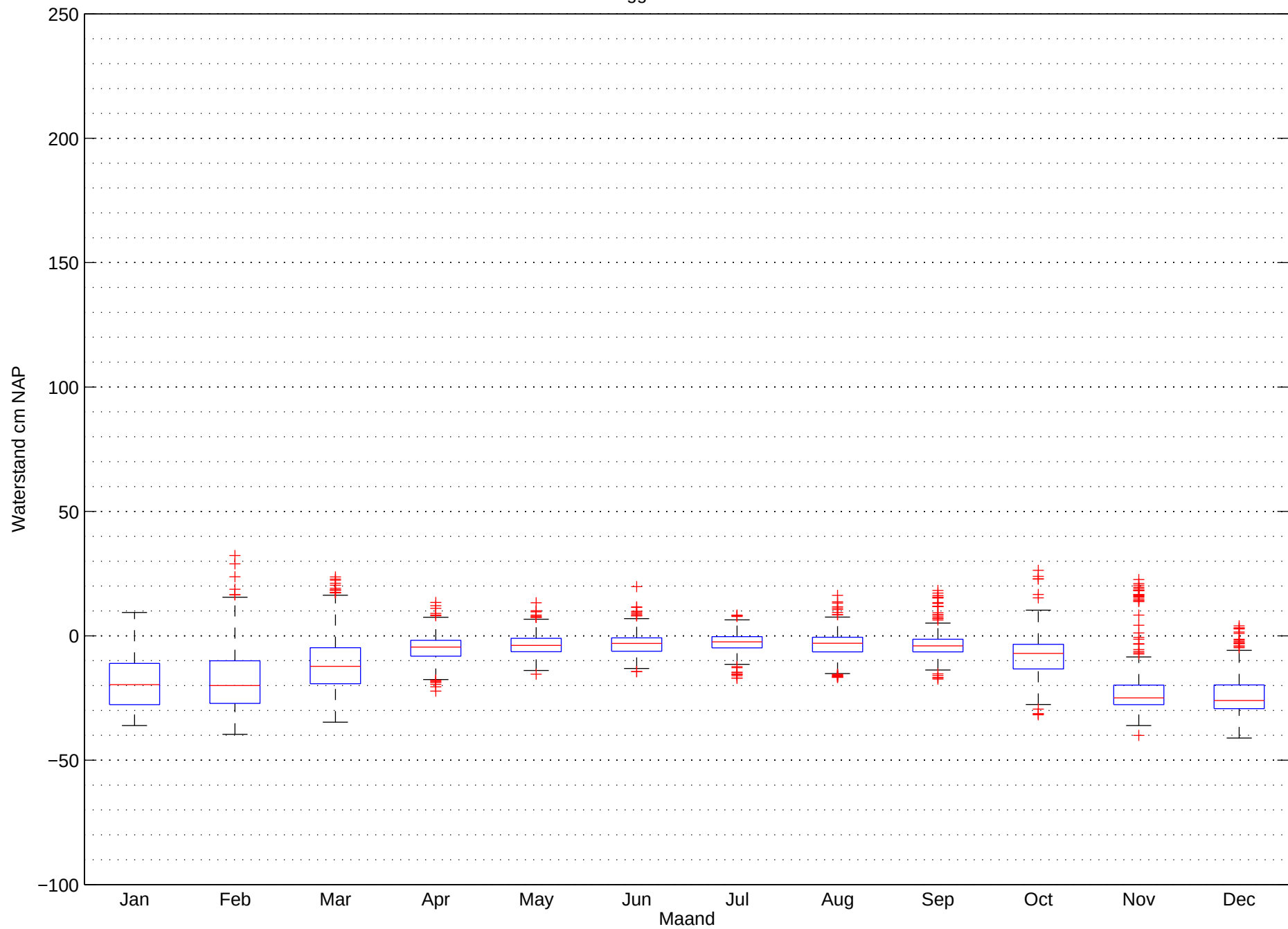




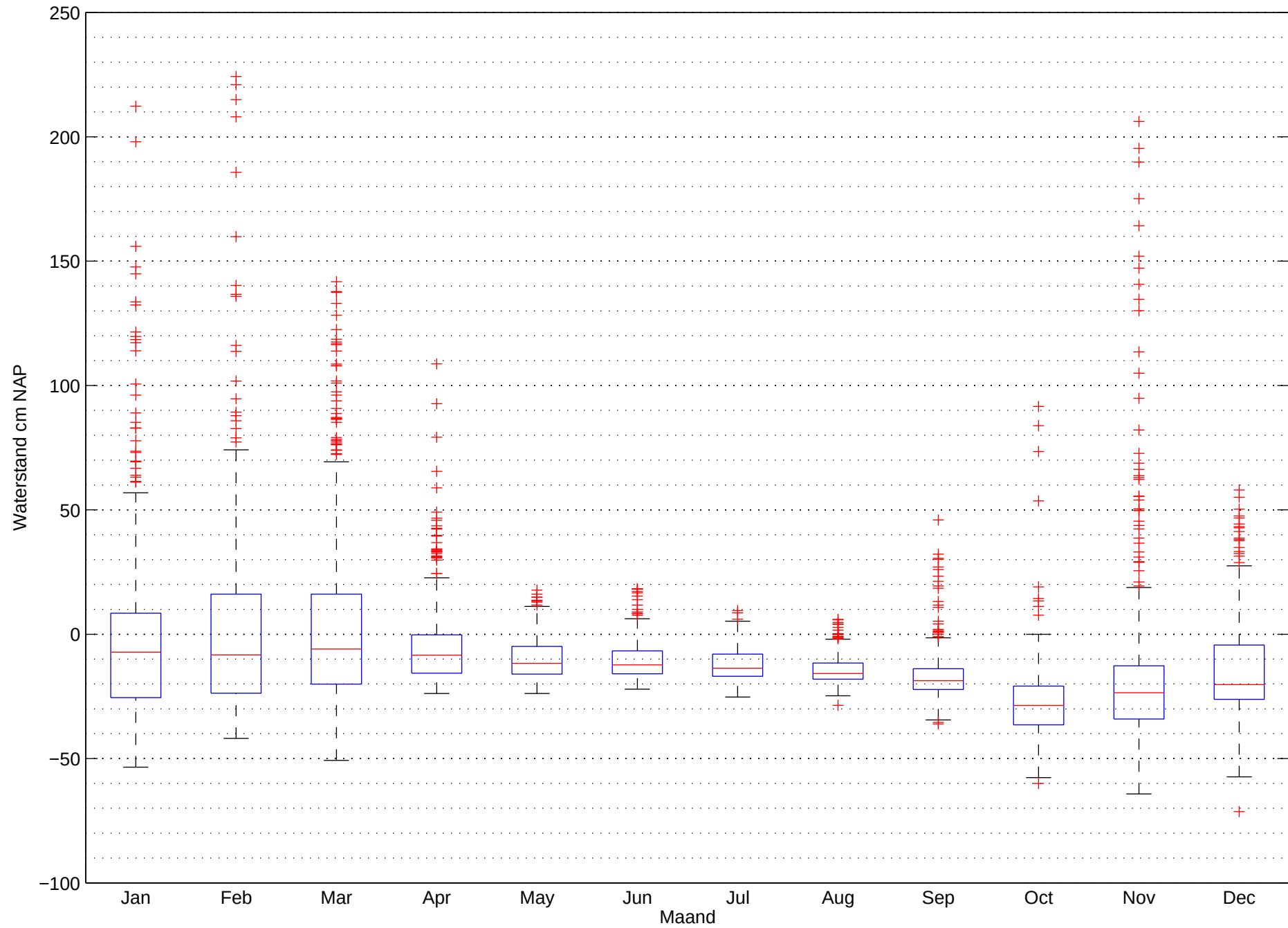
Roggebot Noord 2015



Roggebot Zuid 2015



Inlaat 2015





Tauw



Bos



Bijlage E

Boxplots Waterstanden op basis van 10 minuten waterstand metingen



Tauw



Witteveen



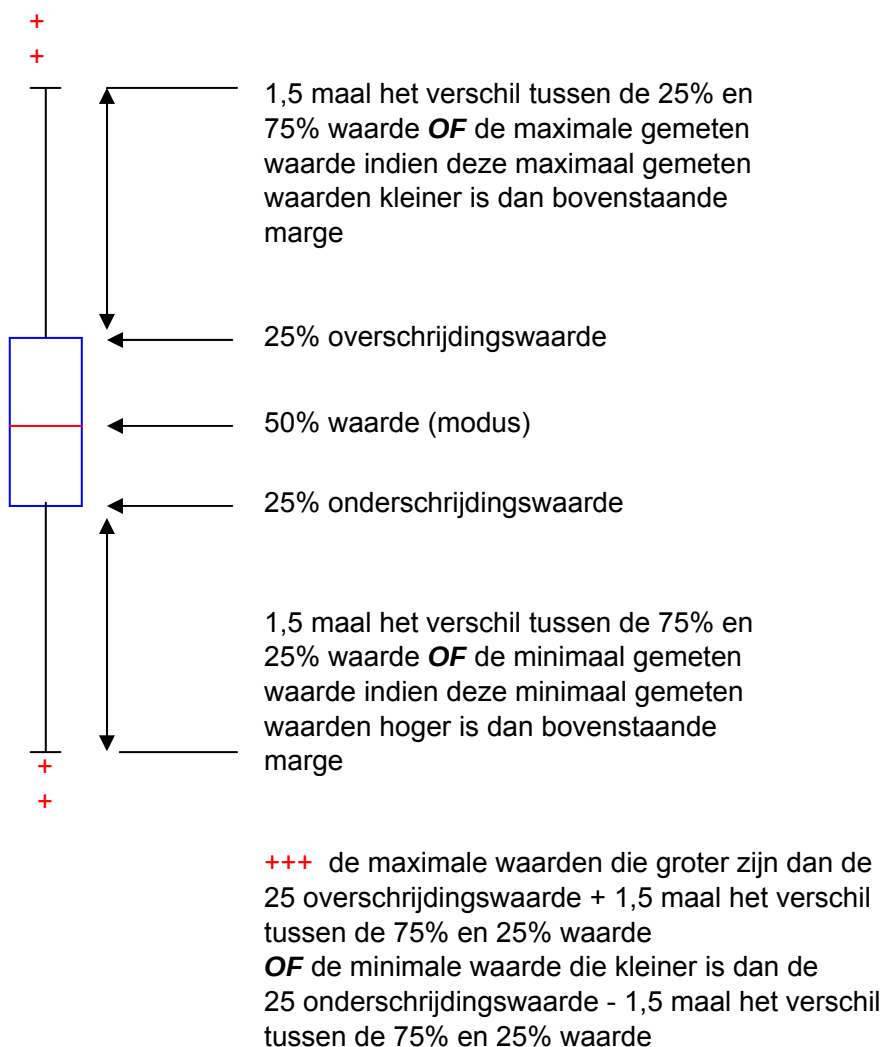
Bos



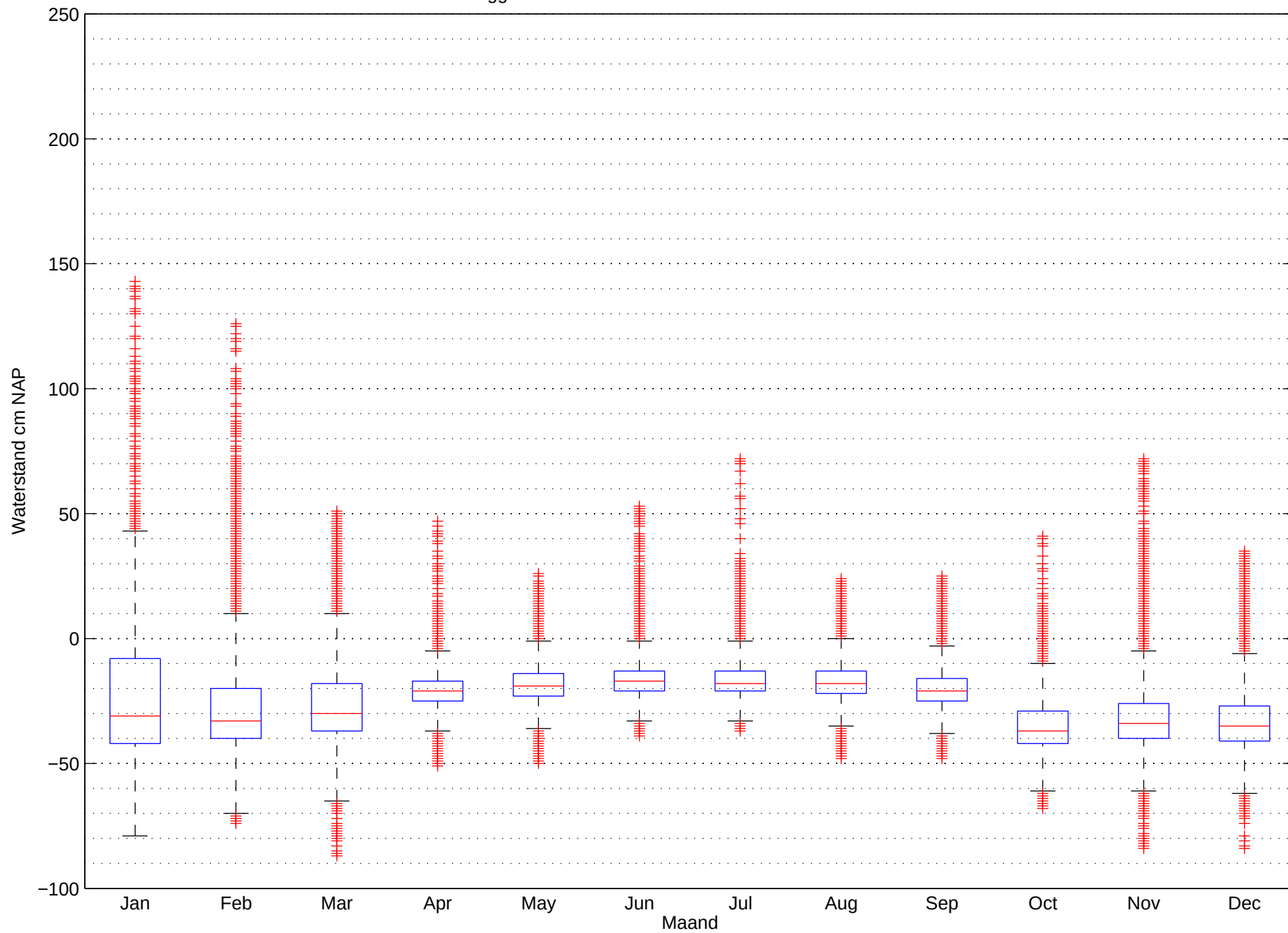
ROYAL HASKONING

In deze bijlage is een statistische verwerking van de waterstandmetingen per 10 minuten bij Roggebot Noord, Roggebot Zuid en de Inlaat gegeven. Roggebot Noord is het meetpunt dat aangehouden is voor representatieve waterstanden voor fase 2. Roggebot Zuid is het meetpunt voor representatieve waterstanden voor fase 1. De boxplots tonen per maand de voorkomende waterstanden voor de huidige situatie.

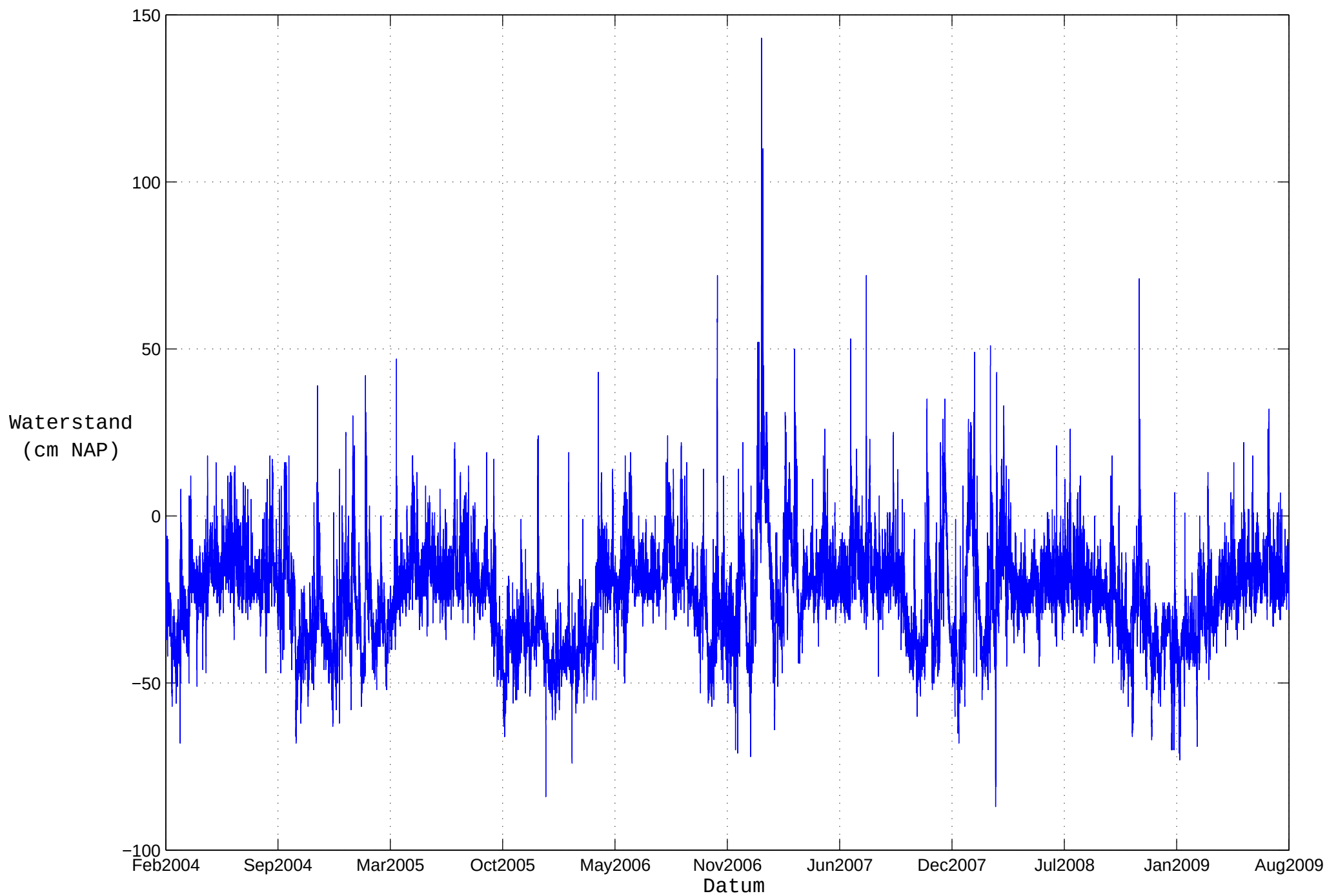
De boxplots moeten als volgt gelezen worden:



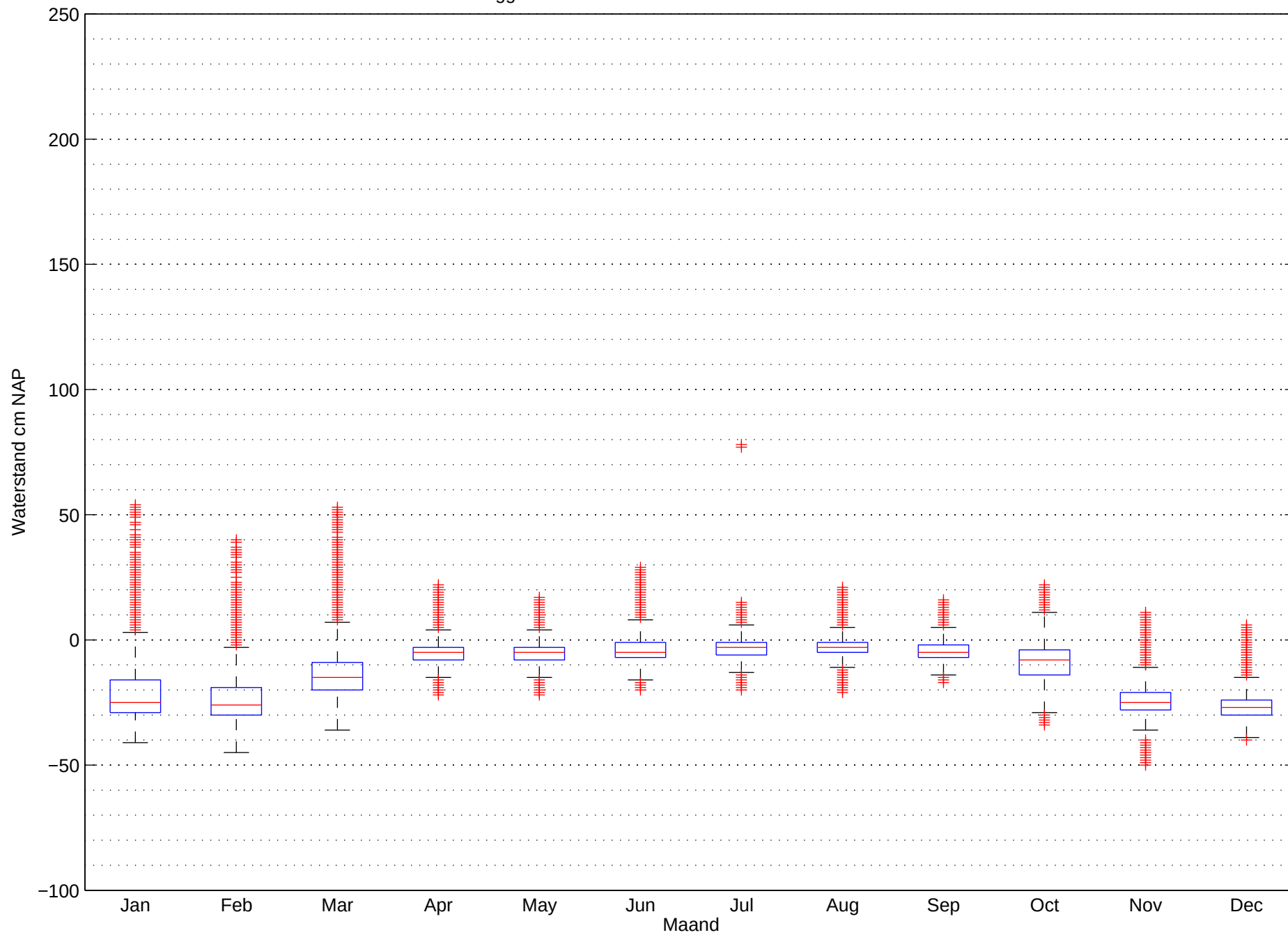
Roggebot Noord – 10 min waterstandsdata 2004–2009



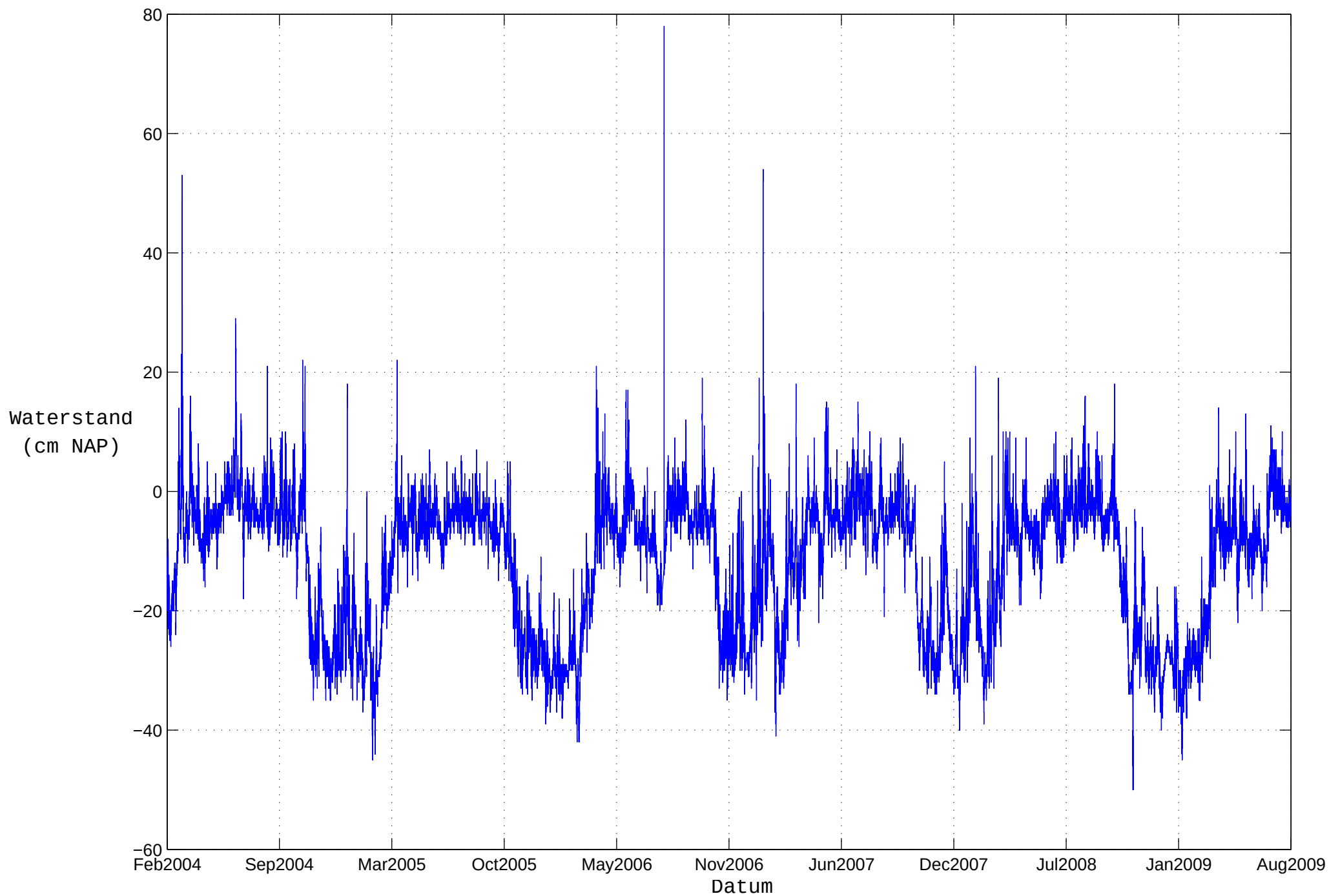
Roggebot Noord, Tijdserie op basis van 10 min waterstandsdata 2004-2009



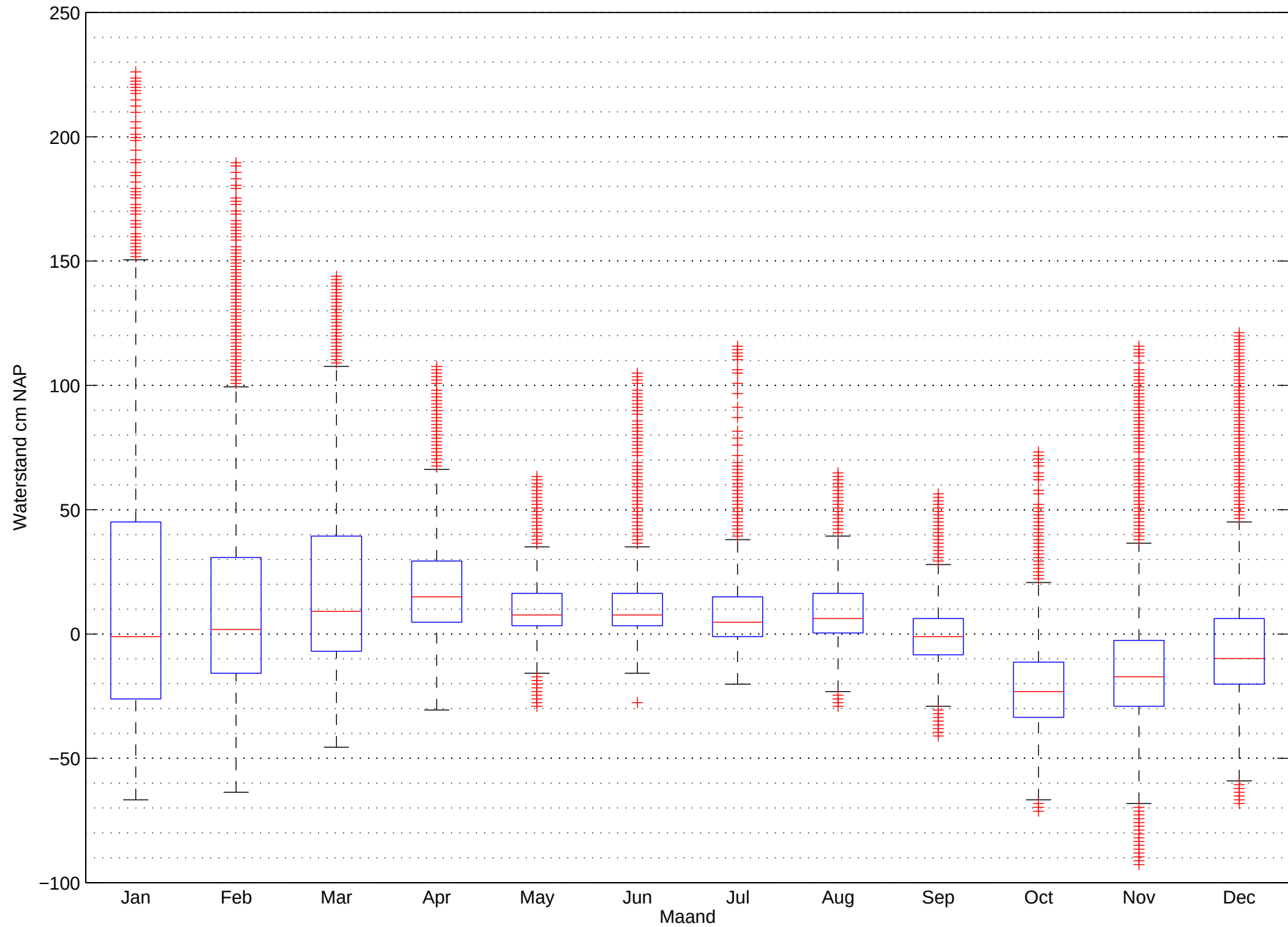
Roggebot Zuid – 10 min waterstandsdata 2004–2009



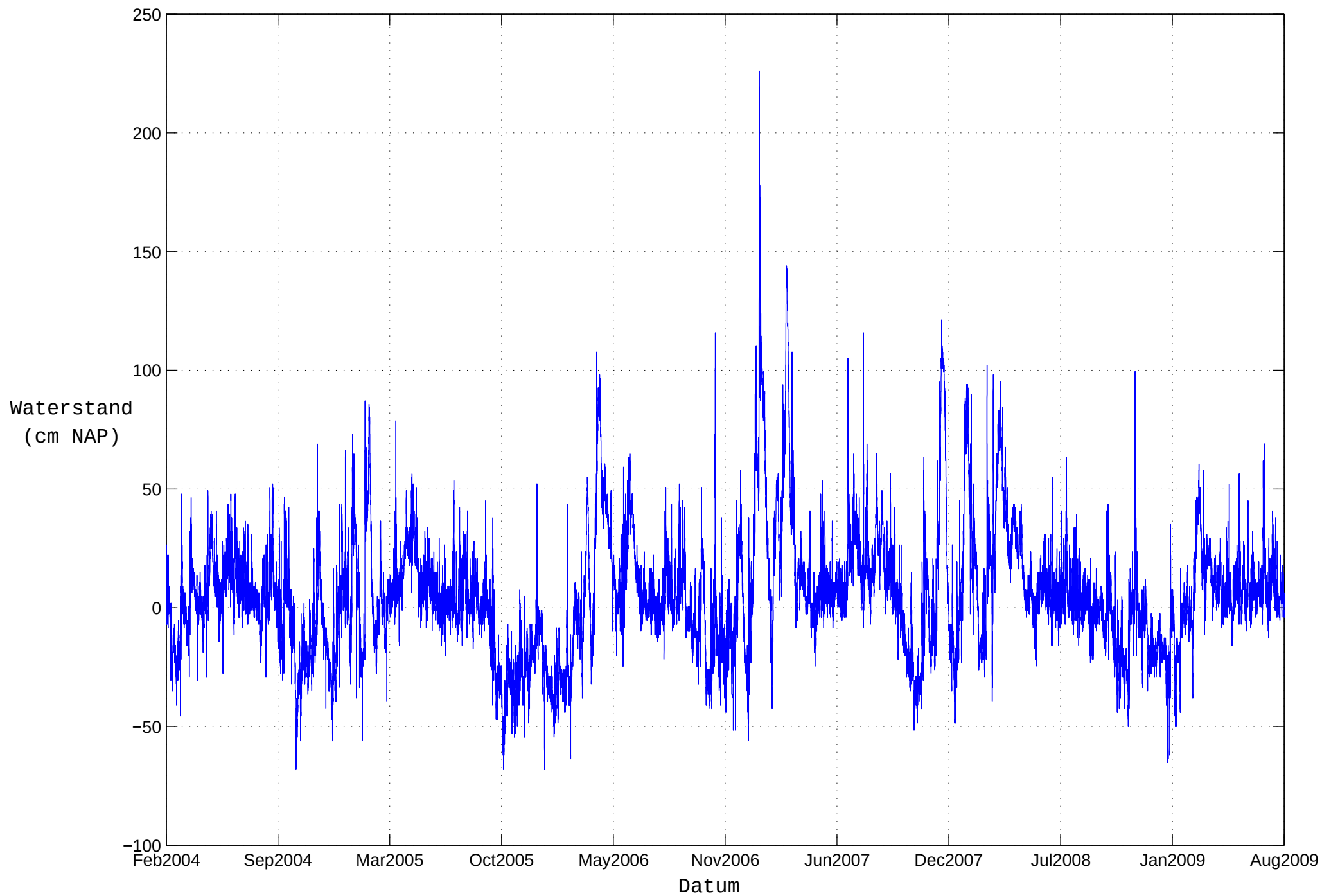
Roggebot Zuid, Tijdserie op basis van 10 min waterstandsdata 2004-2009



Inlaat – 10 min waterstandsdata 2004–2009



Inlaat, Tijdserie op basis van 10 min waterstandsdata 2004-2009





Tauw



Bos



ROYAL HASKONING

Bijlage F

Boxplots Waterstandsverschillen per uur op basis van 10-minuten waterstand metingen



Tauw

Witteveen

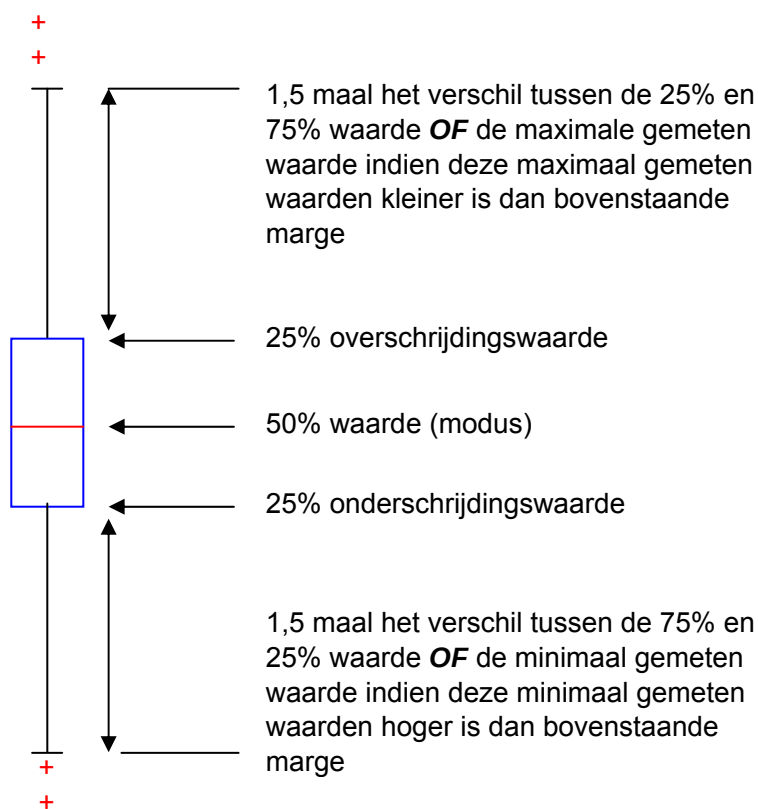
Bos



In deze bijlage is een statistische verwerking van de waterstandmetingen per 10 minuten bij Roggebot Noord, Roggebot Zuid en de Inlaat gegeven. Roggebot Noord is het meetpunt dat aangehouden is voor representatieve waterstanden voor fase 2. Roggebot Zuid is het meetpunt voor representatieve waterstanden voor fase 1. Getoond is wat het maximale waterstandsverschil per uur is. Oftewel wat is het verschil tussen de minimale en maximale waterstand per uur op basis van de gemeten waterstanden per 10 minuten. De grafieken geven een beeld van de te verwachte waterstandschommelingen in een uur tijd en welke schommelingen extreem zijn.

De boxplots tonen per maand de voorkomende schommelingen voor de huidige situatie.

De boxplots moeten als volgt gelezen worden:



+++ de maximale waarden die groter zijn dan de 25 overschrijdingswaarde + 1,5 maal het verschil tussen de 75% en 25% waarde
OF de minimale waarde die kleiner is dan de 25 onderschrijdingswaarde - 1,5 maal het verschil tussen de 75% en 25% waarde



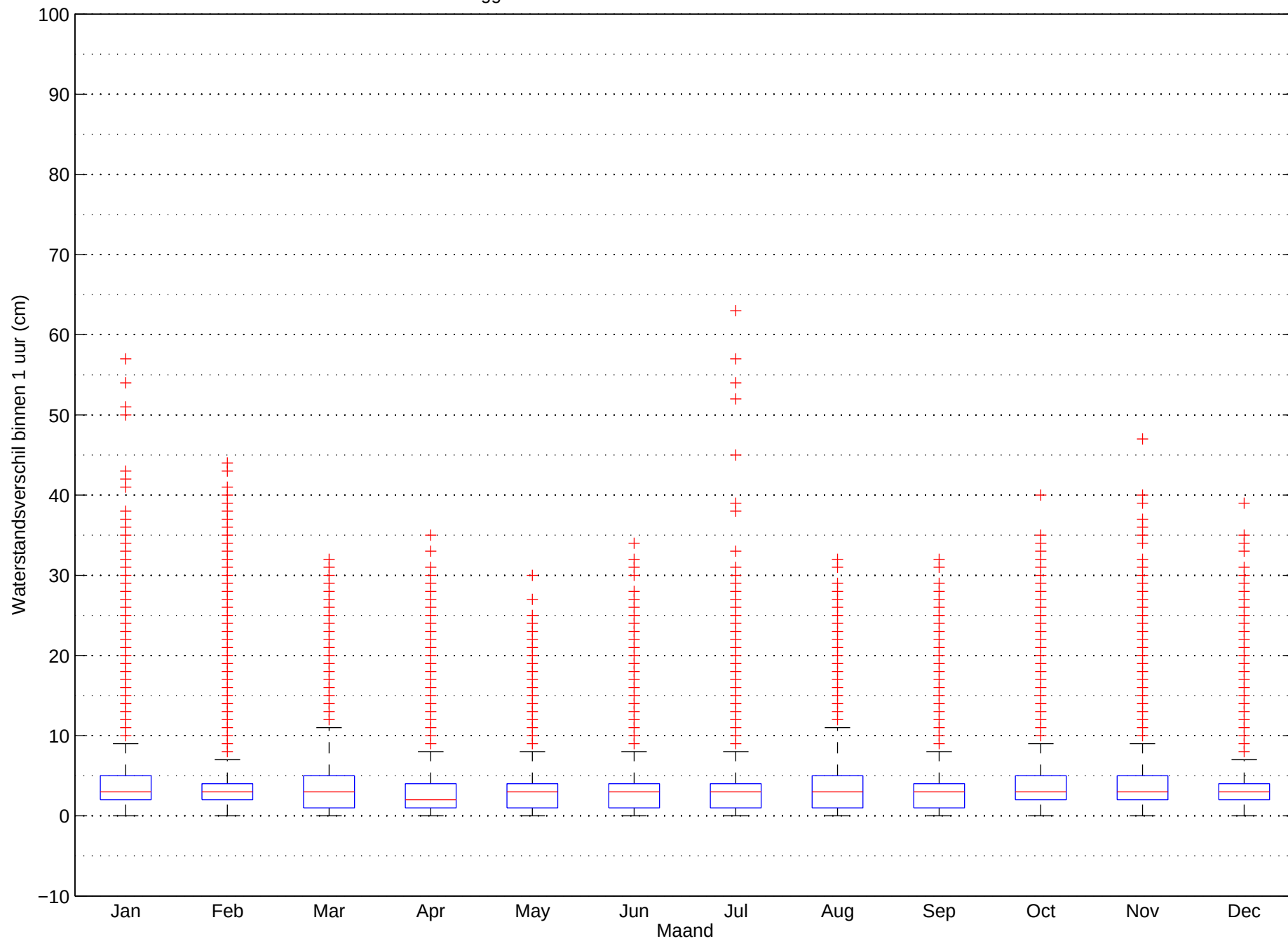
Tauw



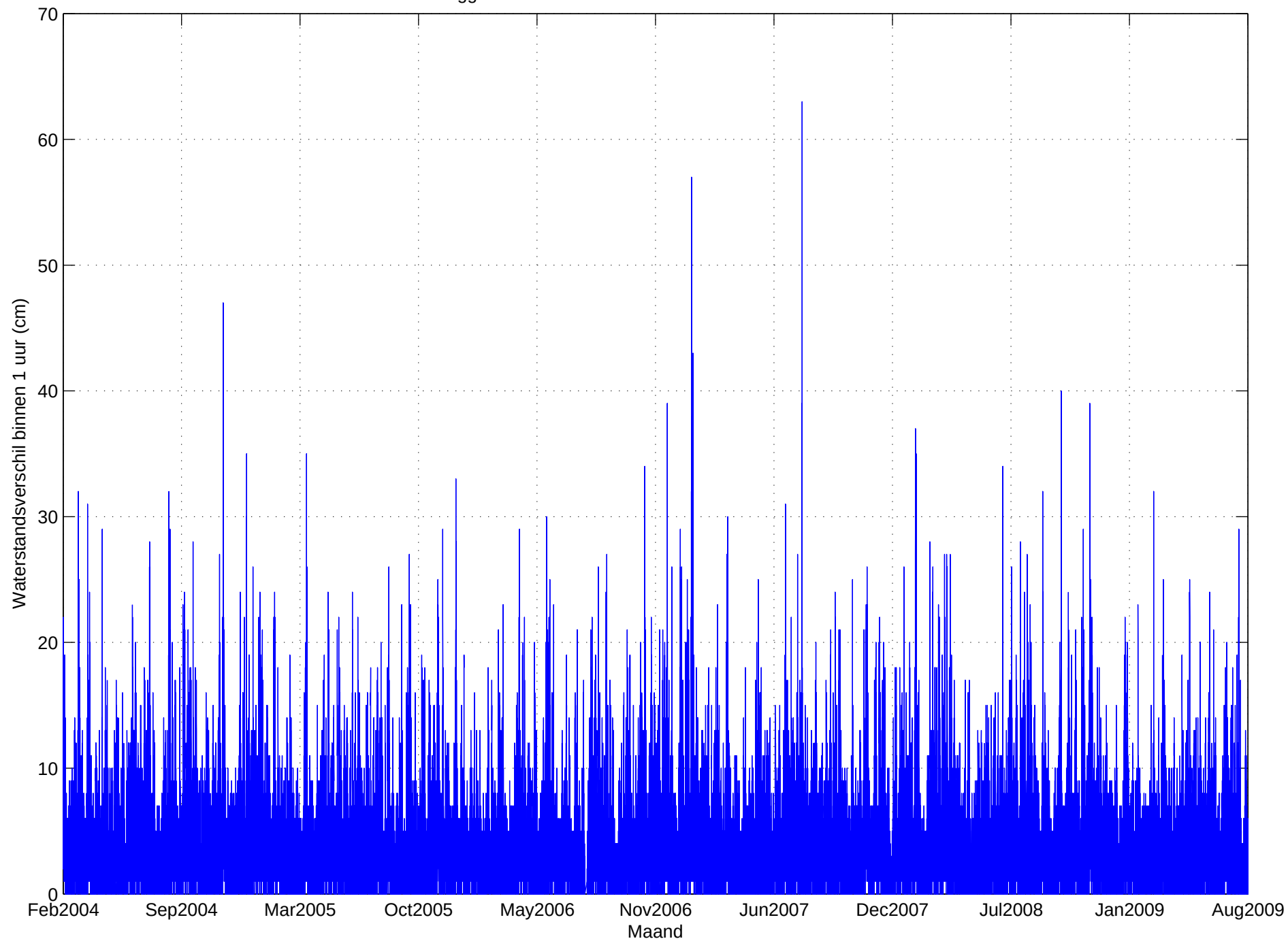
Bos



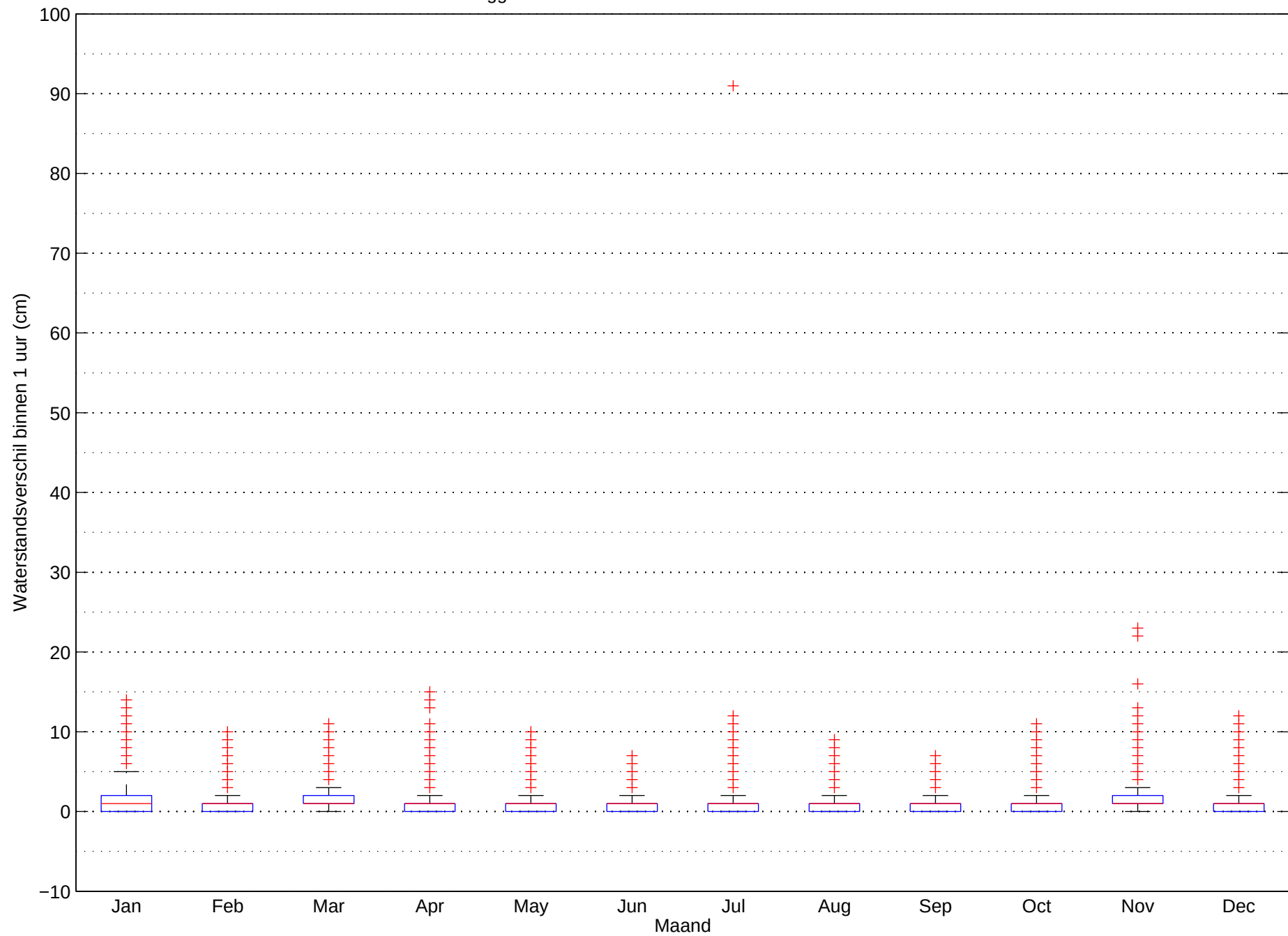
Roggebot Noord – 10 min waterstandsdata 2004–2009



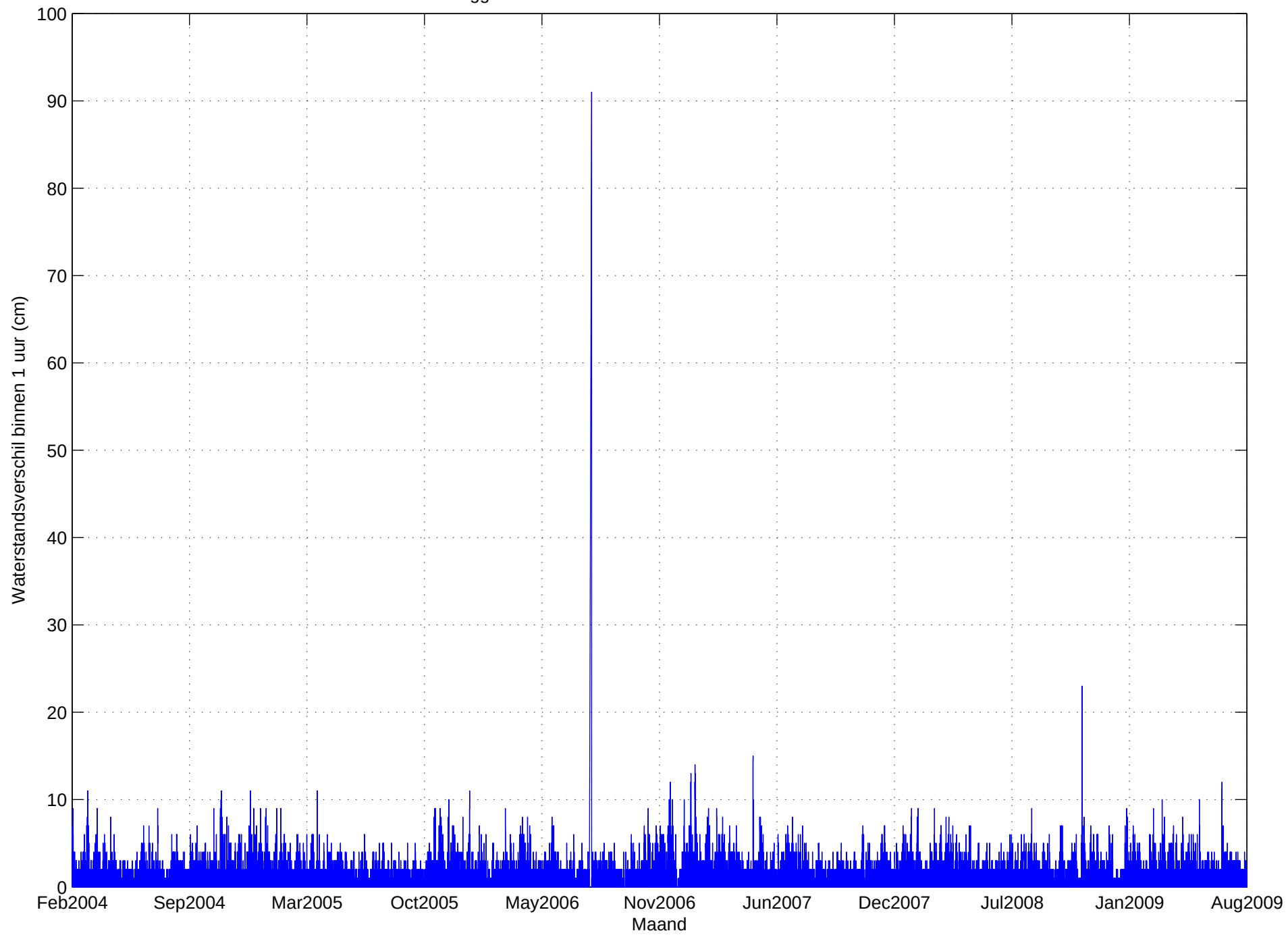
Roggebot Noord – 10 min waterstandsdata 2004–2009



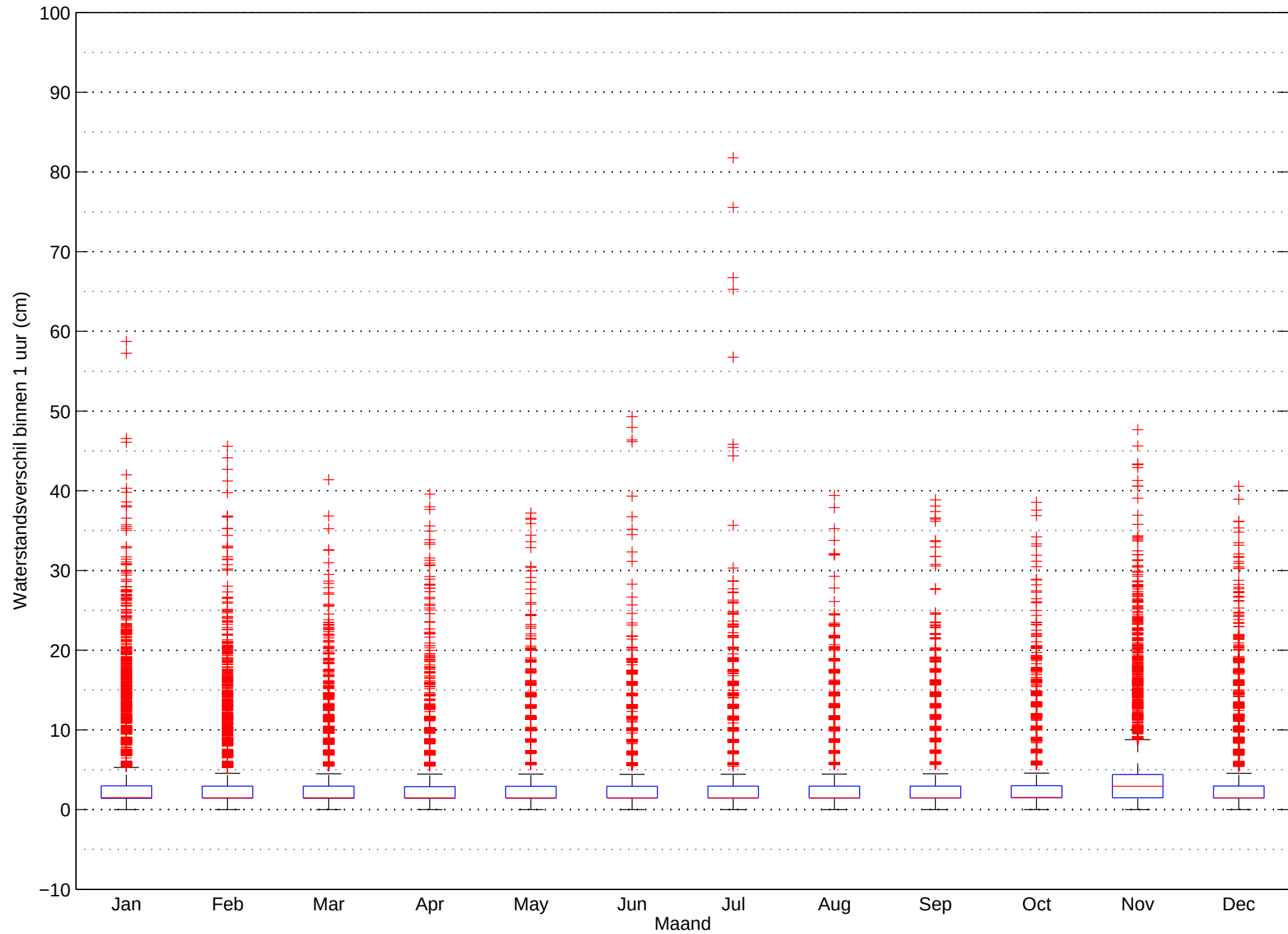
Roggebot Zuid – 10 min waterstandsdata 2004–2009



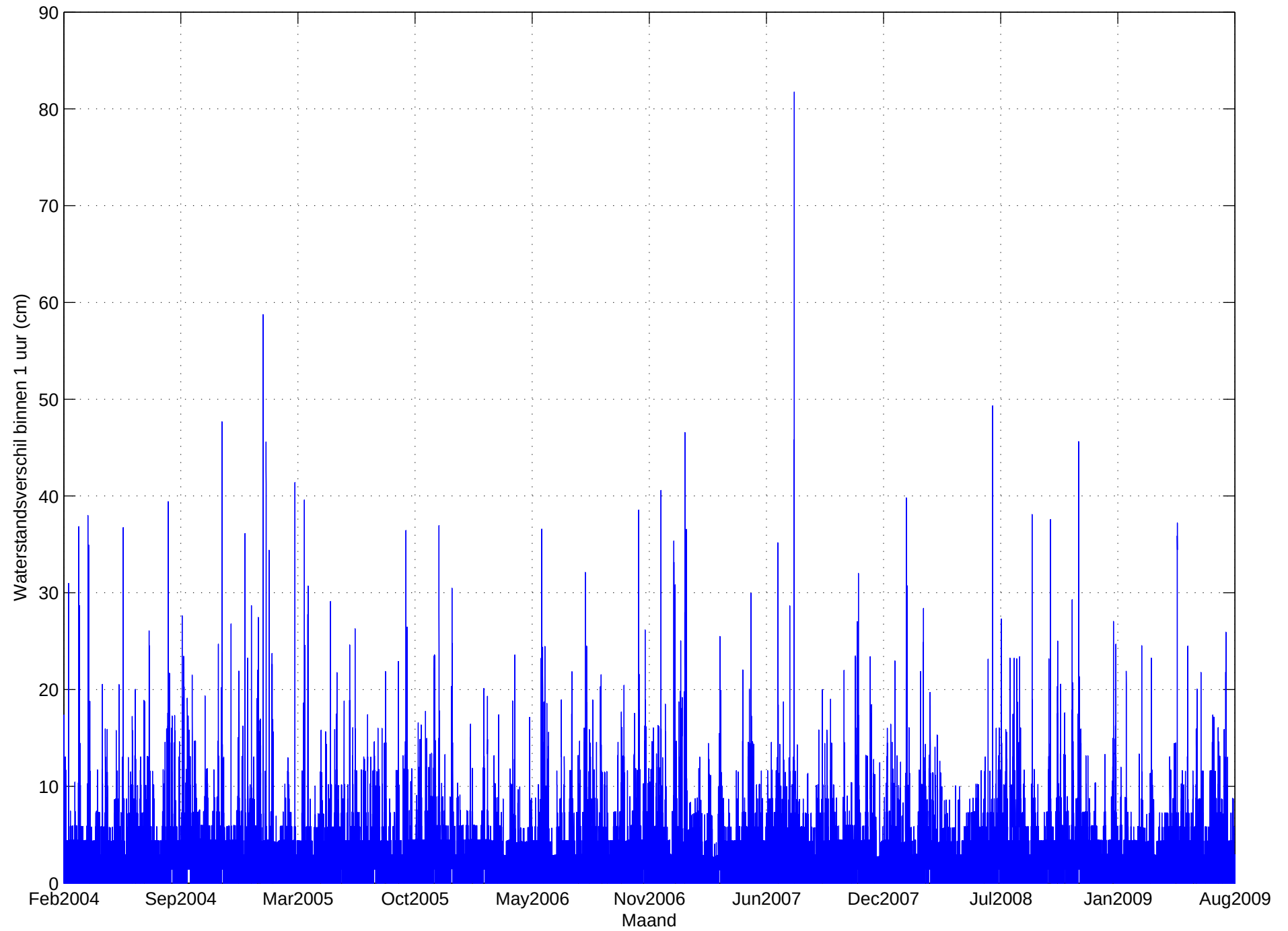
Roggebot Zuid – 10 min waterstandsdata 2004–2009



Inlaat – 10 min waterstandsdata 2004–2009



Inlaat – 10 min waterstandsdata 2004–2009





Tauw

Witteveen

Bos



Bijlage G

Figuren dwarsstroming fase 1

De figuren in deze bijlage tonen de dwarsstroming op de kribbakenlijn van de linkeroever bij verschillende afvoeren voor fase 1 van het project. In de titels van de figuren is steeds de afvoer bij Lobith aangegeven (in m³/s).



Tauw

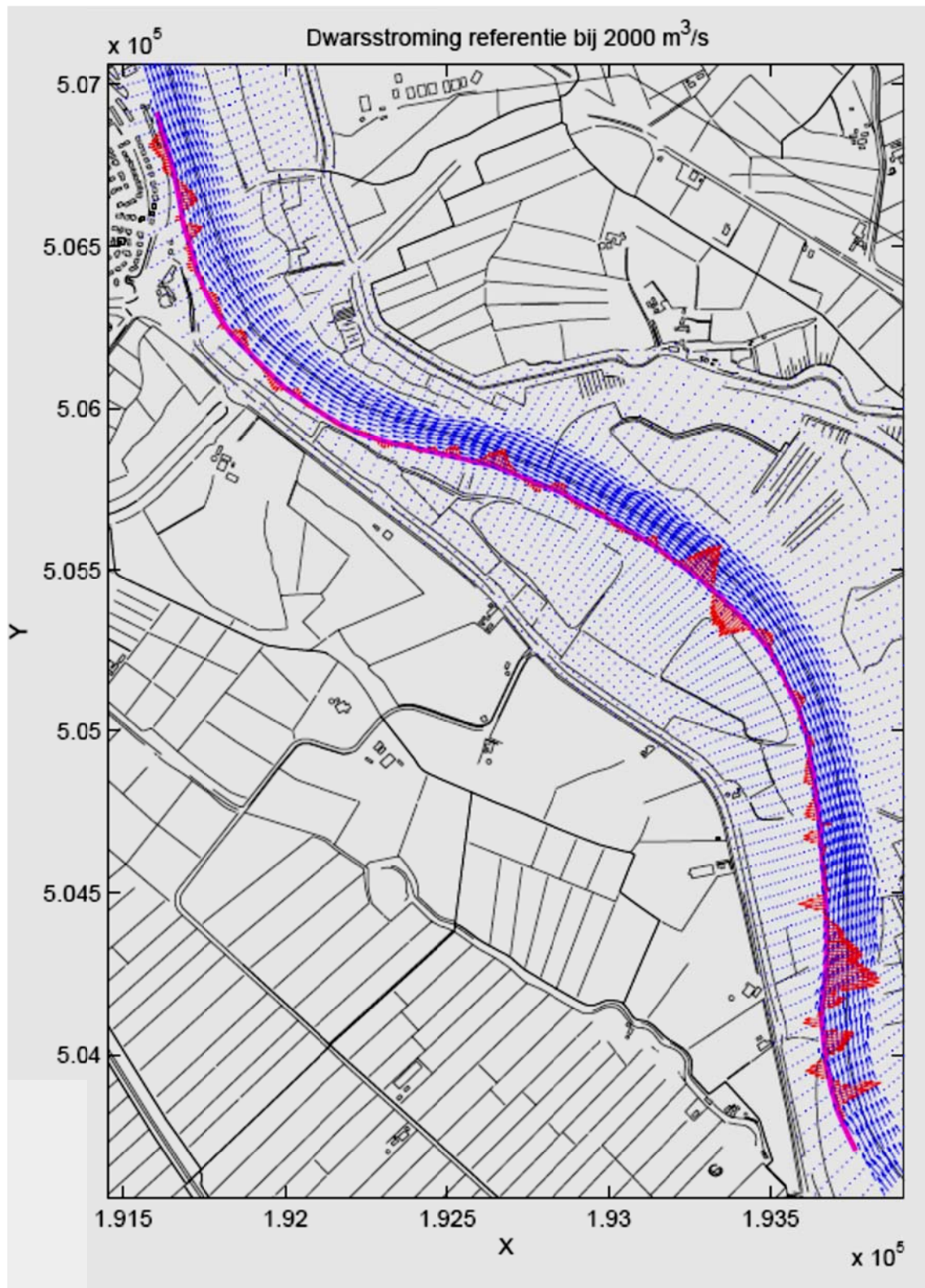
Witteveen

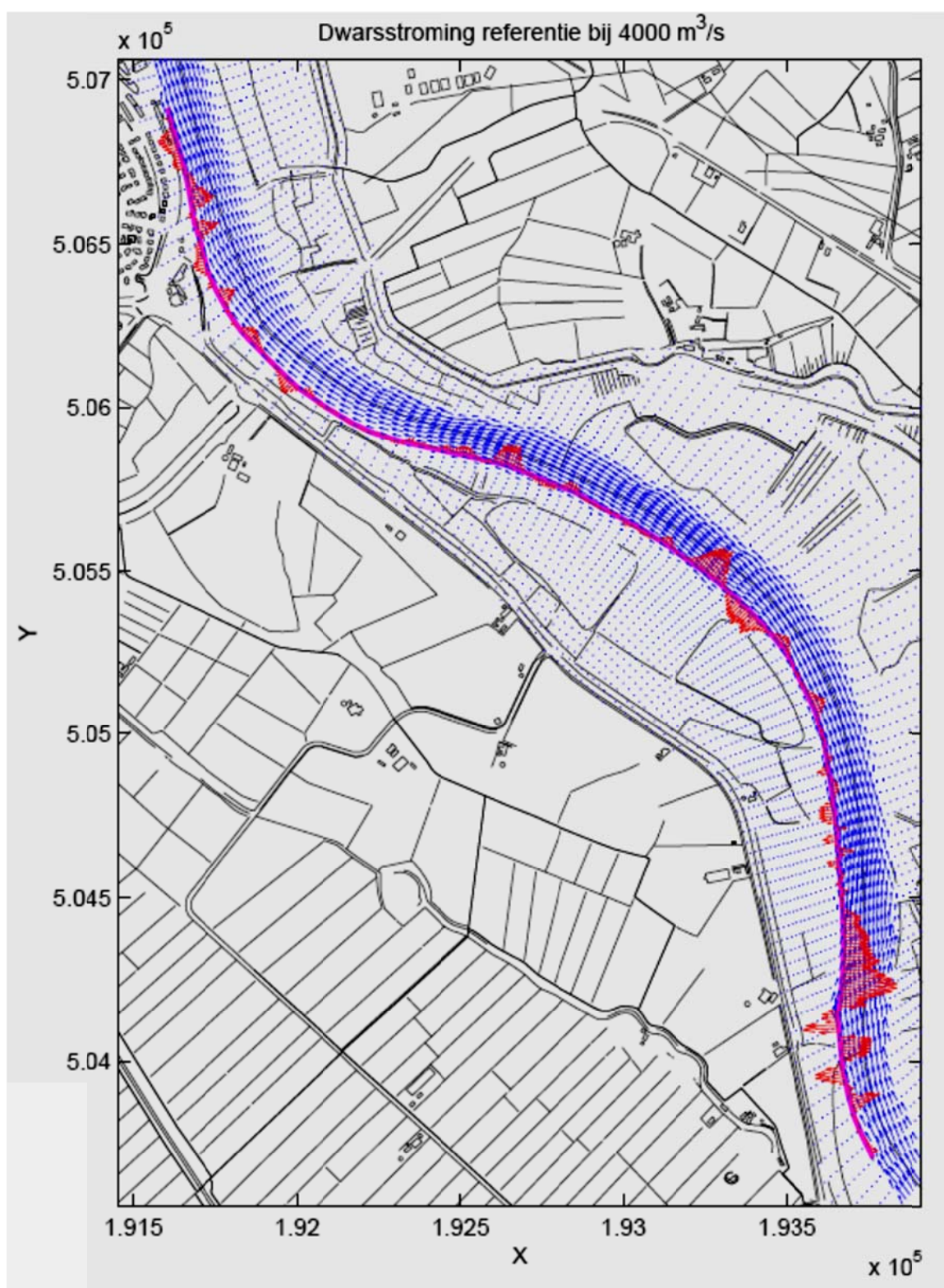
Bos

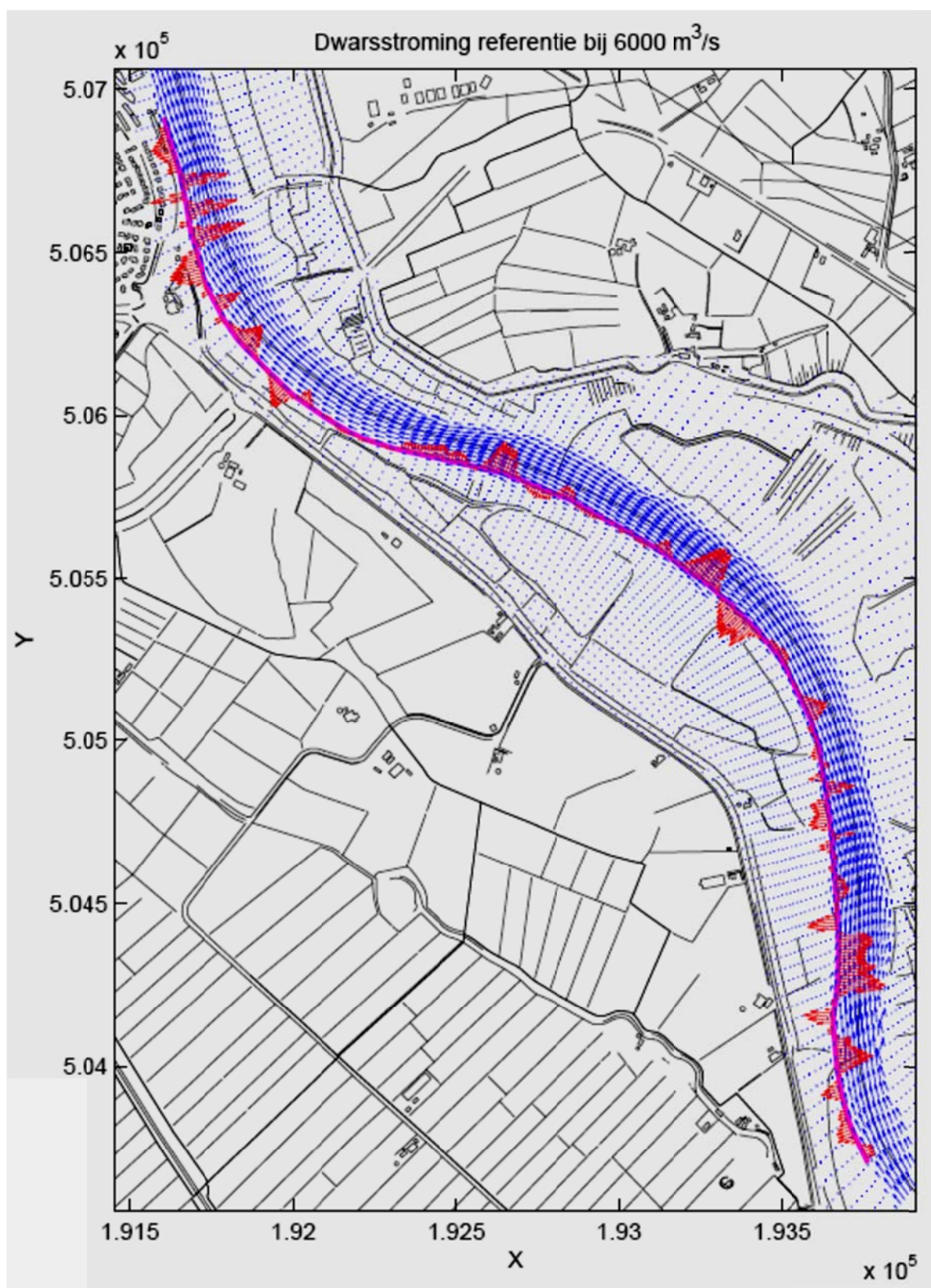


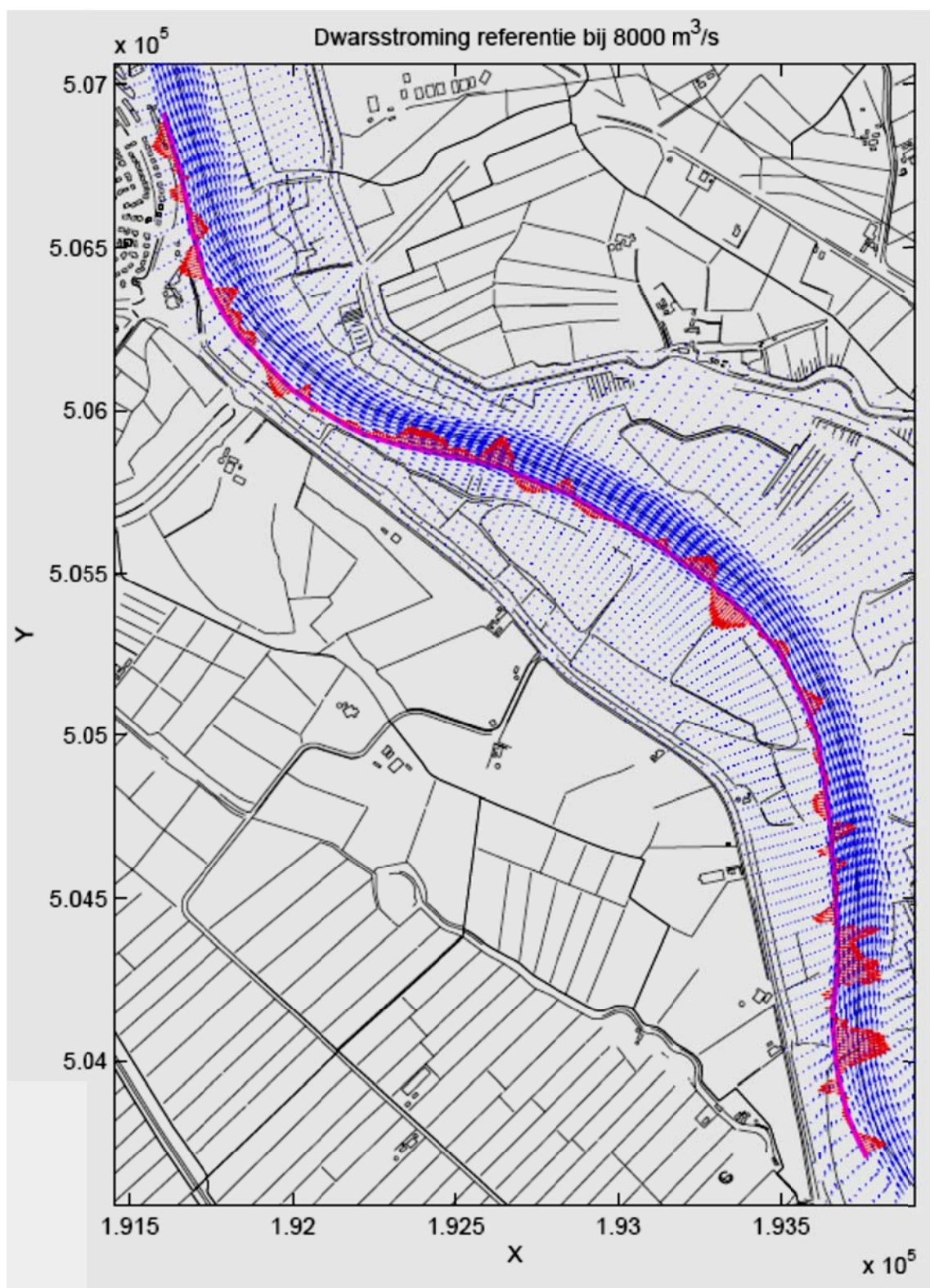
ROYAL HASKONING

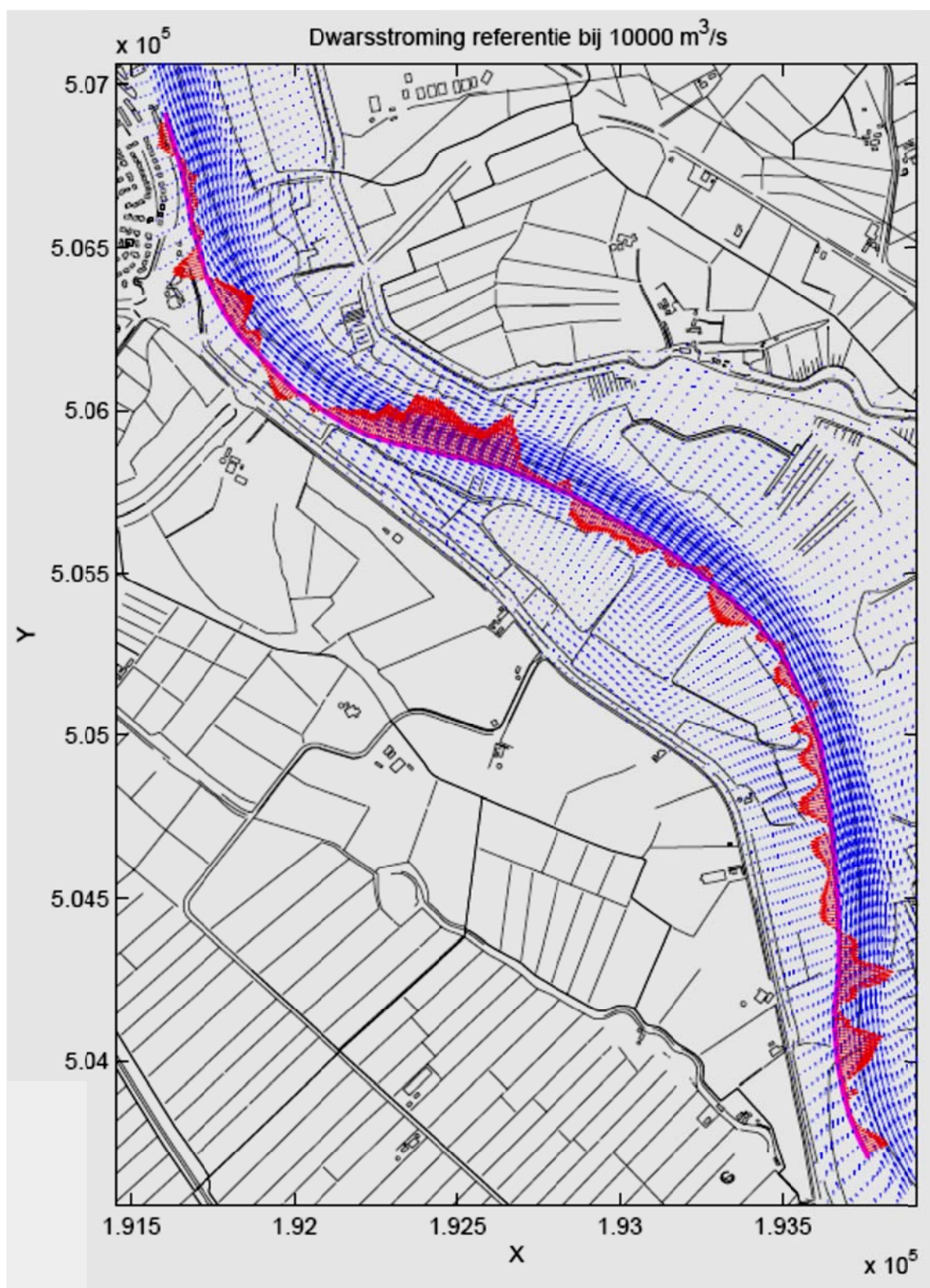
Huidige situatie

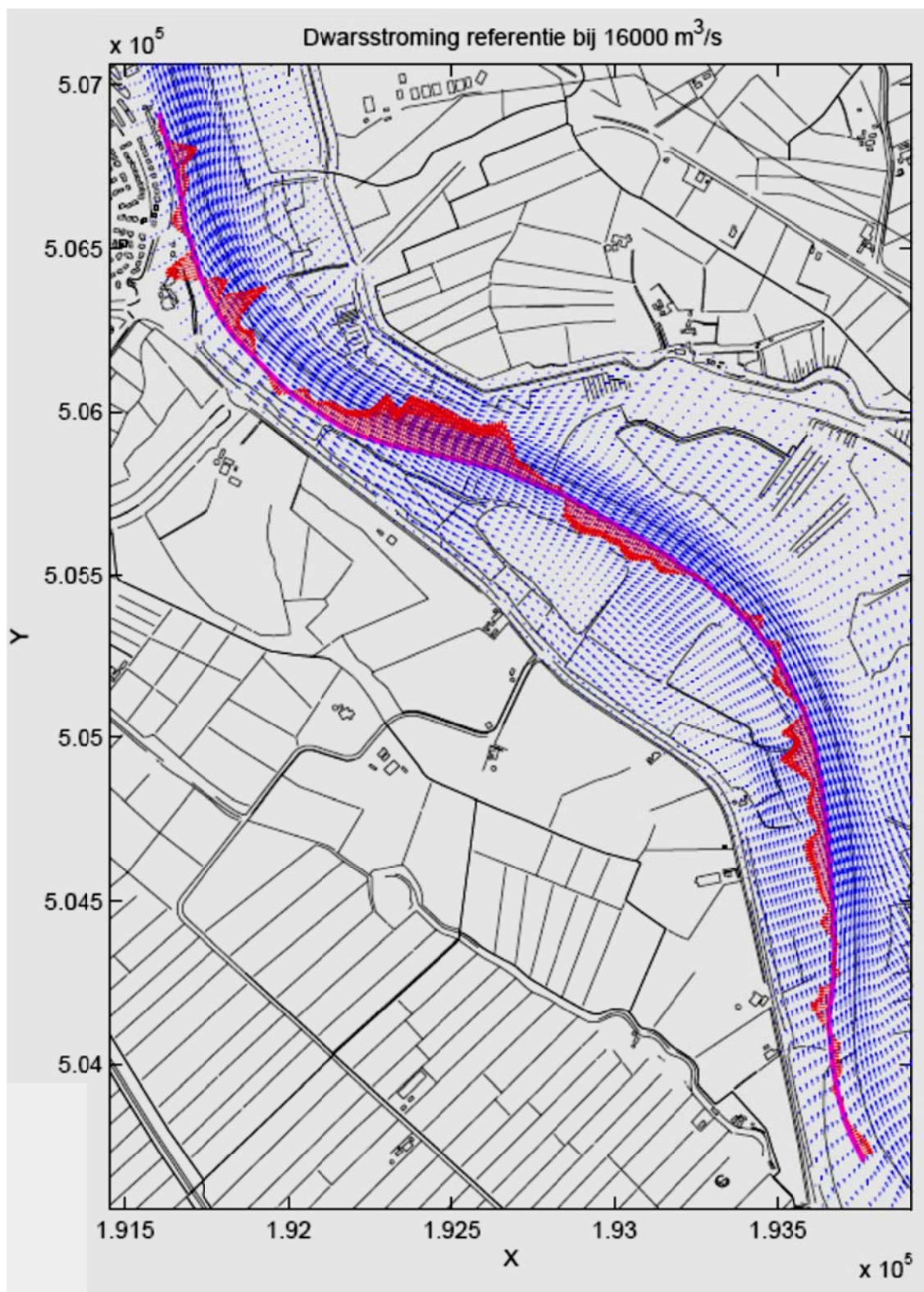




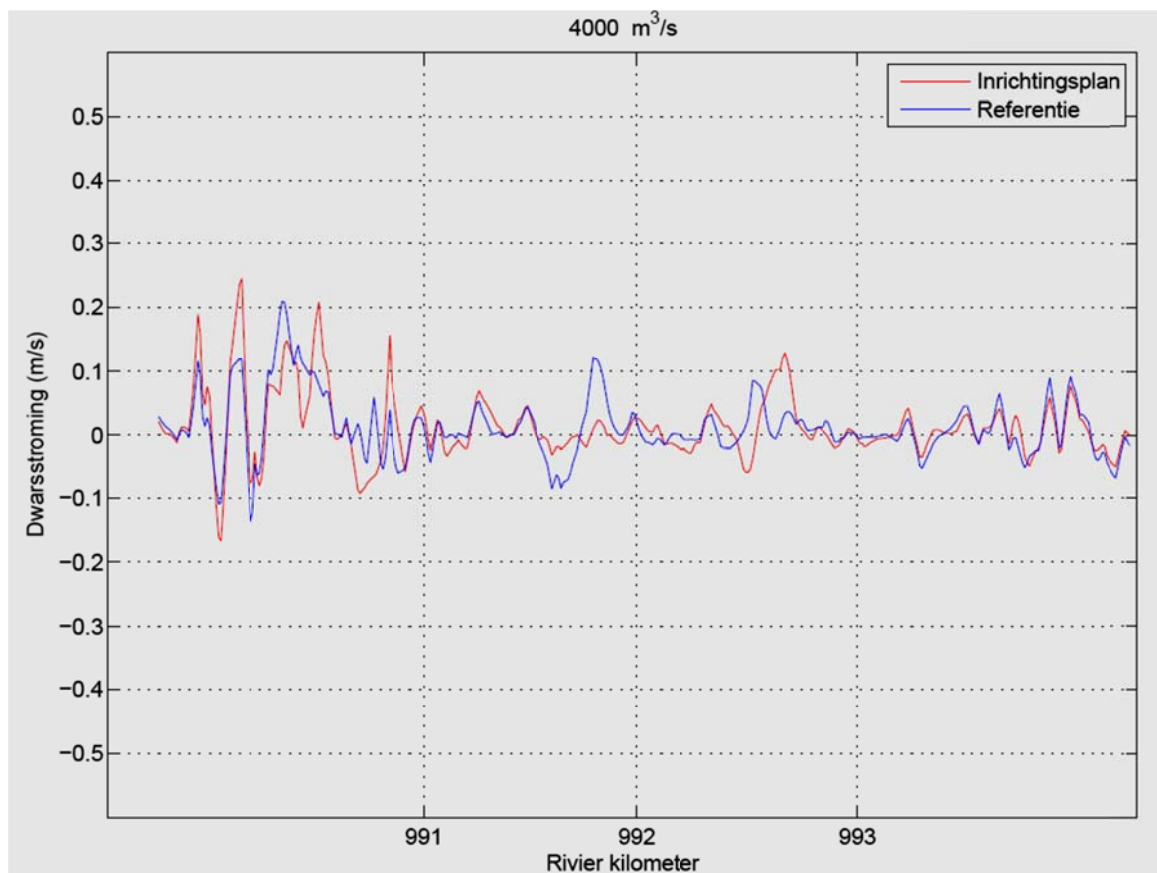
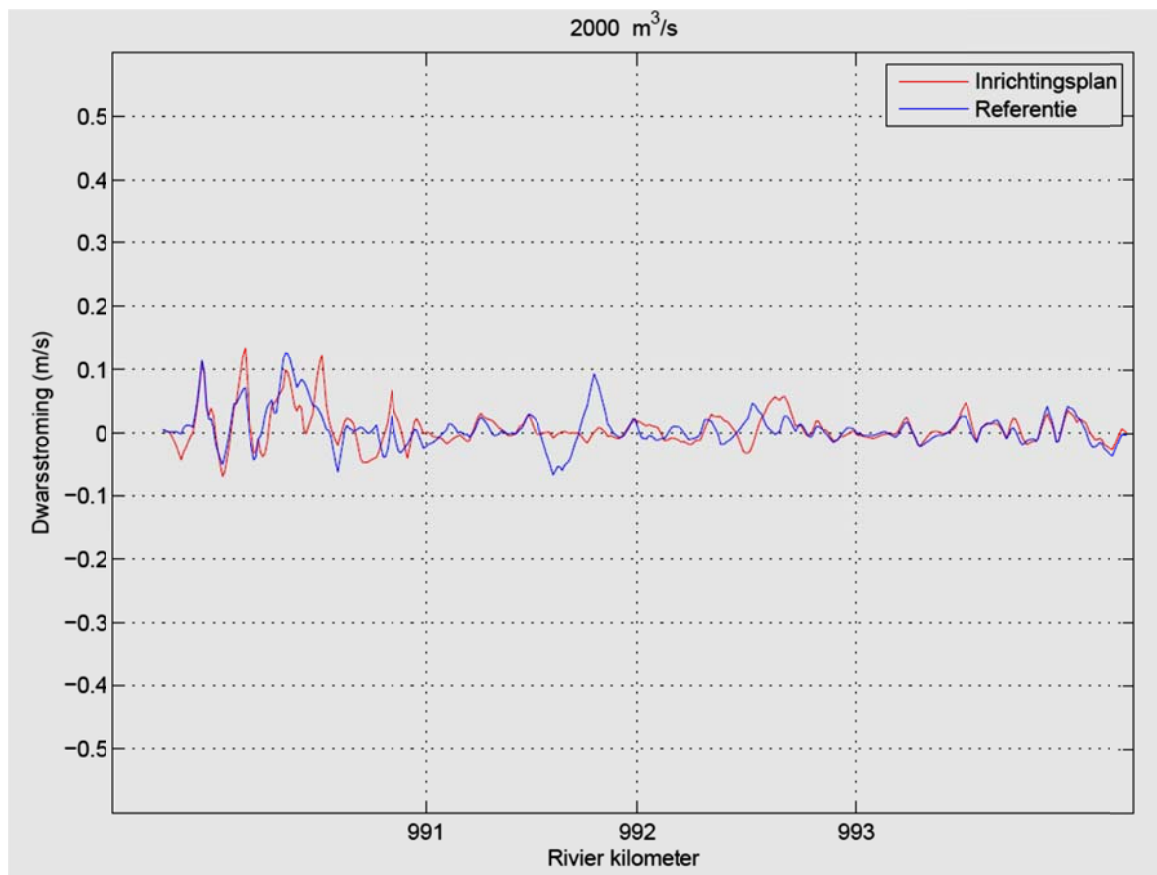


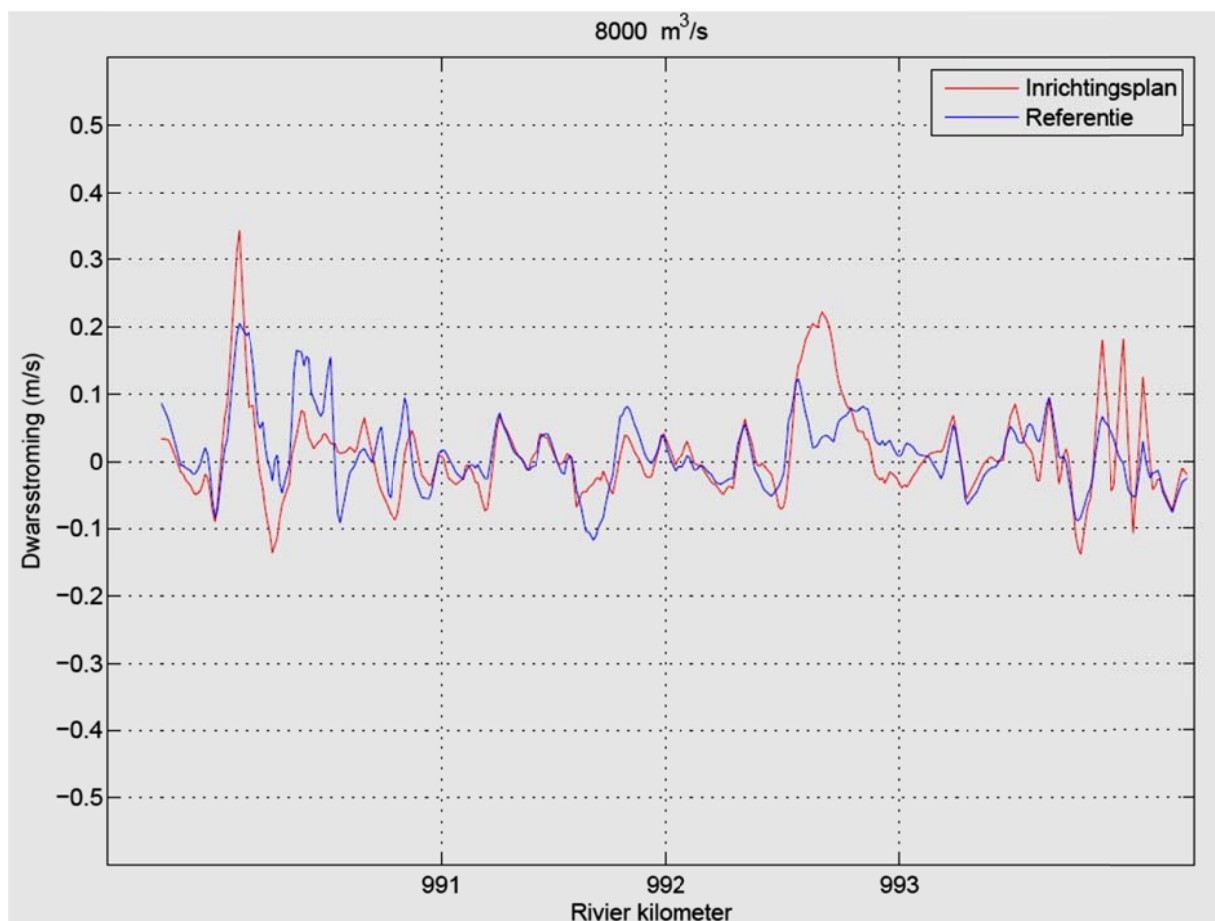
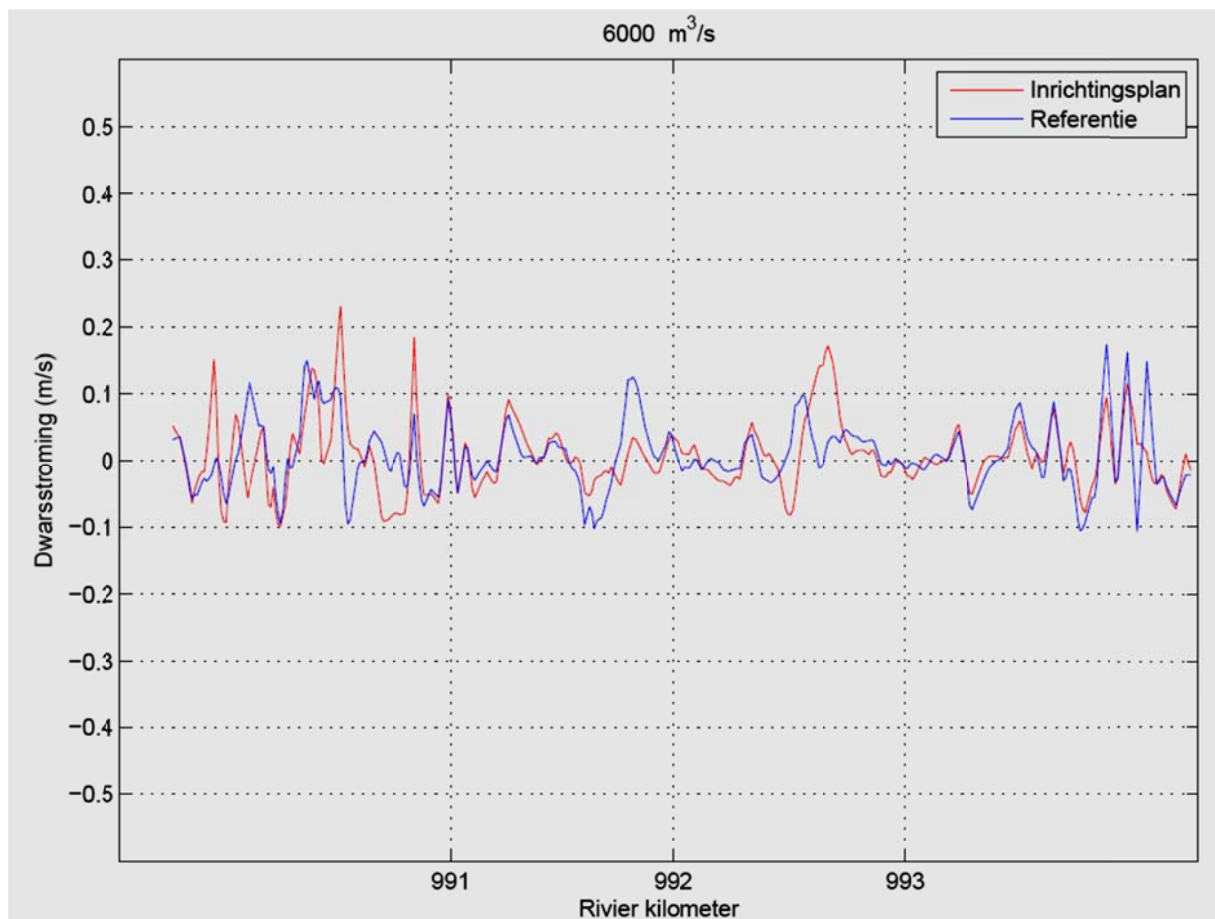


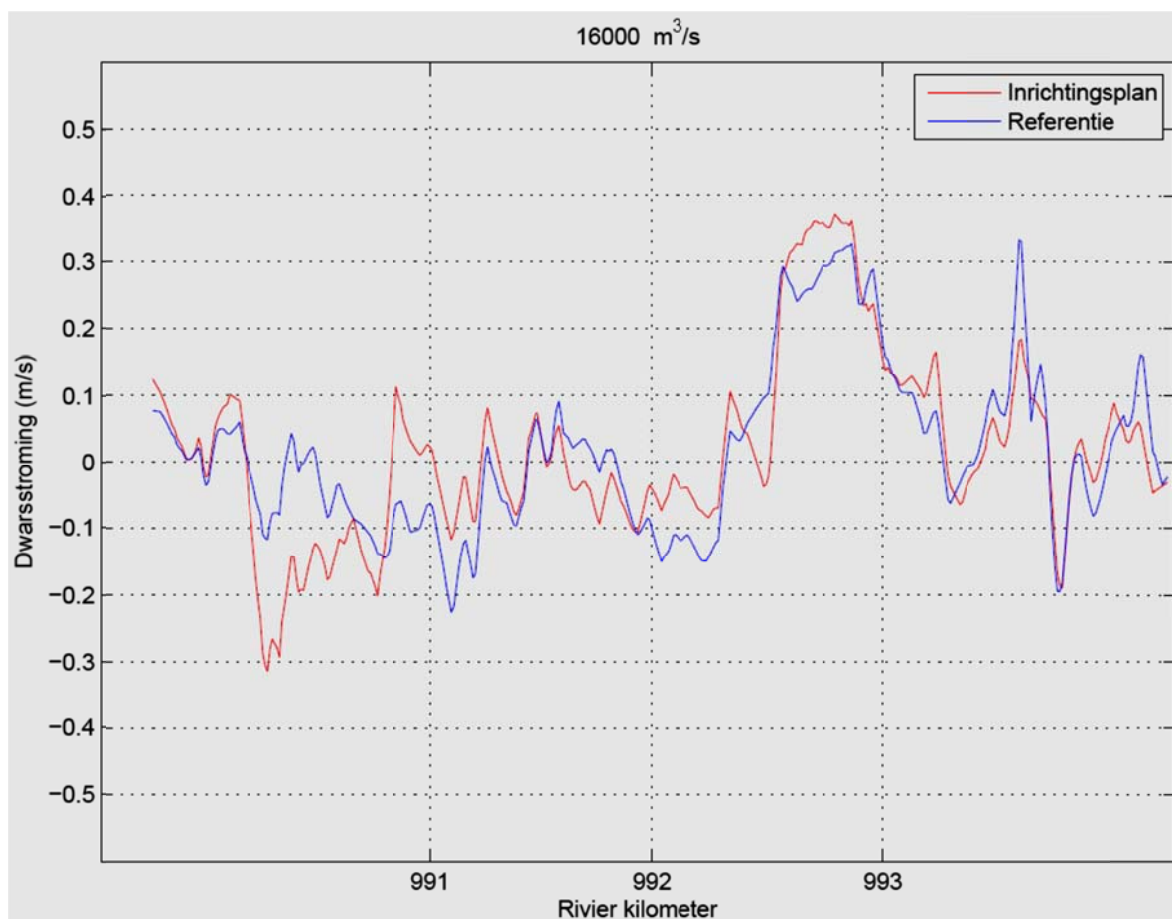
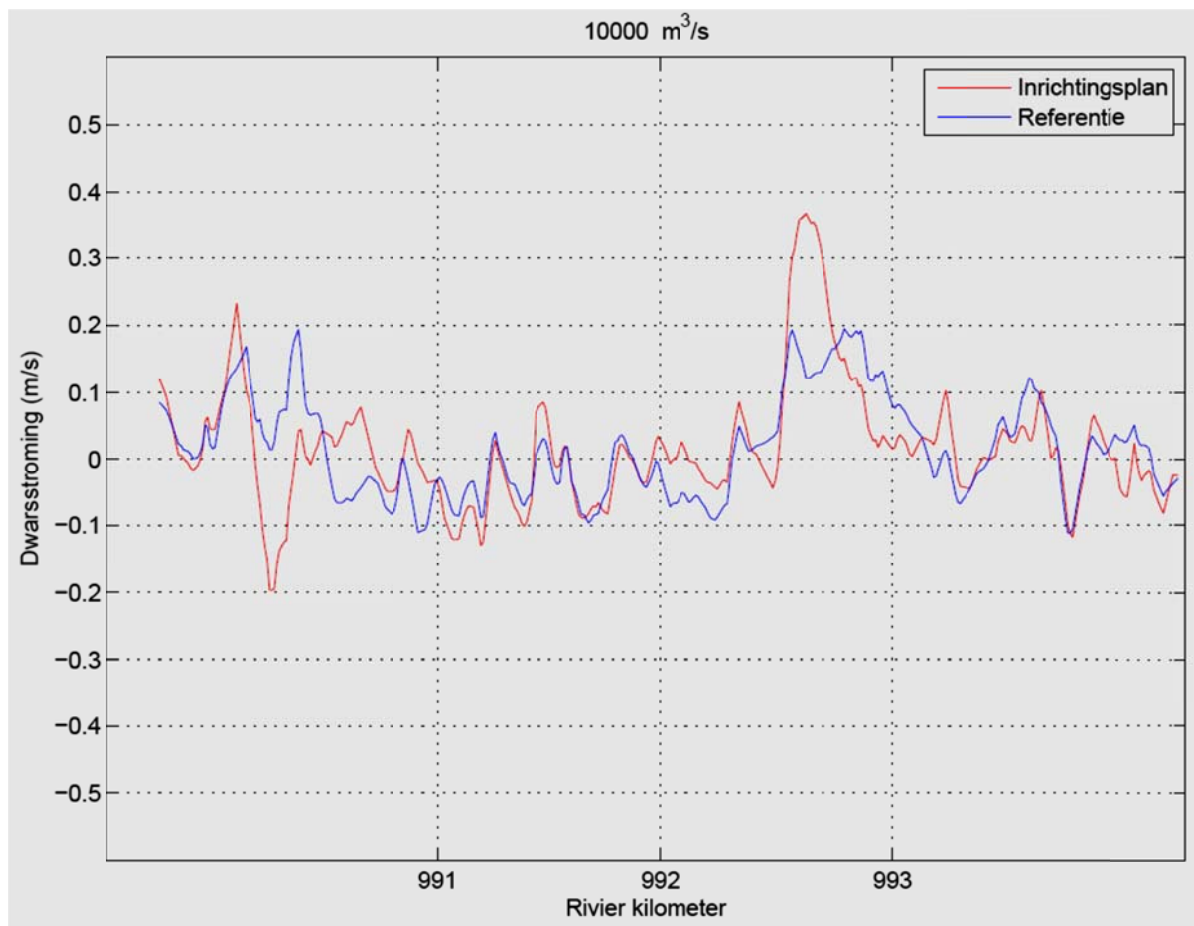




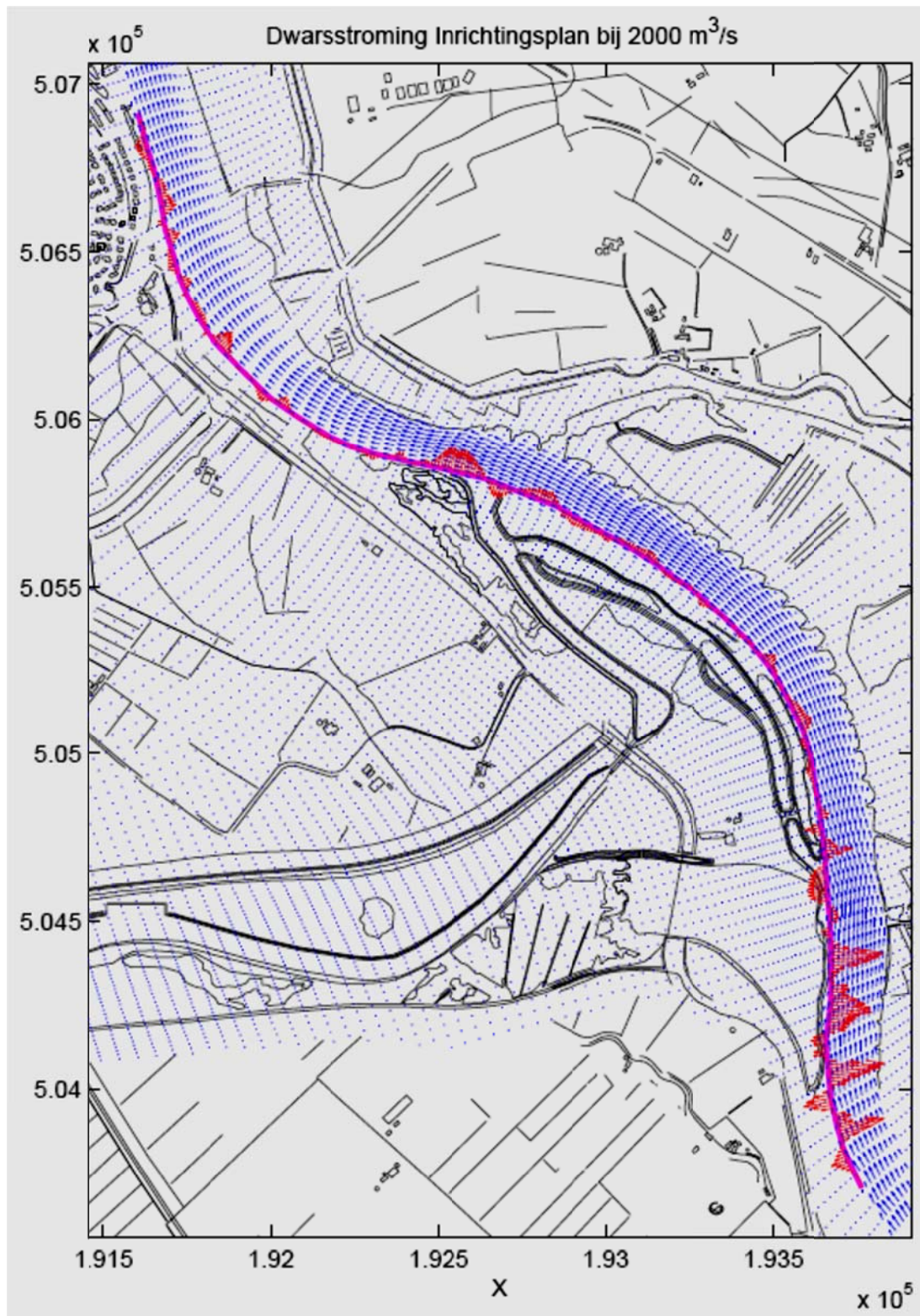
Vergelijking huidige situatie en Fase 1

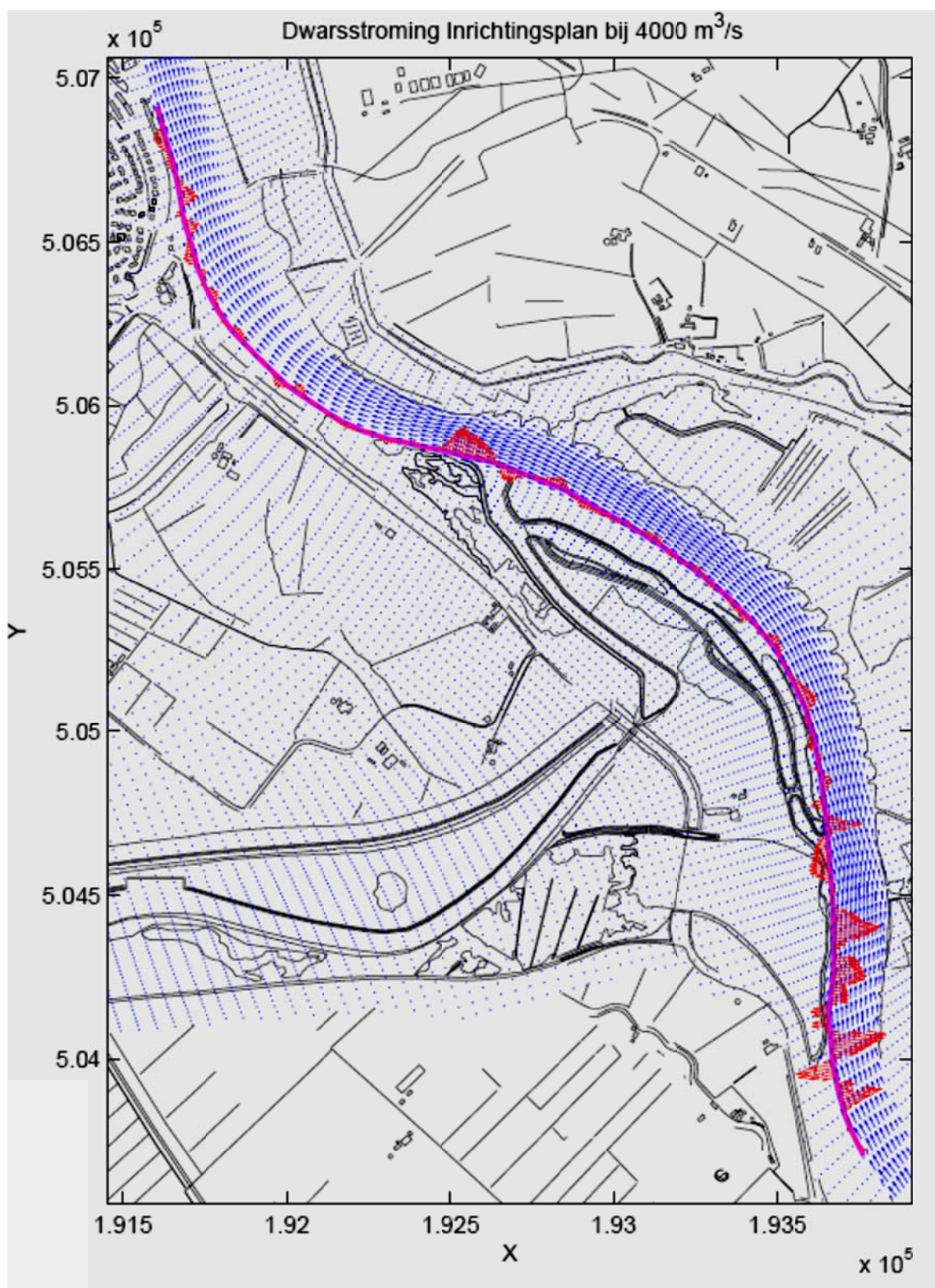


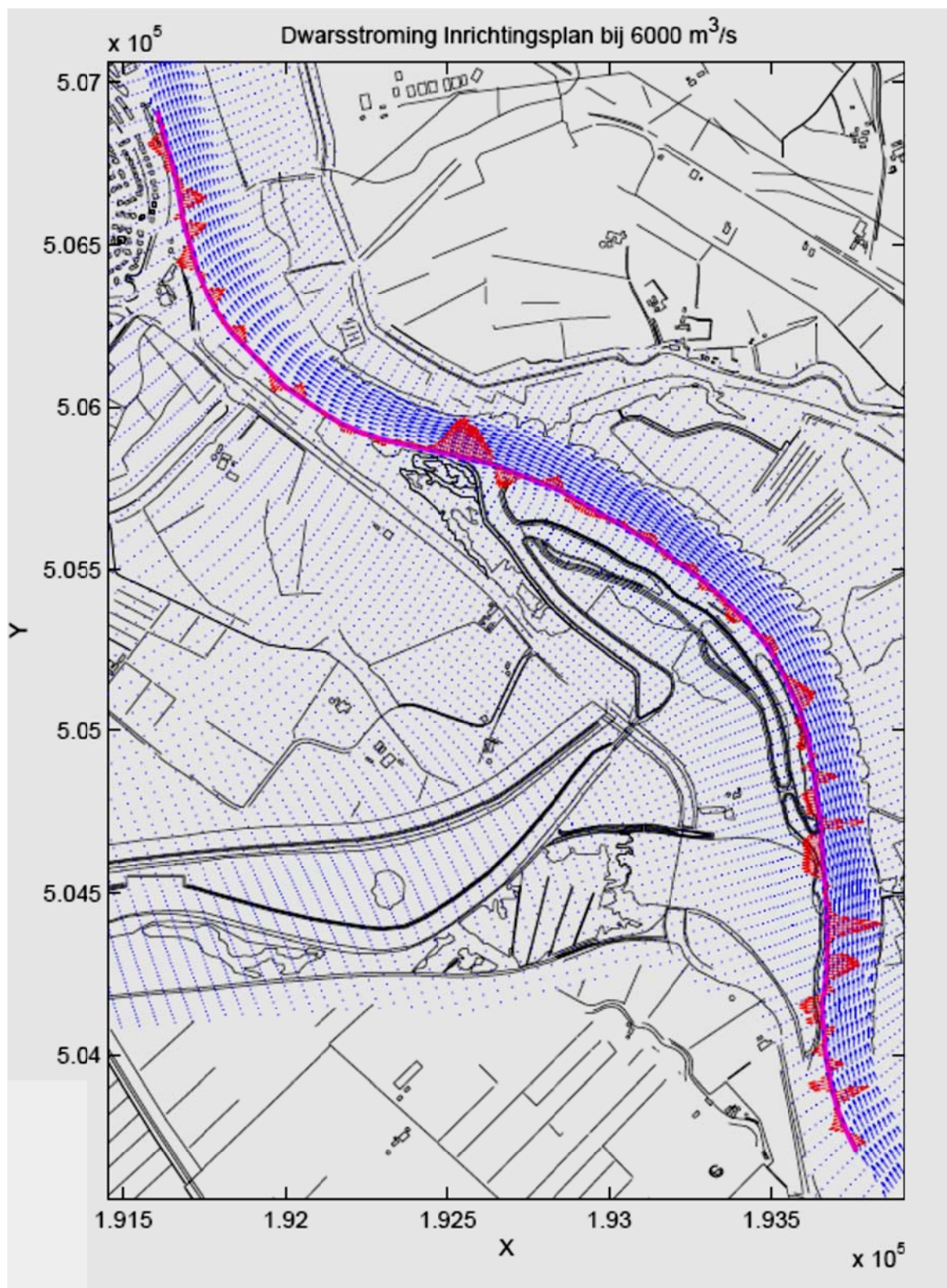


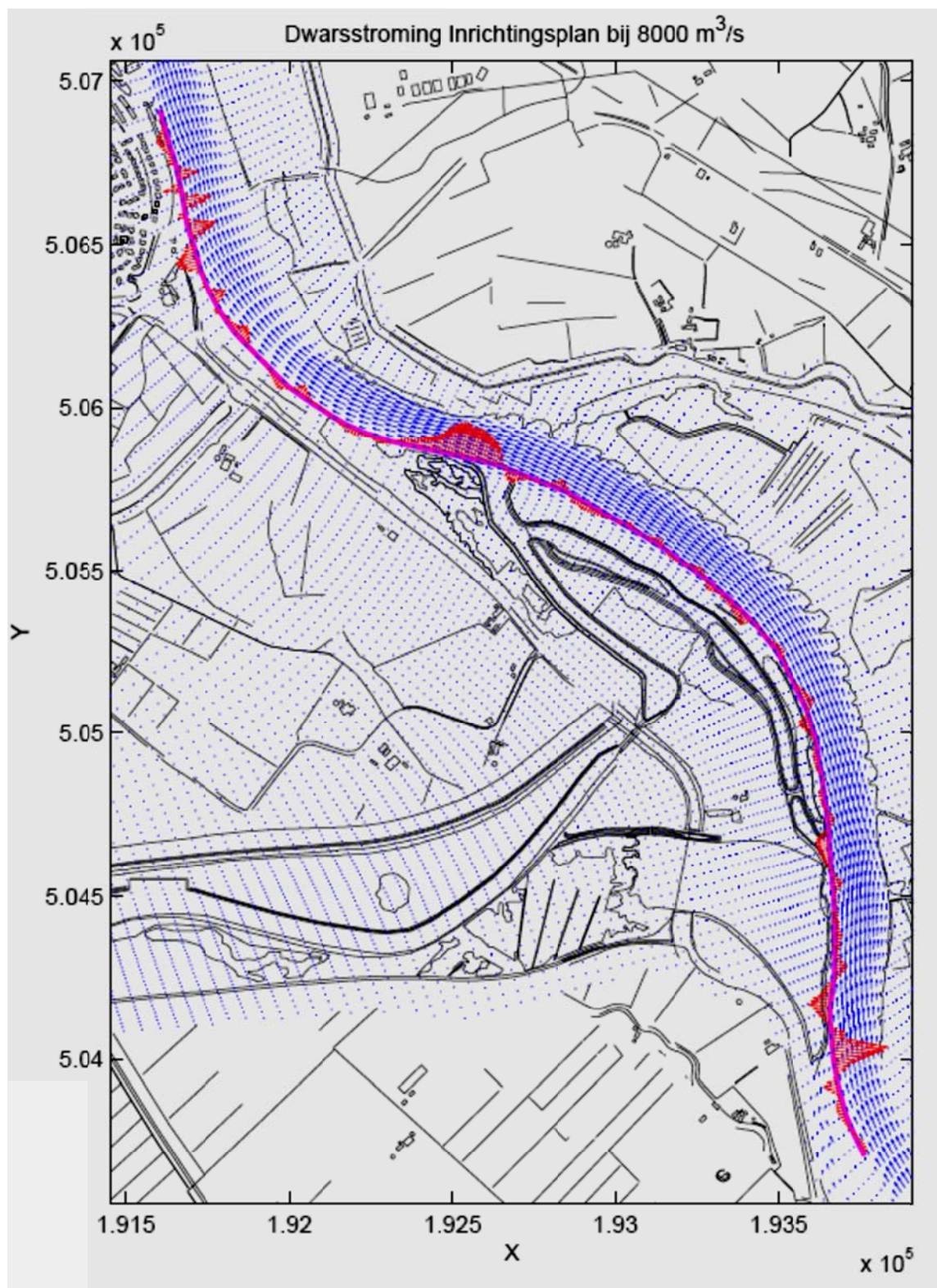


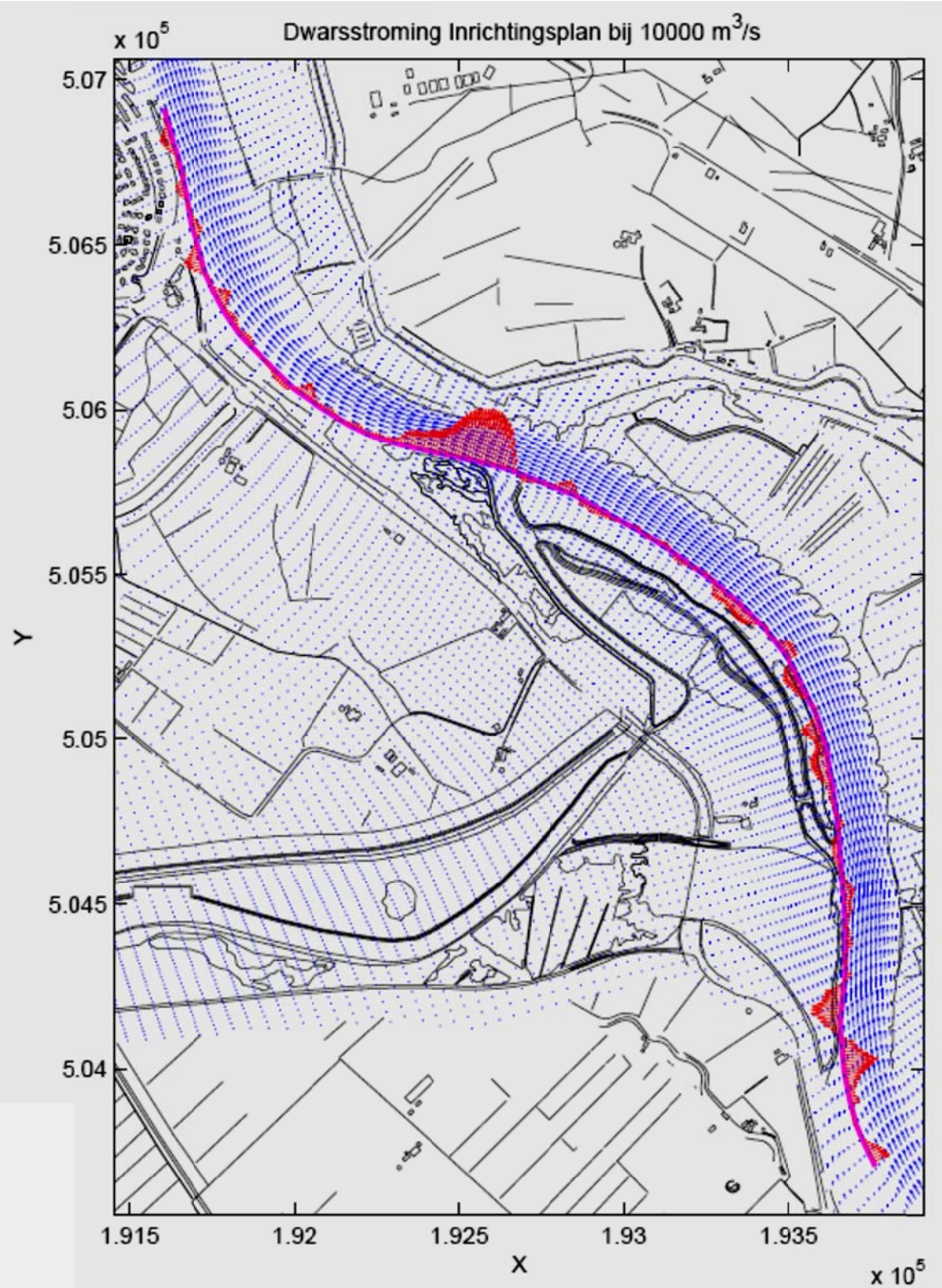
Fase 1

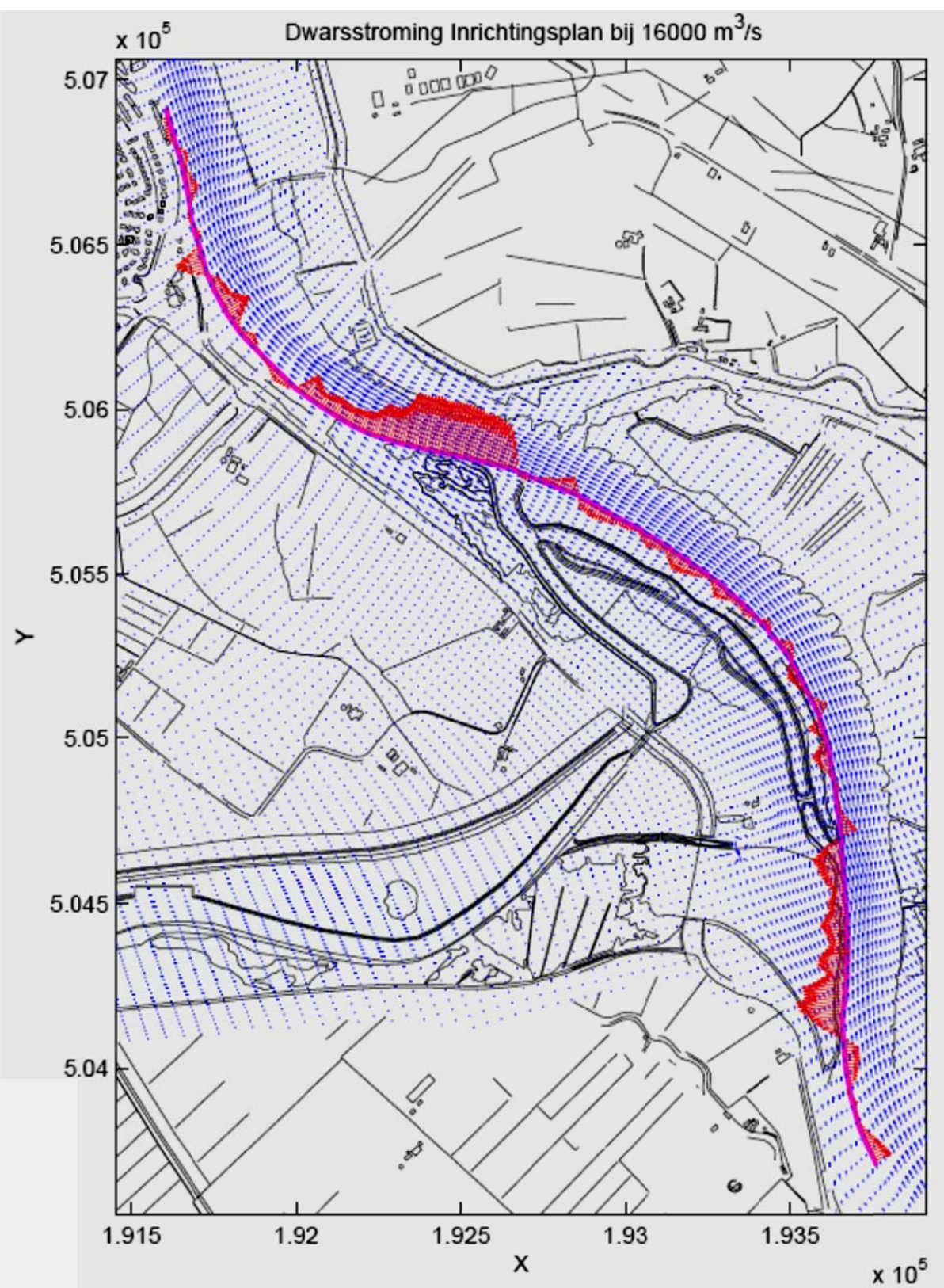














Tauw



Bijlage H

Figuren dwarsstroming Fase 2

De figuren in deze bijlage tonen de dwarsstroming op de kribbakenlijn van de linkeroever bij verschillende afvoeren voor fase 2 van het project. In de titels van de figuren is steeds de afvoer bij Lobith aangegeven (in m³/s).



Tauw

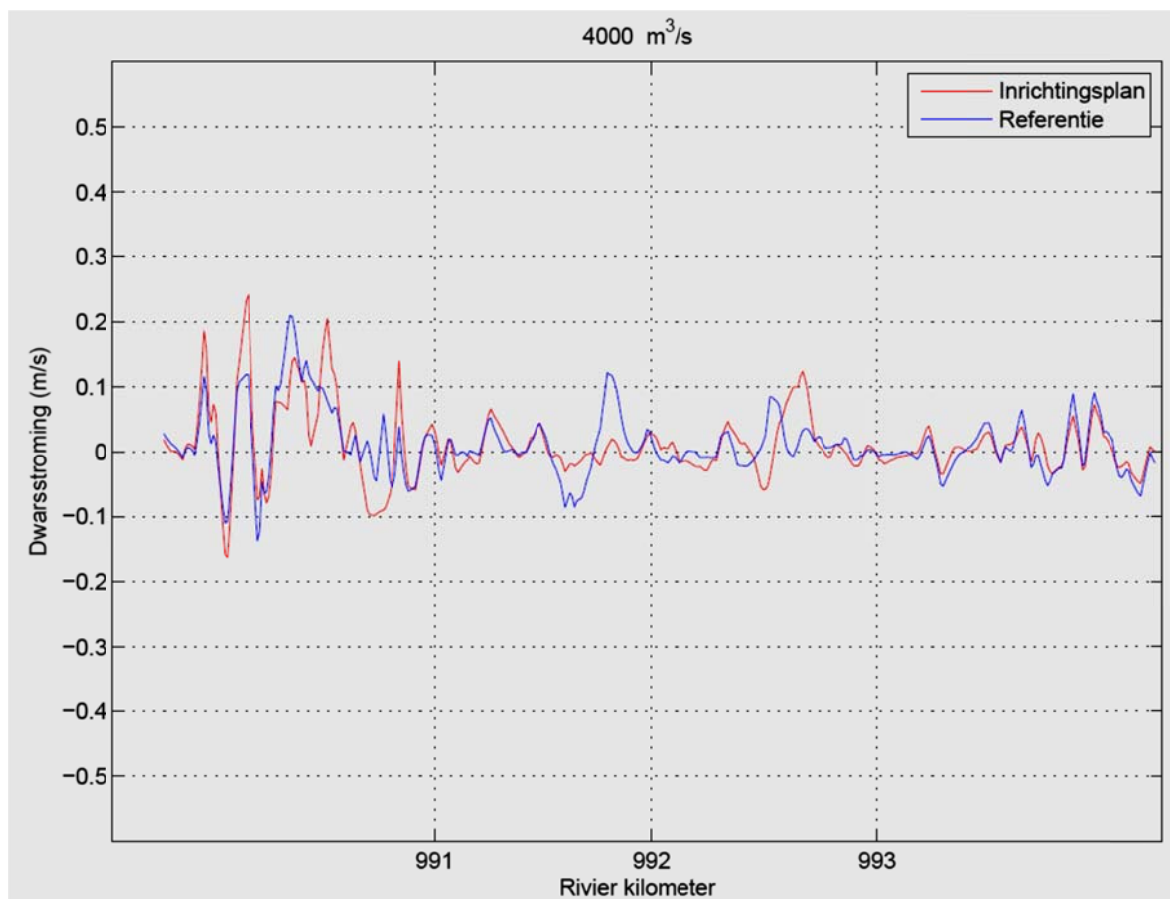
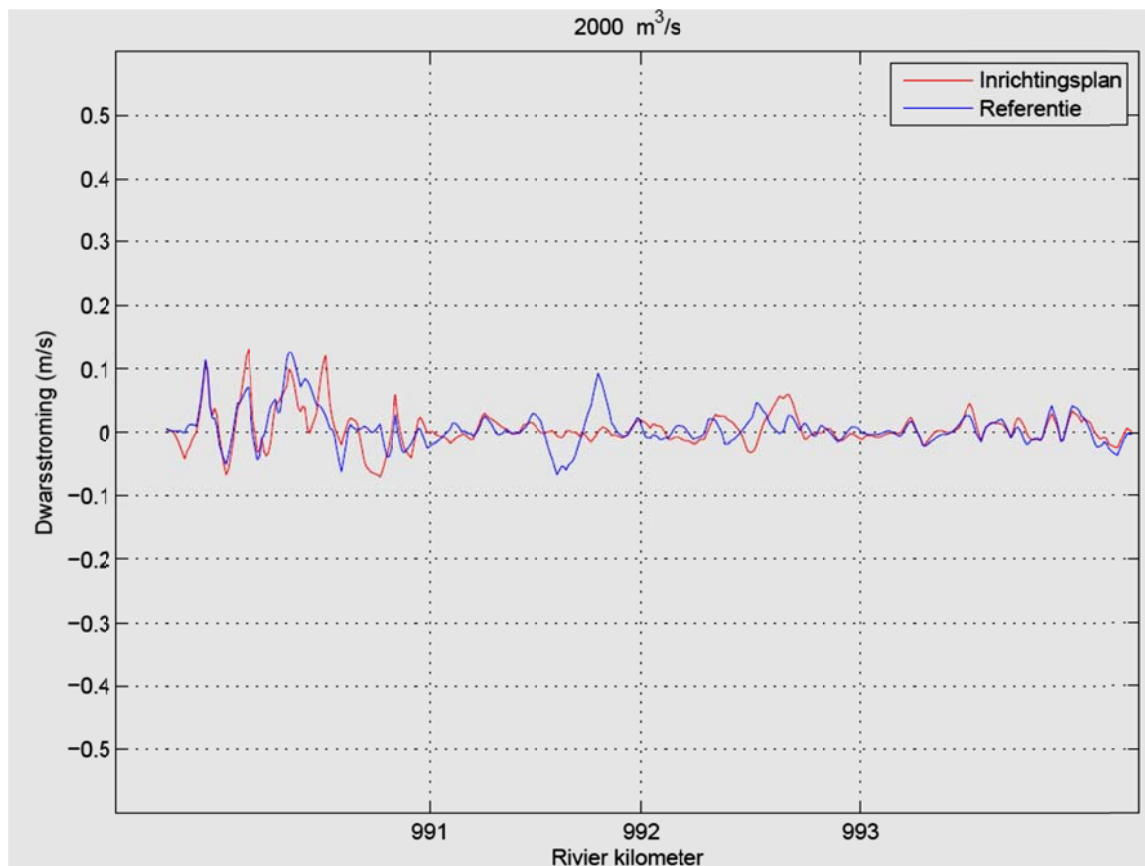
Witteveen

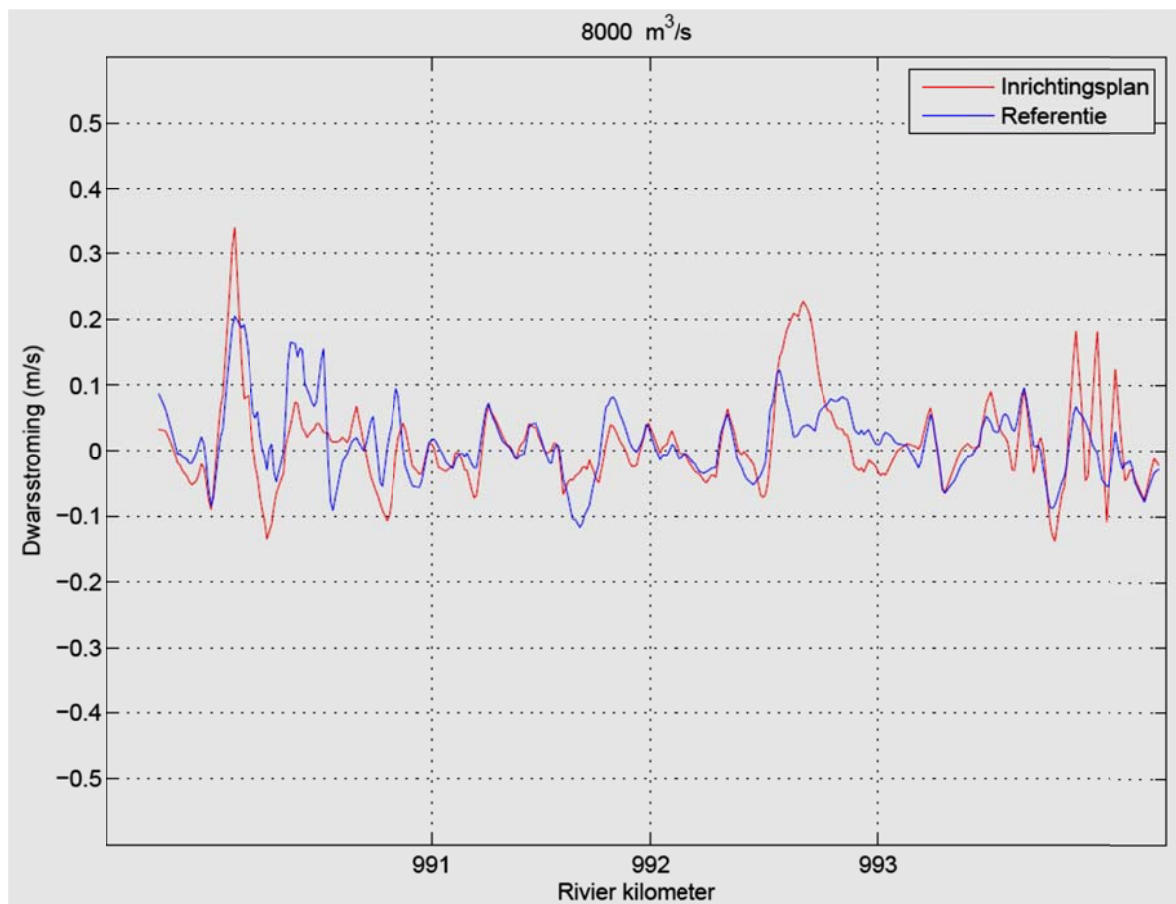
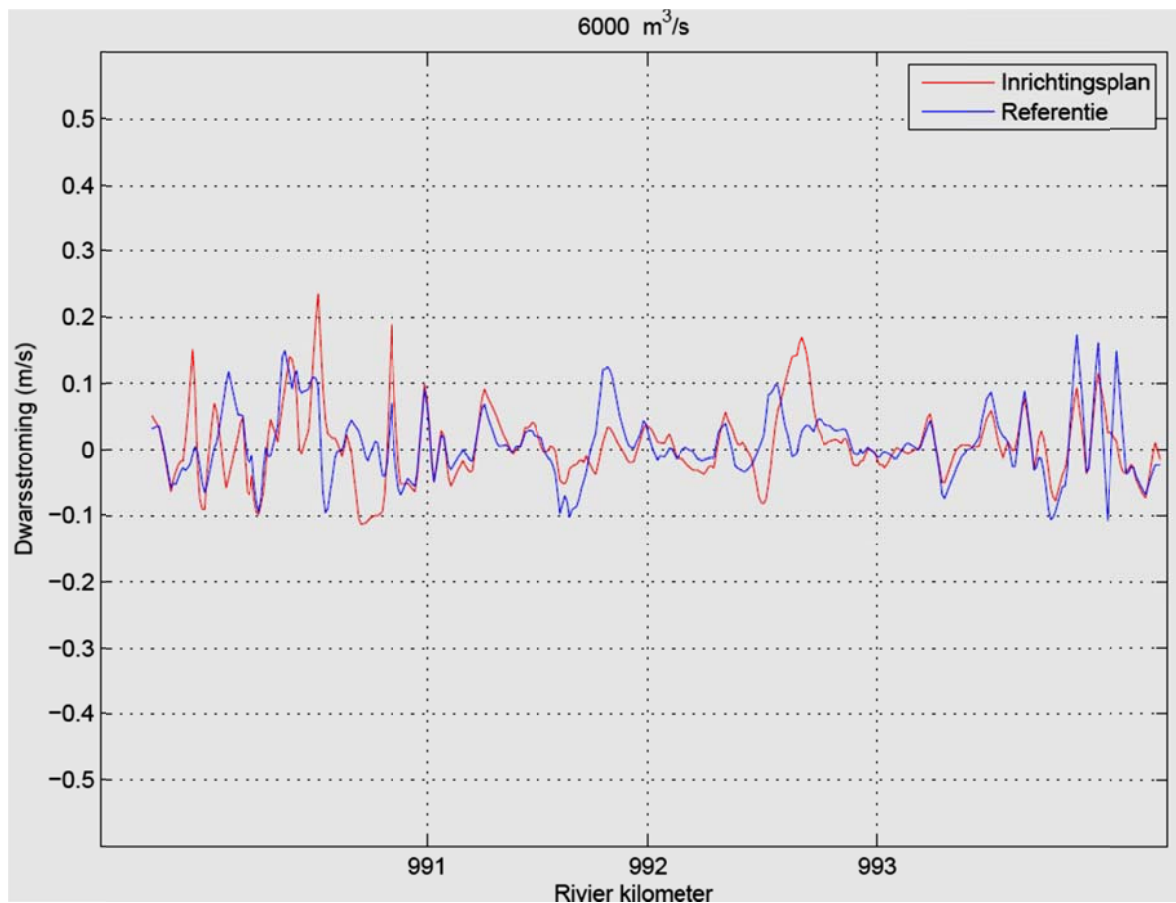
Bos

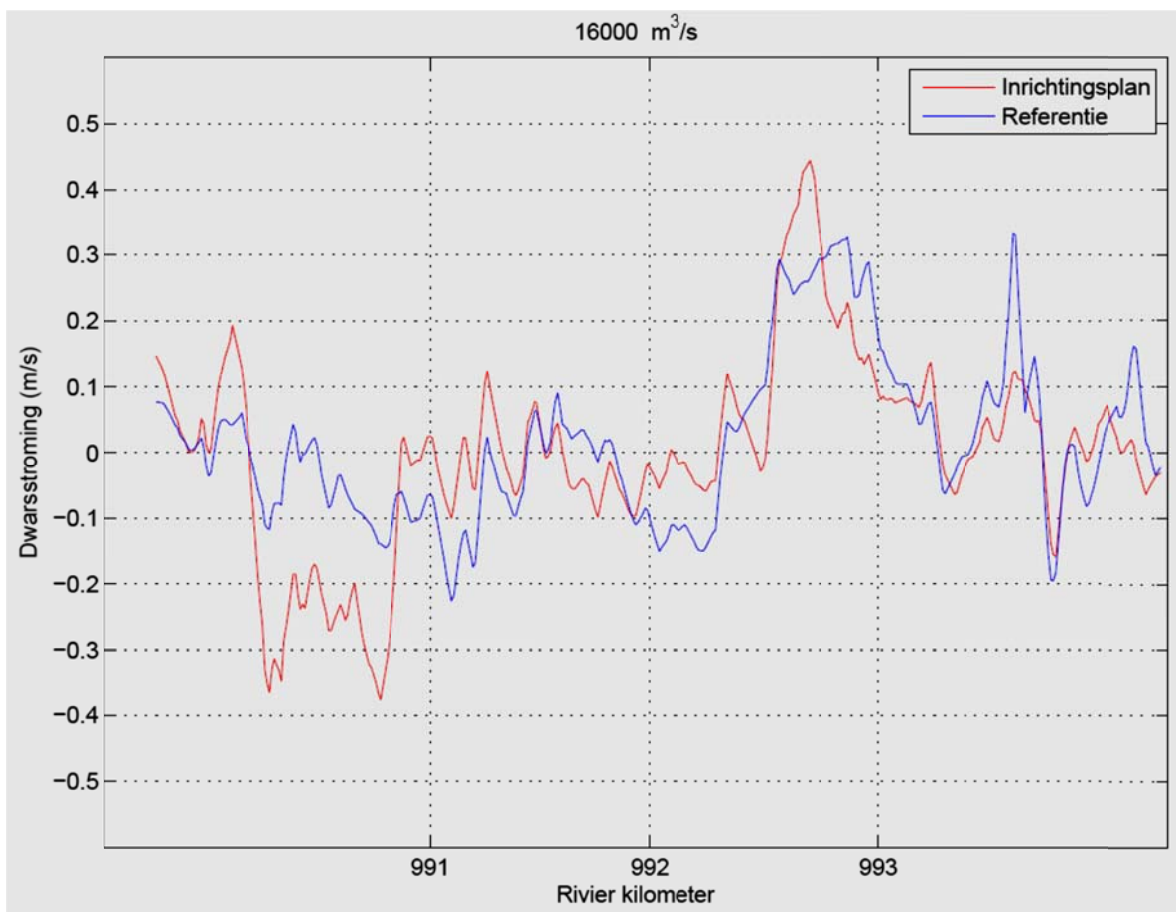
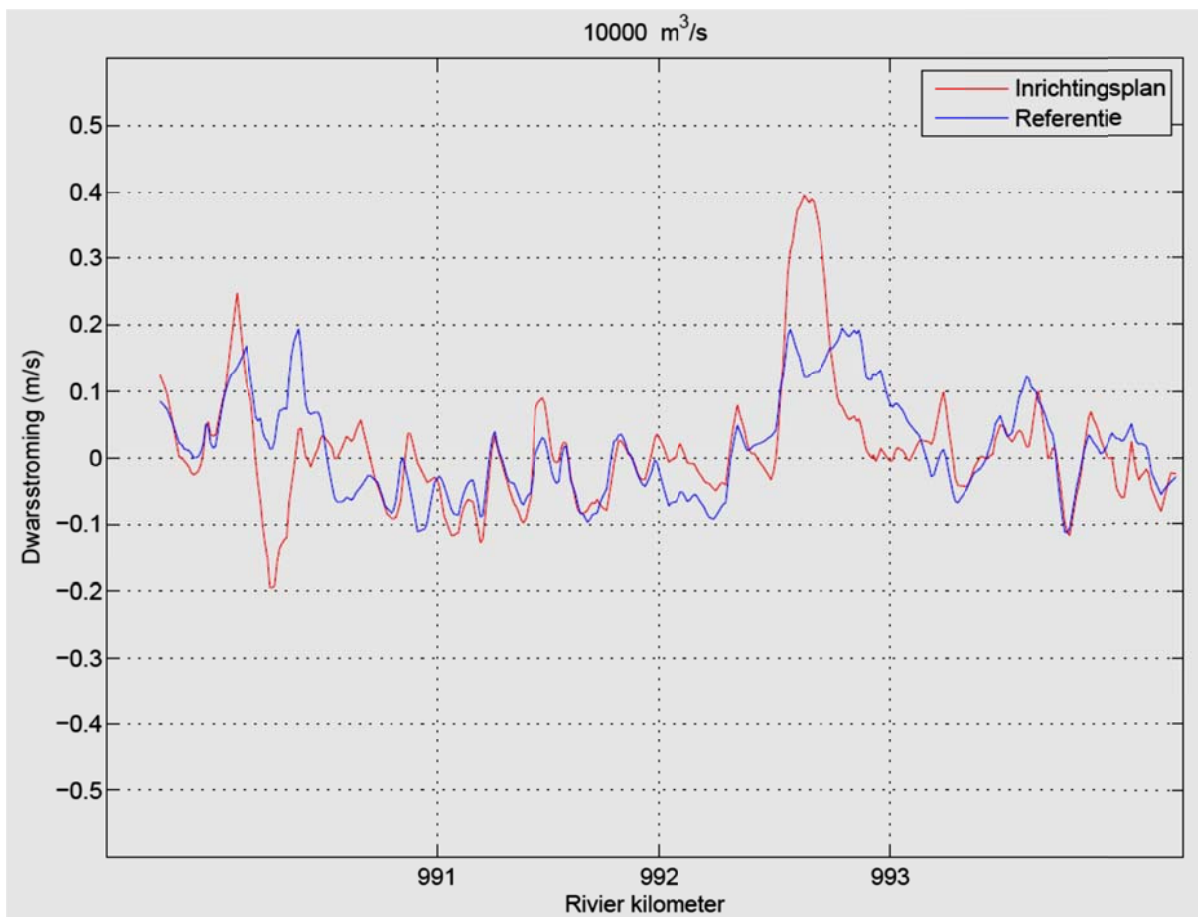


ROYAL HASKONING

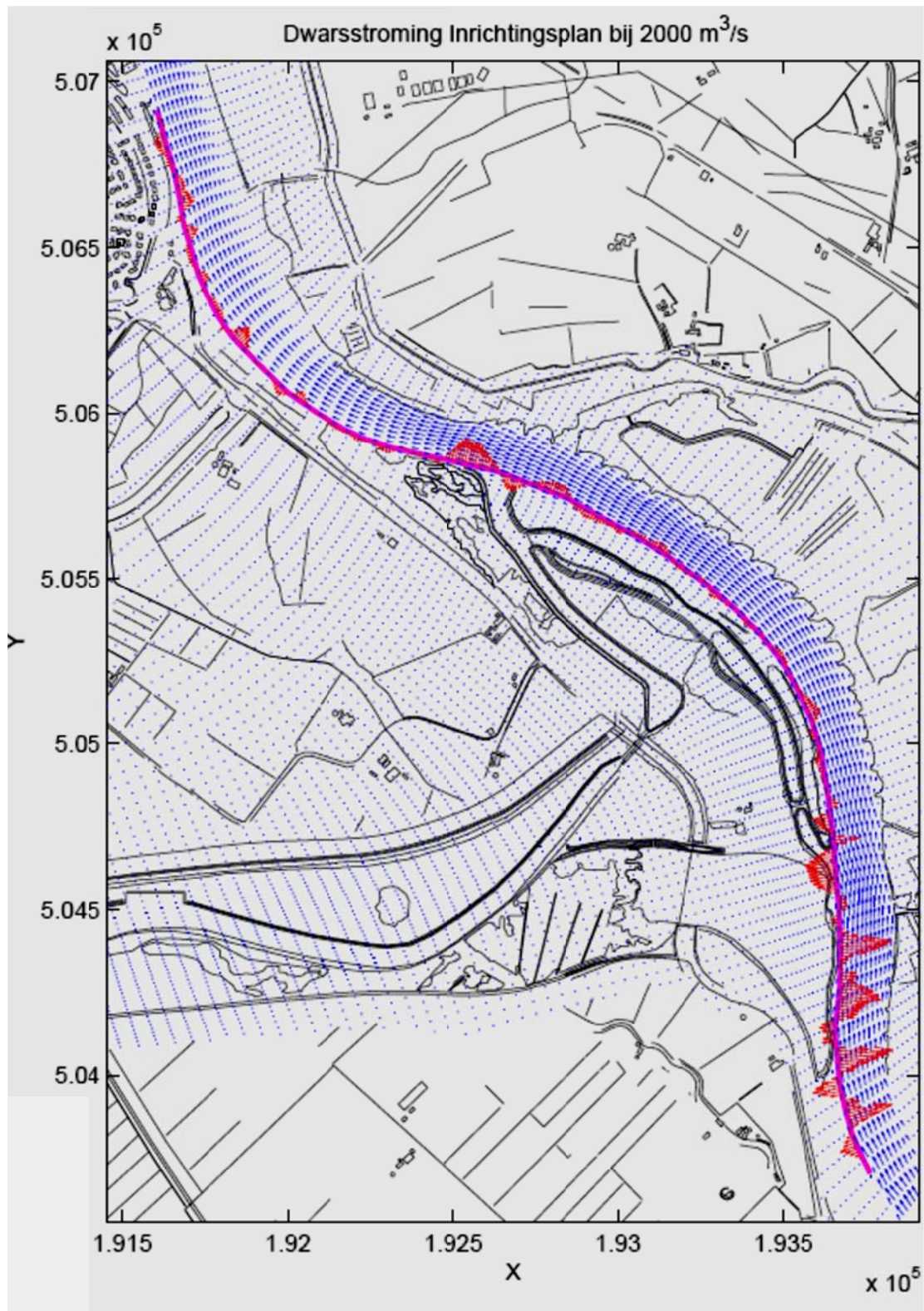
Vergelijking huidige situatie en Fase 2

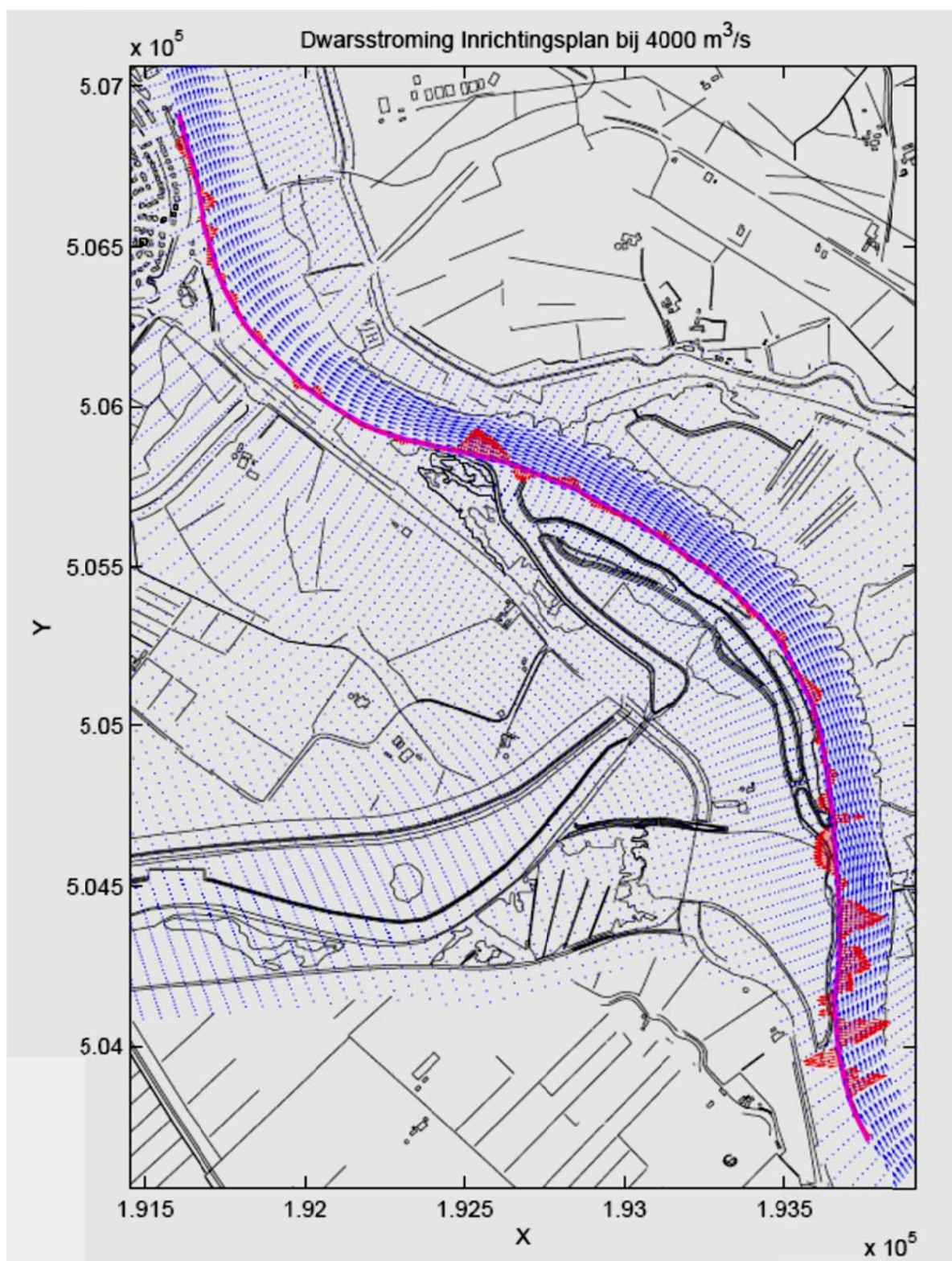


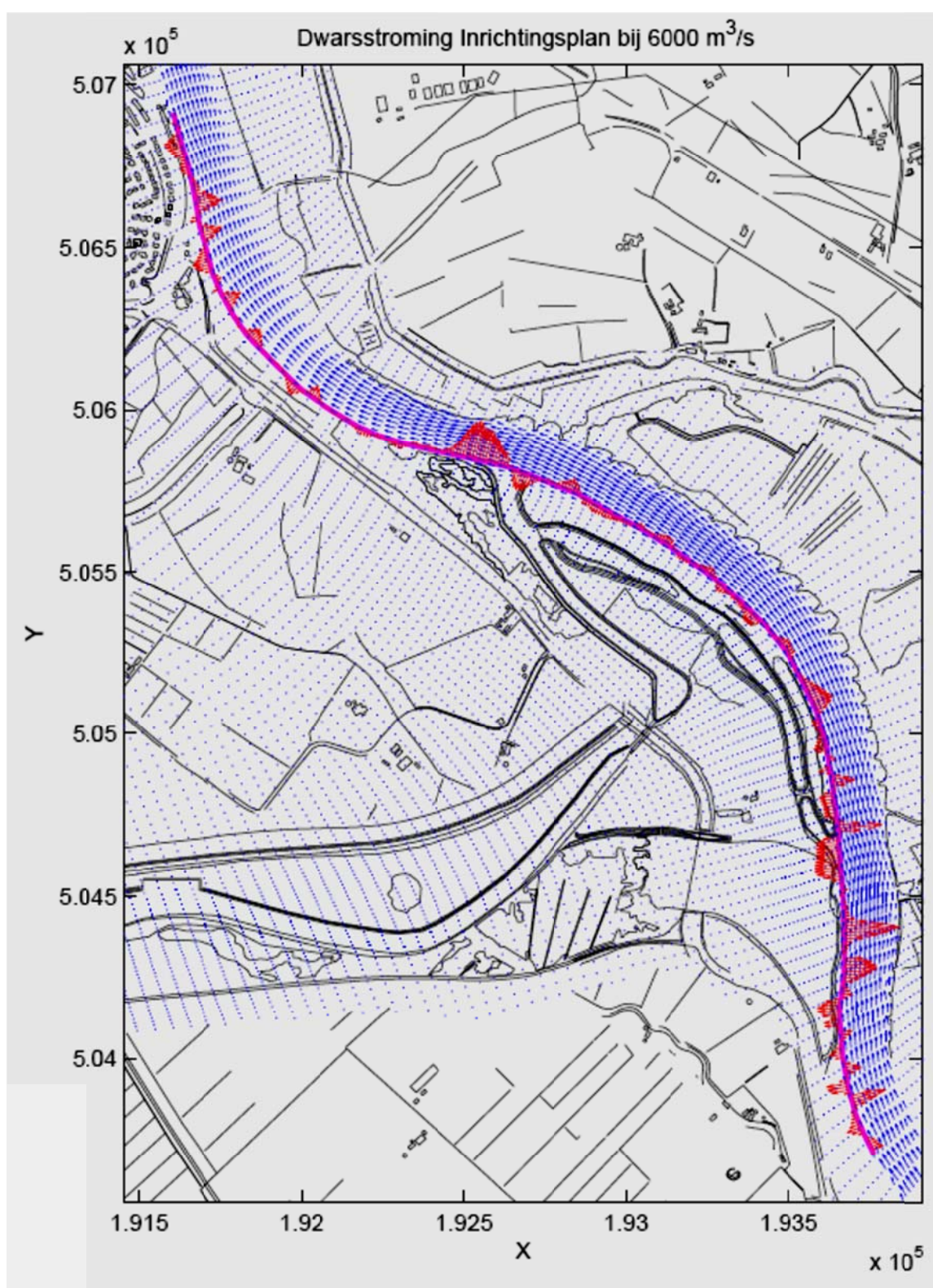


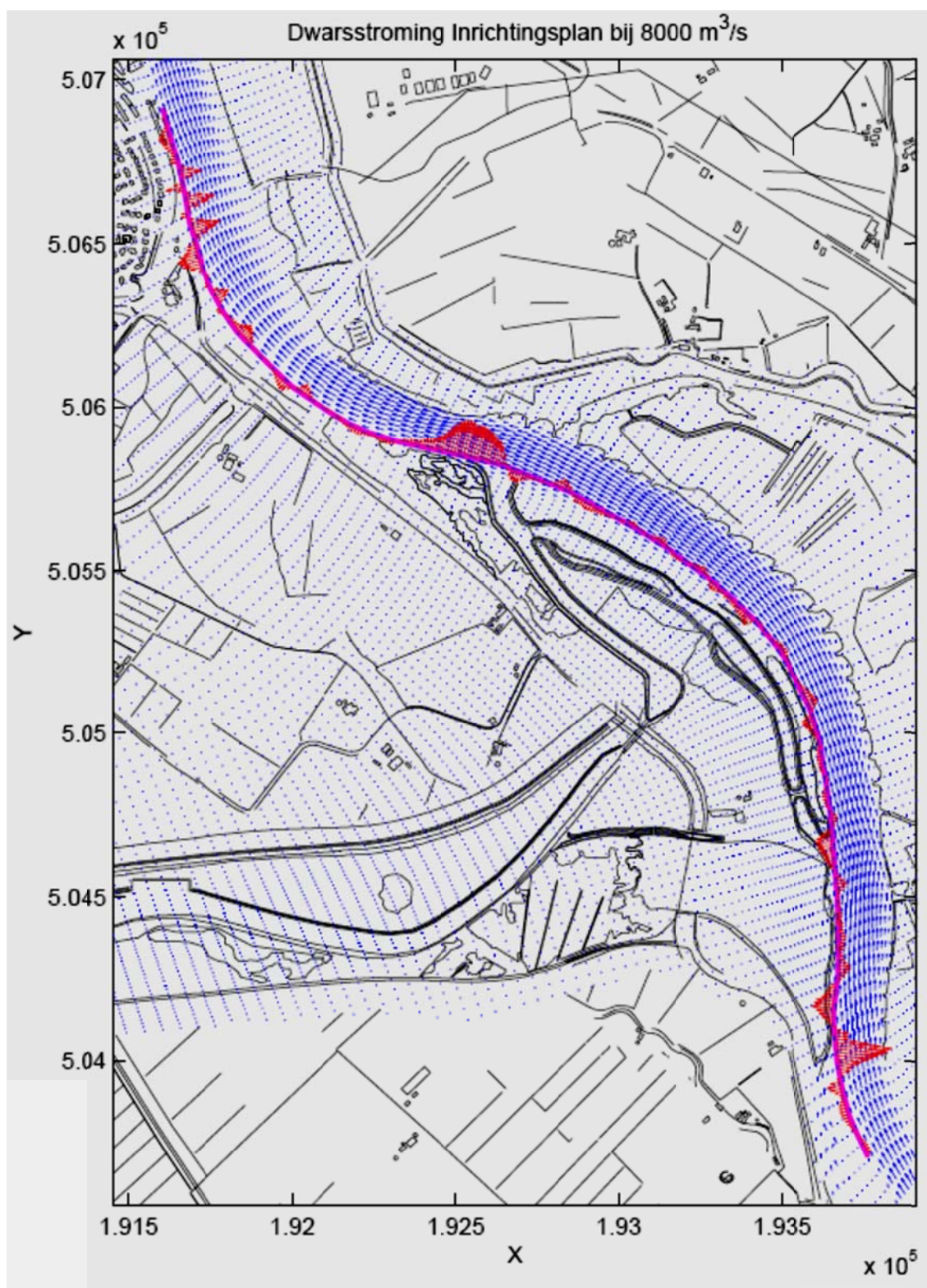


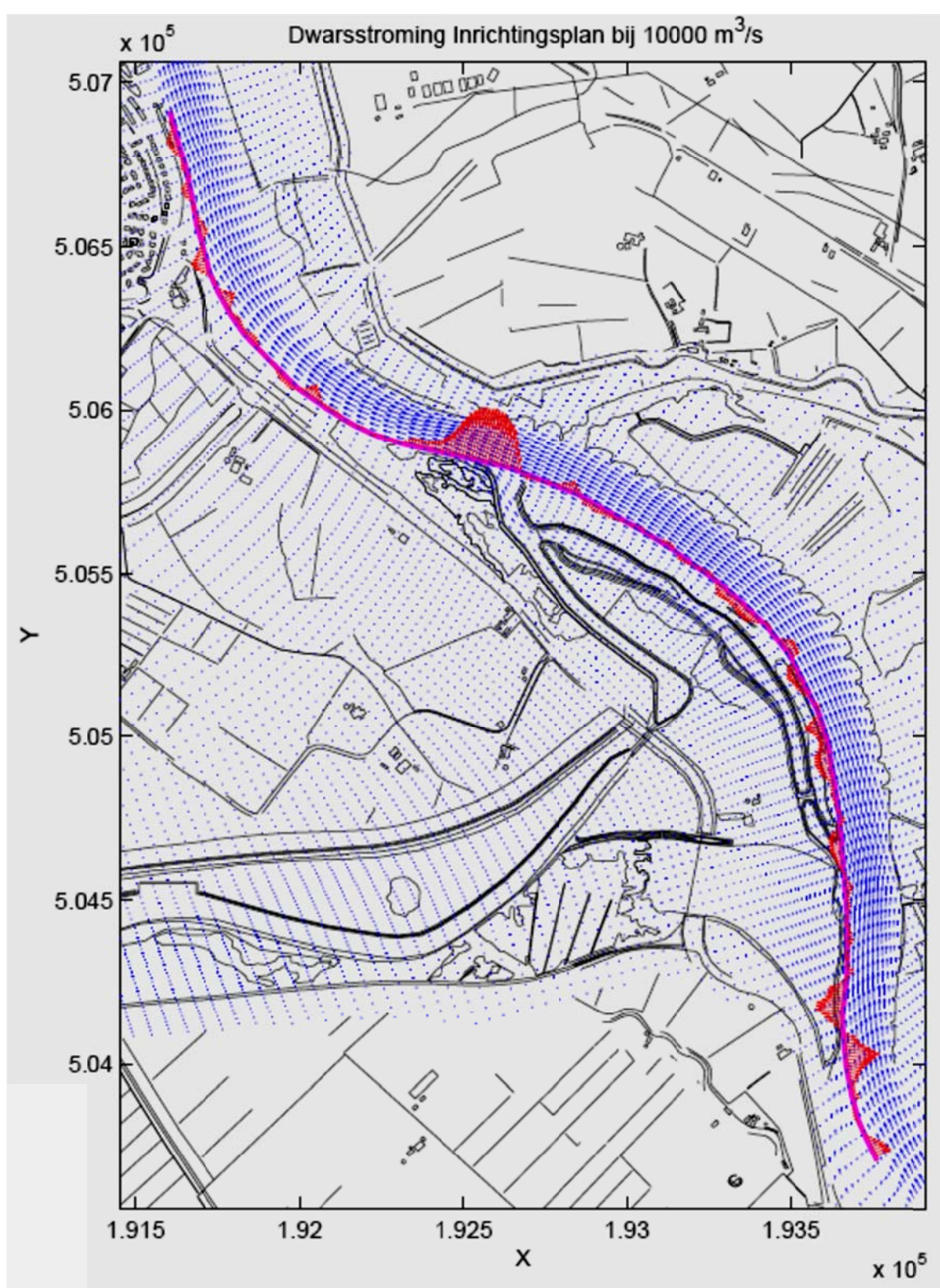
Fase 2

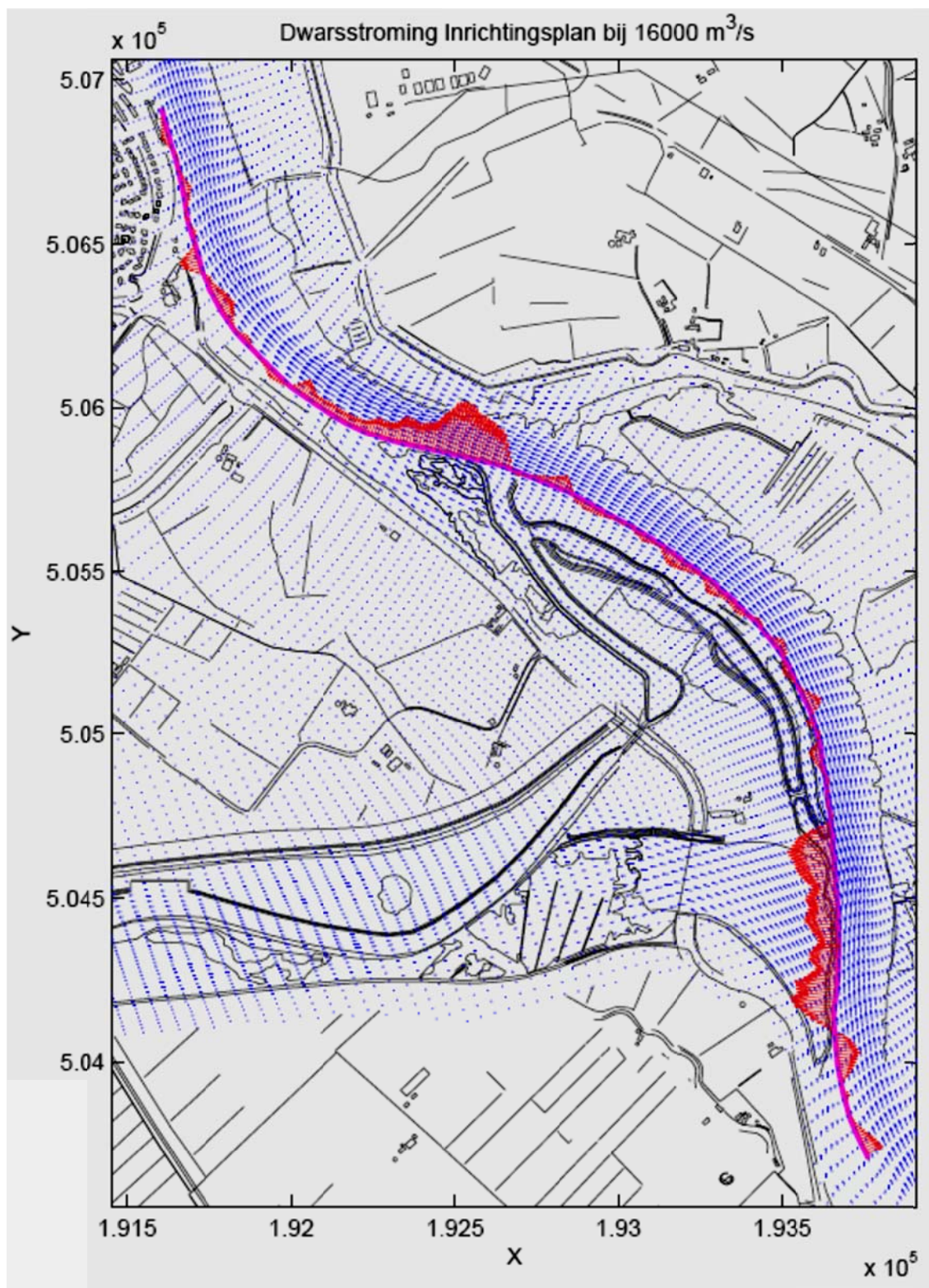














Tauw

Witteveen

Bos



Bijlage I

Notitie verkenning spuien via Roggebot



Tauw



Witteveen+Bos





Notitie

HASKONING NEDERLAND B.V.
WATER

Aan : Provincie Overijssel
Van : Wiebe de Jong, Gert Jan Akkerman
Datum : 28 November 2011
Kopie : Geert Gerrits, Archief
Onze referentie : 9V4747.B0/N0004/901807/VVDM/Nijm

**Betreft : Notitie verkenning haalbaarheid
'Roggebotvariant', hydraulische aspecten**

1. Inleiding

In deze notitie wordt de haalbaarheid van de Roggebotvariant voor het aflaten van hoogwater op de IJssel via het vervroegd realiseren van de Bypass onderzocht voor wat betreft de hydraulische aspecten. Het gaat hierbij om de centrale vraag welke afvoer de huidige Roggebotsluis (spuikokers en scheepvaartsluis) zou kunnen verwerken en welke uitbreidingsmogelijkheden voor extra afvoer er zijn. De vraag is wat de hydraulische effecten hiervan zijn. De haalbaarheid wordt onderzocht aan de hand van de kernvragen die in het plan van aanpak (PvA) zijn geformuleerd. Deze kernvragen worden onderstaand herhaald. De hydraulische aspecten, die met SOBEK zijn doorerekend, betreffen vraag 1a, 1b en 4.

2. Kernvragen

Vragen ten aanzien van de huidige Roggebotsluis

- 1a) Wat is de maximaal haalbare afvoer via de Roggebotsluis uitgaande van de huidige dimensies van de Roggebotsluis en de huidige situatie van de Drontermeerdijk?
- 1b) Welke maatregelen zijn nodig om de huidige Roggebotsluis gereed te maken voor deze afvoer?

Vragen ten aanzien van de Roggebotkering (uitbreiding van de Roggebotsluis)

- 2a) Is een afvoer van 400 m³/s (benodigd voor de resterende taakstelling bij Zwolle) haalbaar via de Roggebotkering uitgaande van gewijzigde dimensies van de Roggebotsluis (bijv. extra spuikoker) en zonodig een aanpassing van de Drontermeerdijk?
- 2b) Welke aanpassingen / maatregelen zijn nodig om de Roggebotkering en eventueel de Drontermeerdijk gereed te maken voor een maximale afvoer van 400 m³/s?

Overige vragen

3) Op welke wijze moeten of kunnen de volgende objecten worden gewijzigd ten opzichte van het fase 1 SNIP3 ontwerp, gegeven de maximale afvoer uit kernvraag 2?

- Reevedam: 2 opties: structurele oplossing (keerdeuren) en een tijdelijke oplossing (bijv. bigbags);
- Bypassdijken: optimalisatiemogelijkheden van de Bypassdijken?
- Inlaatwerk: welk inlaatwerk is minimaal noodzakelijk?
- Categorie C-kering: extra vergraven in fase 1?

4) wat is het hydraulisch effect t.a.v. het taakstellingspunt bij Zwolle van beide varianten zoals bedoeld bij respectievelijk kernvraag 1 en kernvraag 2?

5) wat is de globale bandbreedte van de wijzigingen in de kostenraming t.o.v. de SNIP3-raming?

A company of Royal Haskoning



3. Toepassing SOBEK en WAQUA

3.1. SOBEK

Het 1-D rekenmodel SOBEK is toegepast om de hydraulische aspecten van de kernvragen 1a en 1b te beantwoorden. Ondanks dat SOBEK een 1-dimensionaal model is geeft dit model een voldoende inzicht in deze processen om de haalbaarheid te kunnen beoordelen. Het voordeel van gebruik van het SOBEK model is de relatief korte rekentijd, hierdoor kunnen binnen de korte looptijd verschillende relevante scenario's worden beoordeeld.

Het toegepaste SOBEK model omvat een gebiedsschematisatie van de Veluwerandmeren. Dit model is in 2004 opgezet door het toenmalige RIZA (RIZA, 2004) met als doel het koppelen van verschillende regionale deelmodellen tot één landelijk SOBEK model.

Echter dit SOBEK model van de Veluwerandmeren is uiteindelijk nooit onderdeel geworden van het Protocol van Netwerkmodellen van RWS. Het toegepaste SOBEK model in deze haalbaarheidsstudie is daarmee geen officieel model in het Beheer en Onderhoud van modelschematisaties. Bij de uitlevering van het model is door RWS en Deltares nadrukkelijk gesteld dat het SOBEK Veluwerandmeren model niet geschikt is voor officiële toepassingen op het gebied van veiligheid. In deze studie is het SOBEK model ingezet voor de globale verkenning van de waterbeweging in de Veluwerandmeren tijdens de inzet van de Veluwerandmeren als retentiebekken met als doel de haalbaarheid van deze inzet te bepalen en voor deze globale toepassing veronderstellen wij dat het model geschikt is.

Voor de Roggebotvariant is dit SOBEK model van de Veluwerandmeren uitgebreid met de Bypass, waarvan al eerder een SOBEK schematisatie beschikbaar was. Daarnaast is het model afgekapt bij de toekomstige Reevedam. De modelranden van het model liggen daarmee bij het inlaatwerk, bij de Roggebotsluis en bij de Reevedam.

Bij de modelrand op het inlaatwerk wordt een bepaalde afvoer opgelegd welke onttrokken wordt uit de IJssel. Hiervoor is allereerst de vorm van de gestandaardiseerde 1/2000 jaar hoogwatergolf genomen. Hiervan wordt dan vanaf een bepaalde waterstand een bepaald percentage gedurende de tijd onttrokken naar de Bypass. Het inlaatwerk zelf is dus niet geschematiseerd in SOBEK, maar de onttrekking is opgelegd als een vaste laterale modelrand. De Reevedam is als vaste gesloten modelrand in het model gevoegd.

De Roggebotsluis is toegevoegd als een 'general structure'. De breedte van de sluiskolk is 10 m en het bodemniveau is NAP-4,2 m. Door deze wijze van schematiseren berekent het model energieverlies voor de afvoer door de sluiskolk. De correctiefactor voor effectiviteit is op 0,9 gezet.

3.2. WAQUA

Om inzicht te krijgen in de lokale stroomsnelheden in de Bypass én in het waterstandsverlagende effect van de onttrekking zijn berekeningen gemaakt met het 2D hydraulische rekenmodel WAQUA. Dit rekenmodel is ook ingezet tijdens de SNIP3 fase van de Bypass. Met WAQUA kan bepaald worden in welke mate de maximale waterstand bij Zwolle wordt verlaagd tijdens een 1/2000 jaar afvoer(golf) op moment van inzet van de Bypass.

4. Resultaten huidige Roggebotsluis

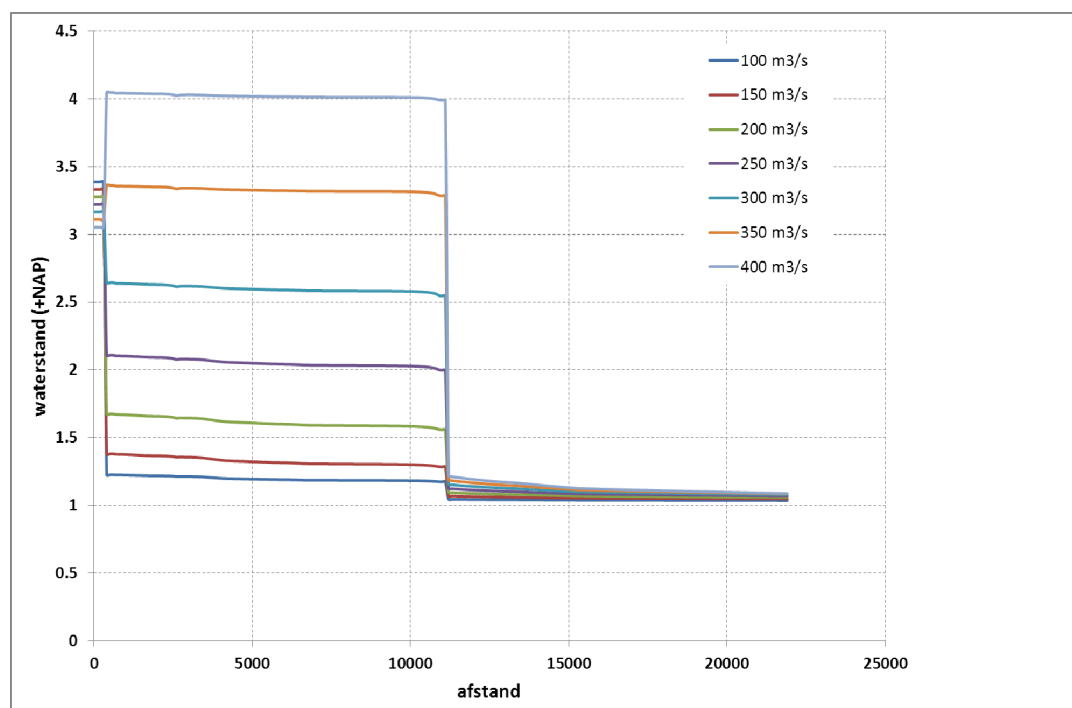
Met behulp van SOBEK is antwoord gegeven op de eerste kernvraag:

1a: Wat is de maximaal haalbare afvoer via de Roggebotsluis uitgaande van de huidige dimensies van de Roggebotsluis en de huidige situatie van de Drontermeerdijk?

Bij verschillende onttrekkingsvolumes bij de inlaat met verschillende piekafvoeren is beoordeeld wat het waterstandsverloop in het watersysteem wordt en wat het verval (en stroomsnelheid) wordt bij de huidige Roggebotsluis. De onttrekkingsvolumes zijn als dynamische (tijdsafhankelijke) afvoergolf gemodelleerd met een piekafvoer variërend van 100 m³/s tot 400 m³/s, met stapgroottes van 50 m³/s. In tabel 1 en figuur 1 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 1: Resultaten waterstanden in Bypass bij verschillende onttrekkingsvolumes

Piekafvoer Standaard onttrokken afvoergolf	Maximale waterstand in de Bypass nabij het inlaatwerk	Maximale waterstand in de Bypass nabij Roggebot(-zuid)	Waterstand op het Vossemeer (rand model)	Stroomsnelheid Roggebot (inschatting $U=1,05 \cdot \sqrt{2g d H}$)
100 m ³ /s	NAP+1,31 m	NAP+ 1,27 m	NAP+ 1,0 m	2,44 m/s
150 m ³ /s	NAP+1,62 m	NAP+ 1,56 m	NAP+ 1,0 m	3,51 m/s
200 m ³ /s	NAP+2,04 m	NAP+ 1,96 m	NAP+ 1,0 m	4,60 m/s
250 m ³ /s	NAP+2,54 m	NAP+ 2,47 m	NAP+ 1,0 m	5,69 m/s
300 m ³ /s	NAP+3,17 m	NAP+ 3,09 m	NAP+ 1,0 m	6,79 m/s
350 m ³ /s	NAP+ 3,89 m ¹	NAP+ 3,84 m	NAP+ 1,0 m	7,91 m/s
400 m ³ /s	NAP+ 4,63 m ¹	NAP+ 4,59 m	NAP+ 1,0 m	8,90 m/s



Figuur 1: Maximale waterstanden in de Bypass en Drontermeer en Vossemeer bij verschillende onttrekkingsvolumes (SOBEK uitkomsten)

¹ Waterstand hoger dan de waterstand op de IJssel, irreëel modelresultaat

Uit deze eerste berekeningen is geconcludeerd dat bij afvoeren hoger dan $250 \text{ m}^3/\text{s}$ de stroomsnelheden groter worden dan 6 m/s in de sluiskolk. Dergelijke snelheden zijn zo hoog, dat ze haalbaar lijken. In de notitie over het kunstwerk Roggebotsluis is hier nader op ingegaan. Verder wordt de waterstand nabij het inlaatwerk bij een afvoer van $350 \text{ m}^3/\text{s}$ en hoger, hoger dan de waterstand tijdens de piekafvoer op de IJssel. Dit kan in werkelijkheid niet, dus het onttrekkingsdebiet zal navenant afnemen. De hoge waterstanden worden nagenoeg geheel veroorzaakt door de weerstand bij de huidige Roggebotsluis en niet door de beperkte capaciteit van de Bypass (dat laatste is evident, omdat de Bypass is 'uitgelegd' op orde $750 \text{ m}^3/\text{s}$).

Al met al lijkt een afvoer hoger dan $250 \text{ m}^3/\text{s}$ door de te grote stroomsnelheid in de Roggebotsluis en de te beperkte doorvoercapaciteit van de sluis niet haalbaar voor de huidige sluis.

Uit de parallel met de SOBEK berekeningen uitgevoerde analyse van het kunstwerk Roggebotsluis (zie de notitie kunstwerk Roggebotsluis) is naar voren gekomen dat de waterstand aan de Roggebot-Zuid zijde niet hoger mag worden dan NAP+1,70 m, de hoogte van het sluisplateau. Indien de waterstand hoger wordt dan deze hoogte, dan worden de risico's op schade aan de sluis te groot en wordt de situatie onbeheersbaar (zie notitie kunstwerk Roggebotsluis). Ook voor de huidige Drontermeerdijk geldt dat deze een waterniveau van maximaal ca. NAP+1,70 m veilig kan keren (zie notitie Waterkeringen).

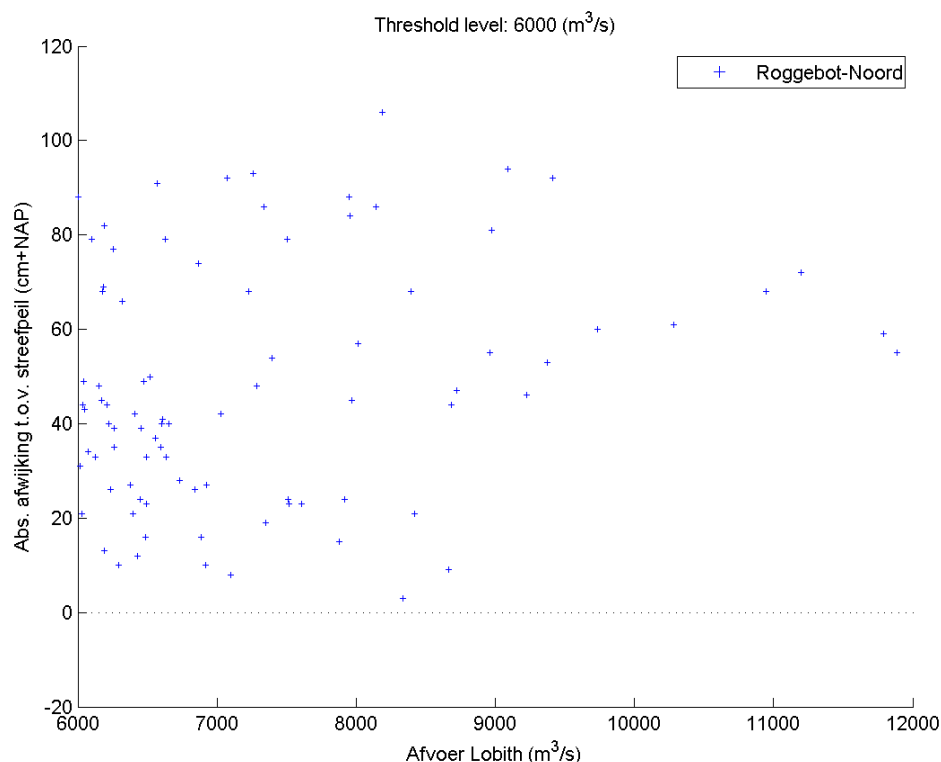
Met het uitgangspunt van NAP+1,70 m is opnieuw met SOBEK bepaald wat de maximum afvoer door de huidige sluiskolk kan zijn. Bij een waterstand van NAP+1 m op het Vossemeer is dit ca. $170 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit peil van NAP+1 m op het Vossemeer is echter vrij hoog, aangezien dit het peil betreft van een combinatie van een 1/1 jaar storm en een 1/2000 jaar afvoer. Een hoger peil op het Vossemeer reduceert de afvoer door de Roggebotsluis, doordat het verval kleiner wordt.

Op basis van een analyse van historische data is beoordeeld wat een realistisch peil is op het Vossemeer bij een extreem hoge afvoer op de IJssel. Figuur 2 toont de correlatie tussen de afvoer bij Lobith (vanaf afvoeren hoger dan $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$) en het peil op het Vossemeer bij Roggebot Noord. De correlatie is gebaseerd op historische meetgegevens in de periode van begin 1993 tot eind 2010. De meerpeilen betreffen daggemiddelde waarden. In figuur 2 is te zien dat er bij een fors hoogwater op de Rijn en daarmee op de IJssel zeker sprake is van een verhoogd peil bij Roggebot Noord. De gegevens tonen dat de waterstand op het Vossemeer ca. 20-100 cm bij de opgetreden hoogwaters hoger zijn dan het normale winterstreefpeil. Bij Roggebot Noord is dus sprake van een correlatie tussen hoog meerpeil en een hoge IJsselafoer. Voor de verdere berekeningen met SOBEK is een conservatieve waterstandsverhoging tot NAP+0,60 m aangehouden: dit is 100 cm boven het winterstreefpeil.

Bij een peil van het Vossemeer van NAP+0,60 m kan er ca. $185 \text{ m}^3/\text{s}$ door de Roggebotsluis. Het peil blijft dan met een peil van NAP+1,60 m net onder de vereiste NAP+1,70 m. Bij een afvoer van ca. $195 \text{ m}^3/\text{s}$ loopt het peil bij de Roggebotsluis op tot NAP+1,70 m wanneer het peil op het Vossemeer NAP+0,60 m bedraagt. De stroomsnelheid bij deze afvoer door de Roggebotsluis is circa 5 m/s . Dit is een zeer hoge stroomsnelheid, maar deze wordt door ons nog als hanteerbaar beschouwd qua benodigde maatregelen (zie notitie kunstwerk Roggebotsluis).

De conclusie is hiermee dat de huidige Roggebotsluis (met aanpassing aan de bodemverdediging, de instroming en het vastzetten van schutsluisdeuren) tot een afvoer van $195 \text{ m}^3/\text{s}$ kan afvoeren.

Hierbij is rekening gehouden met een verhoogd peil op het Vossemeer van NAP+0,60 m (100 cm verhoogd t.o.v. winterstreefpeil). Bij deze afvoer blijft waterstand bij Roggebot lager dan het sluisplateau en achten wij de stroomsnelheid nog hanteerbaar (qua benodigde aanpassingen). Ook blijft de waterstand langs de Drontermeerdijk dusdanig dat de huidige Drontermeerdijk deze veilig zal kunnen keren.



Figuur 2: correlatie tussen waterstanden (cm afwijking t.o.v. winterstreefpeil van NAP-0,4 m) op het Vossemeer bij Roggebot Noord en de afvoer bij Lobith (m^3/s). Gebaseerd op dagelijkse meetgegevens tussen 1993 en 2010

5. Resultaten uitbreiding bij Roggebotkering

Met behulp van nadere SOBEK analyses is antwoord gegeven op de tweede kernvraag:
2a: Is een afvoer van $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (benodigd voor de resterende taakstelling bij Zwolle) haalbaar via de Roggebotkering uitgaande van gewijzigde dimensies van de Roggebotsluis (bijv. extra spuikoker) en zonodig een aanpassing van de Drontermeerdijk?

Het naastgelegen (huidige) spuimiddel bij de Roggebotsluis kan ook ingezet worden voor het afdalen van hoog water. De spuivoorziening bestaat uit twee betonnen kokers van 2,0 m bij 2,0 m waarbij de drempel op NAP -2,15 m ligt.

Bij de nadere SOBEK analyses is deze koker als 'general structure' in het SOBEK model gemodelleerd met een breedte van 2 m en een hoogte van 2 m. De correctiefactor voor effectiviteit is op 0,7 gezet.

Met de inzet van dit spuimiddel kan een totale afvoer van ca. $215\text{--}220 \text{ m}^3/\text{s}$ afgevoerd worden binnen de eerder gehanteerde grens van de maximum waterstand (NAP+1,70 m). De extra afvoer door het spuimiddel is hierbij dus slechts zo'n $20\text{--}25 \text{ m}^3/\text{s}$.



Conform de eerdere berekeningen is ook hierbij rekening gehouden met een verhoogd peil op het Vossemeer van NAP+0,60 m (100 cm verhoogd t.o.v. winterstreefpeil). Bij deze afvoer blijft de waterstand bij Roggebot binnen de vereiste NAP+1,70 m.

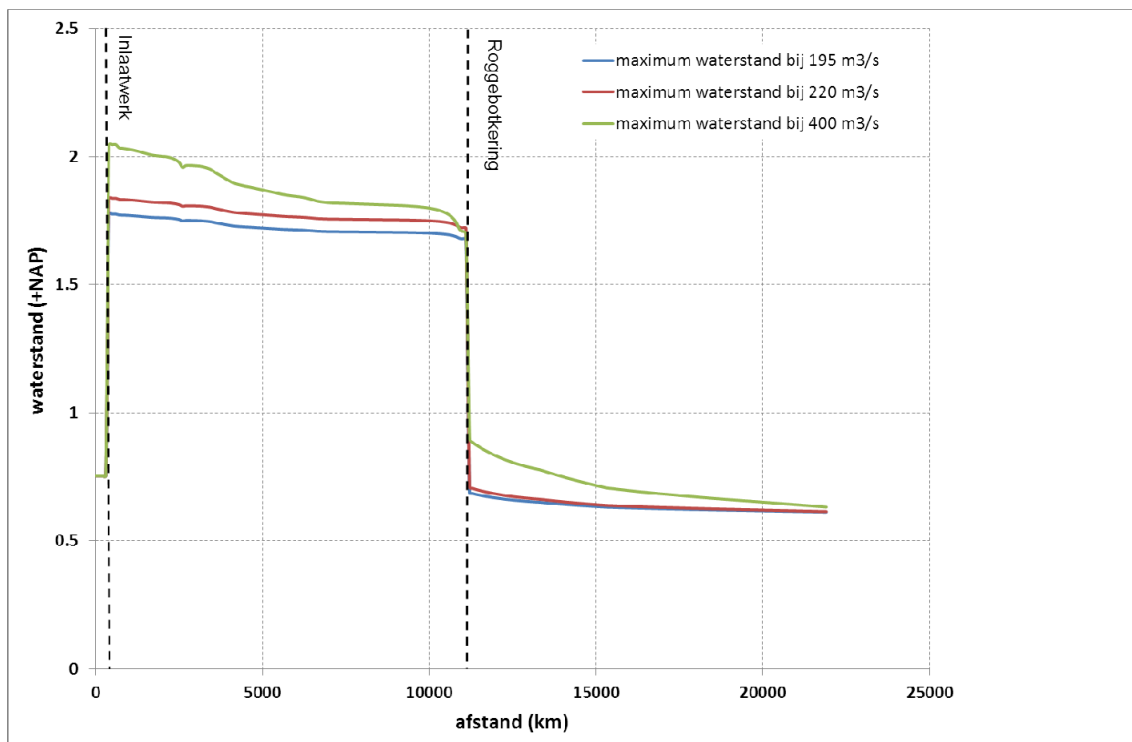
Om tot een afvoer van 400 m³/s te komen bij een waterstand bij de Roggebotkering die niet hoger mag worden dan NAP+1,70 m is een fors extra spuimiddel nodig die nog eens ca. 180 m³/s kan afvoeren. Dit betekent dat er een middel moet komen die nog eenzelfde grootte orde van afvoer kan verwerken als de huidige Roggebotsluis.

Afgeleid kan worden dat een spuimiddel van 4,5 m hoog met een drempel op NAP-3,0 m en plafond op NAP+1,5 m een breedte moet hebben van ca. 15 m om ca. 180 m³/s te kunnen doorlaten teneinde de waterstand bij een afvoer van 400 m³/s te beperken tot NAP+1,70 m. Er is hierbij gerekend met een correctiefactor voor effectiviteit van 0,8. De waterstand op het Vossemeer is wederom NAP+0,60 m.

In tabel 2 is een overzicht van de aldus verkregen waterstanden gegeven. Het verloop van de waterstanden is in figuur 3 te zien.

Tabel 2: Resultaten waterstanden in Bypass bij inzet van Roggebotsluis, spuiokers en een extra spuimiddel

	Piekafvoer Standaard onttrokken afvoergolf	Maximale waterstand in de Bypass nabij het inlaatwerk	Maximale waterstand in de Bypass nabij Roggebot(-zuid)	Waterstand op het Vossemeer (rand model)
Alleen Roggebotsluis	195 m ³ /s	NAP+1,77 m	NAP+ 1,68 m	NAP+ 0,6 m
Roggebotsluis + spuioker	220 m ³ /s	NAP+1,84 m	NAP+ 1,73 m	NAP+ 0,6 m
Roggebotsluis + spuioker + extra spuimiddel	400 m ³ /s	NAP+2,04 m	NAP+ 1,72 m	NAP+ 0,6 m



Figuur 3: Waterstanden in Bypass voor de huidige sluis, de huidige sluis en huidige spuikoker en met een extra spuumiddel bij een peil op het Vossemeer van NAP+0,60 m

6. WAQUA resultaten

6.1. Waterstandseffect

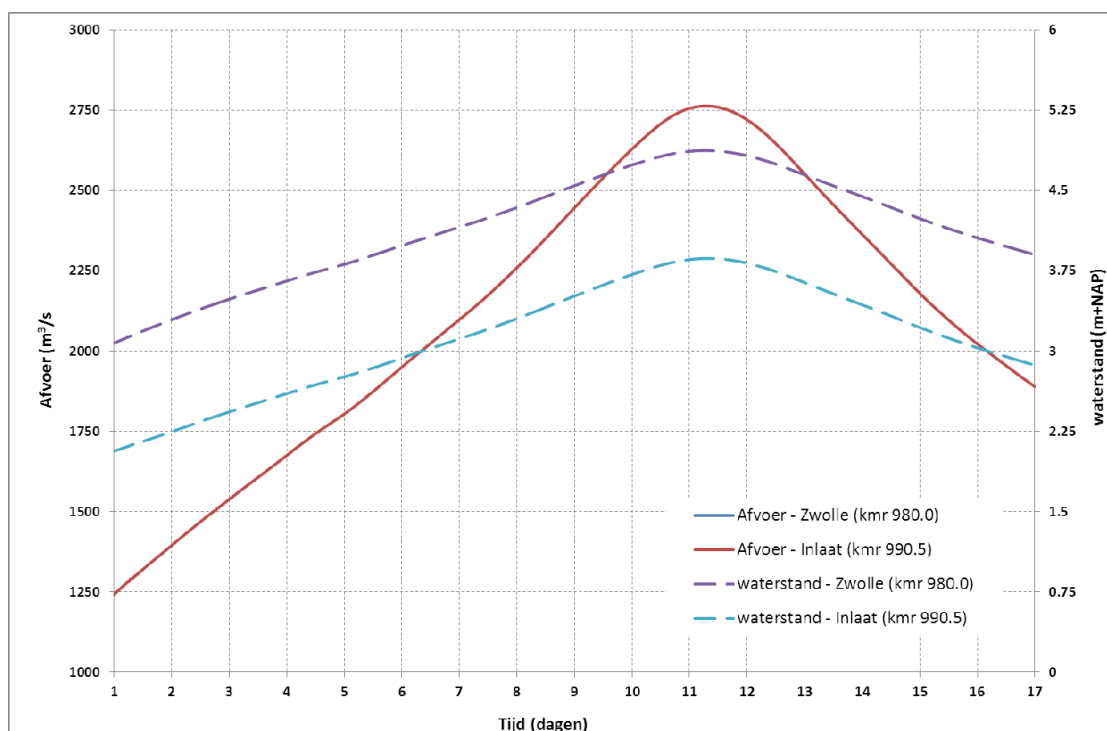
Met behulp van enkele WAQUA berekeningen is antwoord gegeven op de vierde kernvraag:
4: Wat is het hydraulisch effect t.a.v. het taakstellingspunt bij Zwolle van beide varianten zoals bedoeld bij respectievelijk kernvraag 1 en kernvraag 2?

De onttrekking van IJsselwater naar de Bypass tijdens een extreme hoge afvoersituatie is een dynamisch proces. De afvoer en daarmee de waterstand zullen gedurende het verloop van de hoogwater situatie steeds wijzigen. Dit tijdsafhankelijke verloop is van belang om inzicht te krijgen in het waterstandseffect bij Zwolle ten gevolge van de onttrekking.

Om inzicht te krijgen in deze aspecten zijn berekeningen gemaakt met het 2D hydraulische rekenmodel WAQUA. Dit rekenmodel is het instrument wat gebruikt dient te worden voor de bepaling van de taakstelling (eis PDR). Echter wordt er in de vereiste berekening van de PDR altijd gerekend met een constante afvoer van 16.650 m³/s. Voor de volledigheid is in de aanpak voor de onderhavige studie ervoor gekozen om te rekenen met een tijdsafhankelijke (dynamische) afvoergolf met een piek van 16.650 m³/s. Hierbij is de gestandaardiseerde afvoergolf van RWS gebruikt (aangeleverd door RWS-ON voor deze studie) met een terugkeertijd van 1/2000 jaar.

In de WAQUA berekeningen is gerekend met dezelfde randvoorwaarden en uitgangspunten als welke zijn gebruikt voor de bepaling van de taakstelling van de Bypass. Deze randvoorwaarden zijn te vinden in de rapportage van de hydraulische effecten van de Bypass (Royal Haskoning, 28 april 2011, rapport 9V4747.A9 R0004).

Figuur 4 toont het verloop de gestandaardiseerde 1/2000 jaar afvoergolf bij de inlaat en bij Zwolle, zonder onttrekking naar de Bypass. De originele gestandaardiseerde afvoergolf geldt bij Lobith. Met behulp van de relatie tussen de Lobith afvoer en de IJssel afvoer, is de golf omgezet naar afvoeren op de IJssel. De totale gemodelleerde golf heeft een duur van 18 dagen met een piekafvoer van $2.561 \text{ m}^3/\text{s}$ op de IJsselkop. Vanwege laterale afvoeren op de IJssel neemt de maximale afvoer bij Zwolle toe tot $2.765 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 4: Verloop gestandaardiseerde 1/2000 jaar afvoergolf inclusief lateralen bij Zwolle. De grafiek toont zowel het afvoerloop als het waterstandsverloop bij Zwolle en ter plaatse van het inlaatwerk

Totaal zijn er 3 berekeningen gemaakt met een dynamische onttrekking met een bepaalde piekafvoer. De duur van de onttrekking is circa 3 tot 4 dagen. De maximale waterstandsval bij Zwolle is gegeven in tabel 3.

Tabel 3: Overzicht van het waterstandseffect per scenario dynamische berekening

Scenario	Maximale onttrekking	Maximale waterstandsverlaging bij Zwolle
1.	$185 \text{ m}^3/\text{s}$	8,4 cm
2.	$250 \text{ m}^3/\text{s}$	11,3 cm
3.	$300 \text{ m}^3/\text{s}$	13,3 cm

Uit deze data is de maximale waterstandsval bij Zwolle bij een afvoer van 195 en $400 \text{ m}^3/\text{s}$ geïnterpoleerd dan wel geëxtrapoleerd. Bij $195 \text{ m}^3/\text{s}$ leidt dit tot een waterstandsval bij Zwolle (kmr 980,0) van circa 8,7 cm bij een 1/2000 jaar conditie. Bij $400 \text{ m}^3/\text{s}$ is de daling bij Zwolle circa 16,9 cm.

Indien de onttrekking binnen een statische berekening in WAQUA wordt gegeven dan is het maximum waterstandseffect bij Zwolle circa 9,5 cm bij 195 m³/s, 13,6 cm bij 285 m³/s en circa 17,9 cm bij 400 m³/s.

Tabel 4: Overzicht van het waterstandseffect per scenario statische berekening

Scenario	Afvoer	Waterstandsverlaging
1	195 m ³ /s	Maximaal ca. 9,5 cm
2	285 m ³ /s	Maximaal ca. 13,6 cm
3	400 m ³ /s	Maximaal ca. 17,9 cm (ingeschat resultaat)

Aangezien de afvoer door de Bypass en de Roggebotsluis niet gebonden is aan een maximum volume, zoals bij retentie op de Veluwerandmeren het geval is, kan het inlaatwerk al veel eerder geopend zijn. In principe kan hiermee het waterstandsverlagend effect toenemen.

Uit diverse berekeningen met WAQUA blijkt dat een statische berekening met het maximale onttrekkingsdebiet eenzelfde effect geeft als een dynamische berekening met een continue actieve onttrekking naar de bypass. Dit kan worden verklaard uit de lange looptijd van de afvoergolf op de Beneden-IJssel, waardoor deze zich lokaal als quasi-stationair gedraagt. De onttrekking door de Bypass is daarmee goed te berekenen middels een statische berekening. Dit in tegenstelling tot de sterk tijdsgebonden onttrekking bij eventuele retentie op de Veluwerandmeren, waarvoor wél dynamisch gerekend moet worden. Tabel 5 toont dat de waterstandsverlaging in geval van een tijdsgebonden onttrekking (retentie) circa één centimeter lager uitvalt dan bij een continue onttrekking bij een geopend inlaatwerk.

Tabel 5: Overzicht van het waterstandseffect per scenario statische berekening

Scenario	Afvoer	Waterstandsverlaging statische berekening	Waterstandsverlaging dynamische berekening bij kort durende onttrekking (retentie)
1	195 m ³ /s	Maximaal ca. 9,5 cm	Maximaal ca. 8,7 cm (ingeschat resultaat)
2	285 m ³ /s	Maximaal ca. 13,6 cm	Maximaal ca. 12,6 cm (ingeschat resultaat)
3	400 m ³ /s	Maximaal ca. 17,9 cm (ingeschat resultaat)	Maximaal ca. 16,9 cm (ingeschat resultaat)

Geconcludeerd wordt dat het maximaal haalbare waterstandseffect van afvoer via de huidige Roggebotsluis circa 9,5 cm bij Zwolle bedraagt bij een 1/2000 jaar afvoer. Het maximale waterstandseffect bij een afvoer van 400 m³/s is circa 17,9 cm bij Zwolle bij een 1/2000 jaar afvoer.

Opgemerkt wordt dat in de WAQUA berekening geen rekening is gehouden met een combinatie van onttrekking door de Bypass en een gedeeltelijke zomerbedverlaging op de IJssel. Deze twee maatregelen beïnvloeden elkaar waardoor de som van de twee individuele waterstandsverlagende effecten meer is dan het daadwerkelijke gecombineerde effect. Deltares voert een analyse uit van dit gecombineerde waterstandsverlagende effect bij Zwolle.

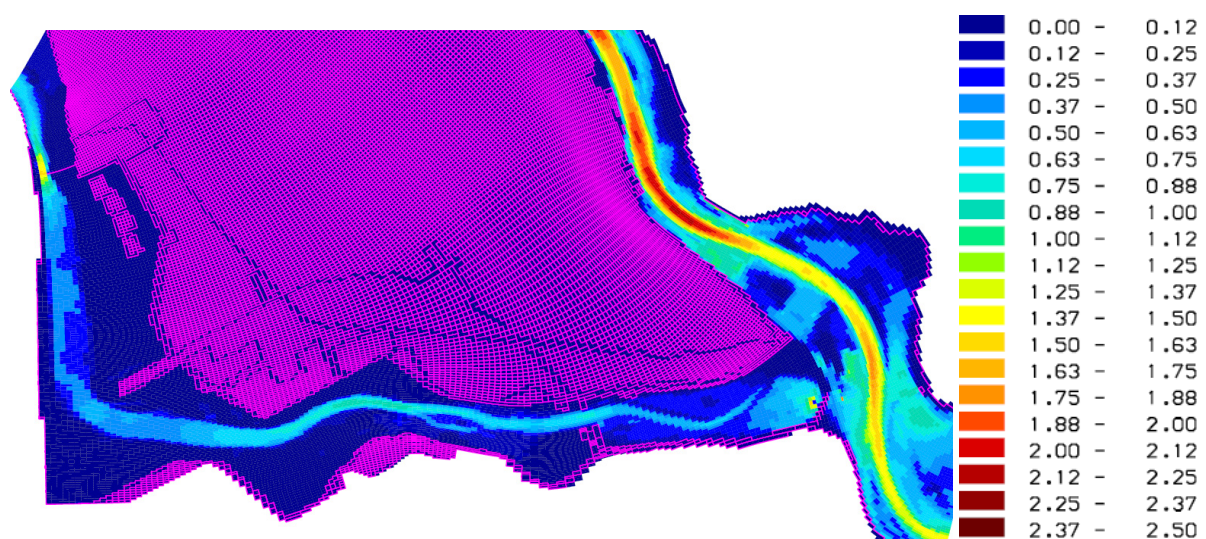
6.2. Stroomsnelheden in de Bypass

Figuur 5 toont de stroomsnelheden in de Bypass voor een afvoer van 250 m³/s met extra spuimiddelen in de Roggebotkering.

De figuur toont dat de stroomsnelheden zich concentreren in de vaargeul en open water van de Bypass. Hier zijn de snelheden tussen de 0,5 en 1,0 m/s. Langs de dijken blijven de stroomsnelheden laag, met snelheden tot 0,4 m/s.

Deze stroomsnelheden zijn lager dan de maximaal optredende stroomsnelheden tijdens fase 2 van de Bypass, waarop de Bypass uiteindelijk ontworpen moet worden.

Nabij het inlaatwerk en de kunstwerken in de Roggebotkering lopen de stroomsnelheden wel op tot extreme waarden van ca. 5 m/s. Hier is aandacht voor de oever en bodemverdediging noodzakelijk en bij de inlaat een woelbakvoorziening. Dit is nader uitgewerkt in de notities voor het kunstwerk Roggebotkering en het inlaatwerk.



Figuur 5: Stroomsnelheden bij een afvoer van 250 m³/s met extra spuumiddelen in de Roggebotkering

Op basis van de stroomsnelheden is geconcludeerd dat de ligging van de categorie C-kering, zoals voorzien in fase 1 van de Bypass, te veel stroomcontractie zal geven. De doorsteek van 30 m breed is te smal om een afvoer van 195 m³/s of 400 m³/s te verwerken zonder te hoge stroomsnelheden te krijgen. Het wordt aanbevolen minimaal een doorsteekbreedte van circa 250 m aan te leggen voor doorlaten van afvoer van 400 m³/s. Bij afvoer van 220 m³/s kan deze doorsteekbreedte smaller worden aangehouden, echter een breedte van 150 m is dan zeker wenselijk.

7. Gevoeligheidsanalyse resultaten SOBEK

Aan de hand van een aantal SOBEK berekeningen is de gevoeligheid van verschillende onzekerheden inzichtelijk gemaakt. Dit inzicht helpt om de effectiviteit van deze variant op de juiste waarde te toetsen. In deze gevoeligheidsberekeningen komen de volgende onzekerheden voor:

- Waterstand op het Vossemeer;
- Energieverlies en contractie in de huidige Roggebotsluis;
- Tijdsduur en vorm van onttrekking van de IJsselafvoer;

Tabel 6: Resultaten gevoeligheidsanalyse resultaten SOBEK

	Piekafvoer Standaard onttrokken afvoergolf	Maximale waterstand in de Bypass nabij het inlaatwerk	Maximale waterstand in de Bypass nabij Roggebot(-zuid)	Waterstand op het Vossemeer (rand model)
Standaard afvoergolf	250 m ³ /s	NAP+2,54 m	NAP+ 2,47 m	NAP+ 1,0 m
Vorm afvoergolf studie retentie Veluwerandmeren	250 m ³ /s	NAP+2,53 m	NAP+ 2,45 m	NAP+ 1,0 m
Waterpeil Vossemeer	250 m ³ /s	NAP+2,36 m	NAP+2,28 m	NAP+ 0,15 m
Waterpeil Vossemeer	250 m ³ /s	NAP+2,39 m	NAP+2,31 m	NAP+ 0,40 m
Waterpeil Vossemeer	250 m ³ /s	NAP+2,45 m	NAP+2,37 m	NAP+ 0,70 m
Correction factor 0,8 i.p.v. 0,9 voor Roggebotsluis	250 m ³ /s	NAP+2,83 m	NAP+2,77 m	NAP+ 1,0 m
Tijdsduur onttrekking piekafvoer een dag langer	250 m ³ /s	NAP+2,53 m	NAP+ 2,45 m	NAP+ 1,0 m

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de berekende waterstanden niet gevoelig zijn voor:

- Vorm van de afvoergolf;
- Duur van de piekafvoer van de afvoergolf.

Hieruit is geconcludeerd dat de vorm van de onttrekking niet nader geanalyseerd hoeft te worden. De wijze van onttrekking heeft geen invloed op maximaal waterpeil in de Bypass (mits deze van voldoende lange duur is). Dit is in overeenstemming met de eerdere constatering dat de hoogwatergolf een quasi-stationair karakter heeft door zijn lange duur.

De berekende waterstanden zijn wel gevoelig voor:

- Lichte gevoeligheid voor de waterstand op Vossemeer. Een waterstand van NAP+0,15 m of NAP+0,7 m geeft 10 cm waterstandsverschil bij de Roggebotsluis zuidzijde;
- Significante gevoeligheid voor de correction factor voor effectiviteit van doorstroming door de kunstwerken. Indien de sluiskolk slechts 80% effectief kan meestromen i.p.v. de veronderstelde 90% dan geeft dit een waterstandseffect van 30 cm verhoging bij de Roggebotsluis zuidzijde;

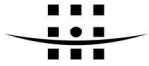
Gezien de gevoeligheid van ca. 30 cm rondom de berekende waterstanden bij de Roggebotsluis moet rekening gehouden worden met een bandbreedte van ca. 40 m³/s rond de in de notitie vermelde afvoeren.

Voor wat betreft de waterstanden op het Vossemeer is rekening gehouden met een conservatief peil van NAP+0,6 m (100 cm verhoogd ten opzichte van streefpeil). Voor wat betreft de effectiviteit van meestromen is het onzeker of de 90% voor de Roggebotsluis, de 70% voor de spuikokers en de 80% voor het extra spuimiddel representatief is. Vanwege deze onzekerheid zou een onzekerheidsmarge van ca. 40 m³/s aangehouden moeten worden rondom de gegeven afvoeren.

8. Conclusies

Het volgende kan worden geconcludeerd:

- De huidige Roggebotsluis (met aanpassing aan de bodemverdediging en vastzetten deuren) kan een afvoer tot maximaal 195 m³/s afvoeren. Hierbij is rekening gehouden met een verhoogd peil op het Vossemeer van NAP+0,60 m (100 cm verhoogd t.o.v. winterstreefpeil).



Bij deze afvoer blijft de stroomsnelheid hanteerbaar en blijft de waterstand bij de Roggebotsluis onder het sluisplateau. Ook blijft de waterstand langs de Drontermeerdijk dusdanig dat de huidige situatie van de Drontermeerdijk deze veilig kan keren;

- Met de inzet van het huidige spuimiddel (2 kokers van 2 bij 2 m) kan een totale afvoer van ca. 215-220 m³/s afgevoerd worden, waarbij de extra afvoer door het spuimiddel dus slechts zo'n 20-25 m³/s bedraagt;
- Om tot een afvoer van 400 m³/s te komen bij een waterstand bij de Roggebotkering die niet hoger wordt dan NAP+1,70 m, is een extra spuimiddel nodig die nog eens ca. 180 m³/s kan afvoeren. Dit betekent dat er een middel moet komen die nog eenzelfde afvoer kan verwerken als de huidige Roggebotsluis. Hiertoe is een spuimiddel van 4,5 m hoog met een drempel op NAP-3,0 m en plafond op NAP+1,5 m en een breedte van ca. 15 m noodzakelijk;
- Het maximale waterstandseffect van een afvoer van 195 m³/s via de huidige Roggebotsluis bij Zwolle is bij een 1/2000 jaar afvoer circa 9,5 cm. Het maximale waterstandseffect bij een afvoer van 400 m³/s is circa 17,9 cm bij Zwolle bij een 1/2000 jaar afvoer. In dit resultaat is geen rekening gehouden met de zomerbedverlaging;
- Gezien de gevoeligheid van ca. 30 cm rondom de berekende waterstanden bij de Roggebotsluis moet rekening gehouden worden met een bandbreedte van ca. 40 m³/s rond de in de notitie vermelde afvoeren.

Nijmegen, 28 november 2011

W. de Jong, G.J. Akkerman



Tauw

Witteveen

Bos



Bijlage J Objectenlijst



Tauw

Witteveen

Bos



In de rapportages wordt verwezen naar objecten in de bypass. In alle rapportages wordt een gelijke benaming voor de objecten gehanteerd. De naamgeving per object is weergegeven in de onderstaande tabellen. De exacte ligging van de objecten zijn geprojecteerd op de inrichtingskaart weergegeven in de Systeemanalyse [12].

Fase 1

Tabel J.1: Fase 1 objecten

Fase 1	Benaming fase 1 Objecten
1A	IJsseldijk en Kamperstraatweg (IJK)
1A1-1	Inlaatwerk of drempel IJsseldijk fase 1 (IW1)
1A11-1	Inlaatwerk laag, vast gedeelte fase 1
1A12-1	Inlaatwerk diep, regelbaar gedeelte fase 1
1A13-1	Inlaatwerk hoog, vast gedeelte fase 1
1A2	Aanpassing Kamperstraatweg (AK)
1A3	Recreatieschutsluis IJsseldijk fase 1 (SI1)
1A5	Maaiveldverlaging uiterwaard naar inlaatwerk / drempel (TI)
1A6	IJsseldijk verbindende waterkering (IJDvw)
1A7	IJsseldijk dijkkring 11b (IJD _b)
1B	Nieuwe dijken langs bypass (DB)
1C	Waterkering Drontermeer - Vossemeer (WD) - <i>Reevedam</i>
1C1	Dijk Drontermeer-Vossemeer (DV)
1C2-1	Keersluis Drontermeer-Vossemeer fase 1 (KR)
1C3-1	Extra keersluis Drontermeer-Vossemeer fase 1 (eKR)
1E	Waterkering Roggebot (WR)
1E1-1	Dijk Roggebot fase 1 (DR1)
1E5	Maatregelen schutsluis Roggebot (SCR)
1E6	Maatregelen bestaande spuisluis Roggebot (SPR)
1G	Wegverbinding Nieuwendijk over bypass (WN)
1H	Inrichting bypass (IB)
1H1	Vaargeul bypass (VB)
1H2	Natuurinrichting bypass incl. zonerende maatregelen (NI)
1H4	Grondwerk bypass (GB)
1H7	Fiets- en wandelverbindingen (FW)
1H8	Migratiegeul bypass (MB)
1H9-1	Voorzieningen recreatiegebied fase 1 (VR1)
1H10	Categorie C-kering (VC)
1H11	Gemaal Kamperveen (GK)
1H12	Klimaatdijk Woongebied (KD)
1J	Onderdijkse Waard (IO)
1J1	Meestromende nevengeul (MN)
1J2	Natuurinrichting Onderdijkse Waard (OW)
1J4	Recreatievaargeul buitendijks (VA)

Fase 2

Tabel J.2: Fase 2 objecten

Fase 2	Benaming fase 2 Objecten
1A	IJsseldijk en Kamperstraatweg (IJK)
1A1-2	Inlaatwerk of drempel IJsseldijk fase 2 (IW2)
1A11-2	Inlaatwerk laag, vast gedeelte fase 2
1A12-2	Inlaatwerk diep, regelbaar gedeelte fase 2 – <i>migratie vis</i>
1A13-2	Inlaatwerk hoog, vast gedeelte fase 2 – <i>migratie vee</i>
1C	Waterkering Drontermeer - Vossemeer (WD)
1C2-2	Spuisluis Drontermeer-Vossemeer fase 2 (SD)
1C3-2	Schutsluis Drontermeer-Vossemeer fase 2 (SC)
1C4	Migratievoorziening Drontermeer-Vossemeer (MD)
1D	Bestaande dijken Flevoland binnen projectgrenzen (BD)
1D1	Weg Drontermeerdijk (WDD)
1D2	Drontermeerdijk (DD)
1E	Waterkering Roggebot (WR)
1E1-2	Dijk Roggebot fase 2 (DR2)
1E2	Oeververbinding N307 (OV)
1E4	Erosiemaatregelen dijken (EM)
1H	Inrichting bypass (IB)
1H9-2	Voorzieningen recreatiegebied fase 2 (VR2)
1J	Onderdijkse Waard (IO)
1J3	Ecologische verbindingsgeul naar migratiesluisje (EV)

Toelichting:

1A1-2: het inlaatwerk bestaat uit 3 subobjecten. De subobjecten 1A11-2 (t.b.v. hoogwaterafvoer) en 1A13-2 (t.b.v. hoogwaterafvoer en veepassage) gaan in fase 2 functioneren. De bodembescherming voor deze subobjecten wordt aangebracht. Subobject 1A12-2 wordt ingezet voor de migratie van zaden, vissen en andere waterdieren en hoogwaterafvoer.

1D: dit deelsysteem en onderliggende objecten vallen strikt genomen buiten het project omdat de dijkversterking onderdeel is van het HWBP. Hieraan worden echter wel eisen vanuit IJDZ aan gesteld die gelden voor fase 2



Tauw

Witteveen

Bos



Bijlage K

Overzichtskaart naamgeving



Tauw



Witteveen+Bos







Tauw

Witteveen

Bos



Bijlage L

Oplegnotitie Probabilistische verificatie kruinhoogte berekeningen IJsseldelta-Zuid



Tauw

Witteveen

Bos



ROYAL HASKONING

MEMO

Aan : Gerard de Heij, Jean Buskens
Van : Johan Henrotte, Marius Sokolewicz
Kopie : Nicole Geurts van Kessel, Vincent Hombergen
Dossier : D1088
Project : IJsseldelta Zuid / Bypass Kampen
Betreft : Probabilistische verificatie kruinhoogte berekeningen IJsseldelta-Zuid

Ons kenmerk : LW-AF20100141
Datum : 13 december 2010

1. Inleiding

De combinatie Royal Haskoning, Witteveen + Bos en Tauw heeft opdracht voor het opstellen van het SNIP3 advies voor de bypass. Onderdeel hiervan is het definitief ontwerp van de dijken en de waterkerende objecten rondom de bypass. De dijkhoogtes in het ontwerp worden gebaseerd op hydraulische randvoorwaarden afgeleid via een deterministische methode conform Hydraulische Randvoorwaarden 2006 aangevuld met golfberekeningen. Met PDR en de Waterdienst is afgesproken het definitieve ontwerp van de dijken en waterkerende kunstwerken te verifiëren met probabilistische berekeningen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd door een combinatie van HKV en Svasek.

Deze notitie vat de resultaten samen van de probabilistische berekeningen die in de zomer 2010 zijn uitgevoerd door HKV en Svasek (rapport HKV/Svasek 2010, oktober 2010). Deze resultaten worden vergeleken met de resultaten (ontwerpwaterstanden en dijkhoogtes) van de berekeningen uitgevoerd door de Combinatie. Hierbij is gebruik gemaakt van de deelproducten Hydraulica en Veiligheid (deelproduct 9, versie 12 november 2010) en het Waterkeringsplan (deelproduct 3, versie 12 november 2010).

2. Aanpak probabilistische berekeningen bypass Kampen

De studie van HKV en Svasek bestaat uit het berekenen van de ontwerpwaterstanden en kruinhoogtes in de bypass. Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse van de uitlaatconstructie uitgevoerd (niet besproken in deze memo).

Voor het berekenen van ontwerpwaterstanden en minimaal benodigde kruinhoogtes van dijken in de Vecht- en IJsseldelta is door Rijkswaterstaat het probabilistische model Hydra-VIJ ontwikkeld. Dit model maakt gebruik van een waterstanddatabase, waarin een 10170 waterstanden zijn opgeslagen bestaande uit combinaties van Vecht-IJsselafvoer, IJsselmeerpeil, windsnelheid en windrichting en de toestand van de Ramspolkering (wel/niet functionerend). Om deze database te vullen worden 4500 WAQUA berekeningen uitgevoerd. De ontwerpwaterstanden (meer correct: toetspeilen) en kruinhoogtes worden met Hydra-VIJ bepaald gebruik makend van deze informatie gekoppeld aan de statistiek van afvoeren, stormen en meerpeilen.

In 2004 zijn deze berekeningen uitgevoerd t.b.v. Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (HR2006). Om beleidsmatige redenen zijn de resultaten van probabilistische berekeningen niet gebruikt als officiële randvoorwaarden, maar omgedoopt tot Thermometerpeilen (TMR2006). Deze TMR2006 resultaten kunnen niet worden gebruikt t.b.v. het project IJsseldelta omdat in de modelschematisaties geen rekening is gehouden met de bypass en zomerbedverlaging. Ten behoeve van de berekeningen van de IJsseldelta dient de Hydra-VIJ database dus opnieuw gevuld te worden, waarbij de bovengenoemde RvdR projecten worden meegenomen. Vanwege de beperkingen in de doorlooptijd en budget is in overleg met de Waterdienst ervoor gekozen om het aantal WAQUA berekeningen

(standaard 4500) te beperken tot 288. Met deze beperkte set wordt naar verwachting een voldoende nauwkeurig antwoord gekregen; de vereenvoudiging is gerechtvaardigd door de grote onzekerheden: de SNIP3 ontwerpen van de bypass en Zomerbedverlaging zijn nog niet vastgesteld, daarom is gerekend met de SNIP2a ontwerpen, het beleid rond het IJsselmeerpeil is sterk in beweging, al deze factoren zijn van grote invloed op de benodigde kruinhoogtes van dijken in de bypass. Een beperkte set van 288 combinaties van afvoer, wind en IJsselmeerpeil is doorgerekend met Waqua (zie Tabel 1).

Tabel 1 Combinaties die met Waqua zijn doorgerekend (probabilistische berekeningen versie 0.2 HKV/Svasek)

Vechtafvoer [m ³ /s]	IJsselaflow [m ³ /s]	IJsselmeerpeil [m+NAP]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting	Ramspolkering
33	200	-0.4	0	W	faalt niet
200	800	0.4	12	WNW	
400	1400	1.3	19	NW	
633	2100		26		
850	2750		33		
1000	3200		40		

Bovengrensbepaling

Voor de kruinhoogteberekeningen met Hydra-VIJ is het aantal richtingen dat met WAQUA is doorgerekend (mogelijk) te weinig. Het is namelijk denkbaar dat ook de richtingen ZW, WZW, NNW en N voor kruinhoogten bedreigend zijn. In principe zouden aanvullende WAQUA-berekeningen voor deze vier richtingen gemaakt kunnen worden. In plaats daarvan is een bovengrensbepaling voor de benodigde kruinhoogten toegepast. Details over deze aanpak zijn te vinden in de rapportage probabilistische berekeningen van HKV/Svasek (oktober 2010).

Doorgerekende scenario's

De waterstanden en kruinhoogtes voor de situatie met bypass zijn voor de volgende scenario's bepaald:

- Referentiescenario (2015).
- Klimaatscenario 2065: het scenario bestaat uit het 2065 middenscenario voor IJsselaflow en IJsselmeerpeilstijging van 0,07m (conform huidig beleid).
- Klimaatscenario 2115 met meerpeilstijging van 0,3m: het scenario bestaat uit 2115 middenscenario voor de IJsselaflow en een IJsselmeerpeilstijging van 0,3m.
- Klimaatscenario 2115 met meerpeilstijging van 0,5m: het scenario bestaat uit het 2115 middenscenario voor de IJsselaflow en een IJsselmeerpeilstijging van 0,5m (gekozen op basis van Veermanscenario's)
- Klimaatscenario 2115 met meerpeilstijging van 1,0 m: het scenario¹ bestaat uit het 2115 middenscenario voor de IJsselaflow en een IJsselmeerpeilstijging van 1 m (gekozen op basis van Veermanscenario's)

¹ De Deltacommissie noemt een maximale meerpeilstijging van 1,5m; deze stijging betreft echter alleen de zomersituatie (het op peil houden van de zoetwaterbuffer bij droogte), in de wintersituatie wordt daarom rekening gehouden met een meerpeilstijging tot 1,0m (advies Waterdienst).

3. Uitgangspunten probabilistische berekeningen en hydraulische berekeningen

In beide studies 1) de probabilistische berekeningen door HKV/Svasek en 2) de berekeningen uitgevoerd door de Combinatie zijn een aantal gemeenschappelijke uitgangspunten gehanteerd. Op een aantal punten komen deze uitgangspunten overeen, op een aantal vlakken verschillen deze. De belangrijkste zijn hieronder samengevat

Tabel 2 Vergelijking uitgangspunten

Probabilistische berekeningen (HKV/Svasek)	Hydraulische berekeningen (Combinatie)
Probabilistische aanpak (beperkte Hydra-VIJ)	Deterministische aanpak
De Waqua berekeningen om de Hydra-VIJ te vullen zijn uitgevoerd met het Vecht- en IJsseldelta model	De Waqua berekeningen zijn uitgevoerd met het Rijntakkenmodel
SNIP2a ontwerp van de bypass	Een recent ontwerp van de bypass volgens het Definitief Inrichtingsvoorstel van september 2010
SNIP2a ontwerp van de zomerbedverdieping	SNIP2a ontwerp van de zomerbedverdieping
Dijkprofielen uit het 1^e concept waterkeringsplan (versie 25 juni) zijn gebruikt	Dijkprofielen uit het eindconcept waterkeringsplan (versie november 2010) zijn gebruikt
Klimaatdijk een toegestaan overslagdebiet van 1l/s/m toegepast	Klimaatdijk een toegestaan overslagdebiet van 10 l/s/m toegepast
Inlaatconstructie heeft een drempelhoogte van 1m +NAP	Inlaatconstructie heeft een drempelhoogte van 0.5m +NAP
Voor dijken langs dijkkring 8 is een norm van 1/4000 toegepast, voor overige dijken 1/2000	Voor dijken langs dijkkring 8 is een norm van 1/4000 toegepast, voor overige dijken 1/2000
Geen toeslagen voor bepalen kruinhoogte	Wel toeslagen in rekening gebracht voor het bepalen van de kruinhoogtes

Toegepaste toeslagen voor bepalen kruinhoogte

Voor het bepalen van de kruinhoogtes van de dijken zijn in de berekeningen van de combinatie een aantal toeslagen in rekening gebracht. Deze toeslagen zijn bij het bepalen van de kruinhoogtes in de probabilistische berekeningen van HKV/Svasek niet meegenomen en dienen bij deze kruinhoogtes dus nog opgeteld te worden. De volgende toeslagen zijn voor de dijkontwerpen tot 2065 gehanteerd:

- 0,1 m buistoten en oscillaties
- 0,05 m autonome bodemdaling
- 0,2 m robuustheidstoeslag
- **Totaal 0,35m**

De klimaatdijk wordt ontworpen voor >100 jaar. Hiervoor wordt er gerekend met een 2115+ scenario. Er is hier in de deterministische sommen gerekend met een meerpeilstijging van +1,5 m (bij de probabilistische sommen is met een meerpeilstijging van +1,0 m gerekend). Hierbij zijn de volgende toeslagen toegepast:

- 0,1 m bodemdaling
- 0,1 m slingeren
- 0,2 m robuustheidstoeslag
- **Totaal 0,4 m**

4. Vergelijking resultaten berekeningen

HKV/Svasek hebben resultaten gepresenteerd volgens dezelfde dijkvakindeling als in het Waterkeringsplan van de Combinatie. Hiermee is een goede vergelijking met de resultaten van de combinatie te maken.

De probabilistisch bepaalde ontwerpwaterstanden (eigenlijk toetspeilen) voor verschillende meerpeilsscenario's en tijdhorizonten zijn samengevat in Tabel 3.

Tabel 3. Ontwerpwaterstanden voor verschillende scenario's uit probabilistische berekeningen (HKV/Svasek, oktober 2010)

dijkvak	van [km]	tot [km]	Ontwerpwaterstanden				
			KS2015	KS2065	KS2115+0.3	KS2115+0.5	KS2115+1
DV	-	-	3.10	3.14	3.27	3.39	3.65
Z1	0	0.3	3.10	3.15	3.28	3.39	3.66
Z2	0.3	1.39	3.19	3.23	3.36	3.47	3.73
Z3	1.39	1.9	3.21	3.25	3.38	3.49	3.75
Z4	1.9	2.48	3.21	3.25	3.38	3.49	3.74
Z5	2.48	2.77	3.22	3.26	3.39	3.49	3.74
Z6	2.77	3.15	3.22	3.27	3.39	3.50	3.75
Z7	3.15	4.15	3.30	3.34	3.47	3.57	3.81
Z8	4.15	4.52	3.32	3.36	3.49	3.59	3.83
Z9	4.61	4.95	3.29	3.34	3.47	3.56	3.79
Z10	4.95	5.91	3.35	3.40	3.53	3.62	3.84
Z11	5.91	6.6	3.36	3.41	3.54	3.63	3.85
N1	7.52	7.97	3.34	3.39	3.52	3.62	3.83
N2	7.97	8.45	3.31	3.37	3.49	3.59	3.81
N3	8.45	9.2	3.29	3.34	3.46	3.56	3.78
N5	9.57	10.12	3.26	3.30	3.43	3.53	3.77
N6	10.12	11.16	3.23	3.27	3.39	3.50	3.74
KD1	11.16	12.32	3.20	3.24	3.37	3.48	3.73
KD2	12.32	13.11	3.13	3.18	3.31	3.42	3.68
XX	-	-	3.13	3.17	3.30	3.41	3.67
N7	13.26	14.11	3.12	3.17	3.30	3.41	3.67
N8	14.11	14.24	3.08	3.13	3.26	3.37	3.63
N9	14.24	15.07	3.07	3.12	3.25	3.36	3.62
N10	15.07	15.42	3.01	3.05	3.19	3.30	3.57
DO	-	-	3.22	3.26	3.40	3.50	3.76

Tabel 21: Berekende toetspeilen in de bypass van alle scenario's (codering dijkvak refereert aan waterkeringenplan).

Ter vergelijking, de ontwerphoogtes berekend door de Combinatie zijn samengevat in Tabel 4.

Tabel 4. Ontwerppeilen uit het eindconcept Waterkeringsplan tabel 5.2 (Combinatie, november 2010)

dijkvakken	HR-locatie	dijknormaal [° t.o.v. noord]	windrichting [° t.o.v. noord]	ontwerppeil + toeslagen [m + NAP]	significante golfhoogte H_s [m]	piekperiode T_p [s]	binnenwater- stand [m+NAP]
Z1	III zuid 1	330	330 (0)	3,80	0,90	3,18	-0,6
Z2+Z3	III zuid 3	315	315 (0)	3,90	0,87	2,72	-1,4
Z4	III zuid 3	280	300 (0)	3,90	0,87	2,72	-1,4
Z5+Z6	III zuid 3	315	300 (0)	3,90	0,87	2,72	-1,4
Z7	II zuid	30	330 (60)	4,00	0,81	3,15	-1,05
Z8	II zuid	315	315 (0)	4,00	0,81	3,15	-1,05
Z9+Z10	I zuid 2	350	330 (20)	4,15	0,86	3,09	-1,05
Z11	I zuid 3	350	300 (50)	4,20	0,81	3,16	-0,6
N1	I noord 3	140	240 (100)	4,10	0,46	2,78	-0,3
N2	I noord 3	170	240 (70)	4,10	0,46	2,52	-0,85*
N3+N4	I noord 1	160	270 (110)	4,05	0,39	2,6	-0,85
N5+N6	II noord 1	180	270 (90)	4,00	0,59	2,89	-0,85
N7	III noord 4	225	270 (45)	3,95	0,66	3,19	-0,85
N8-N11	IV oost 2	300	300 (0)	3,75	0,91	3,14	-0,85

* voor de noordelijke bypassdijken is de binnenwaterstand overal gelijk genomen aan NAP -0,85 m. Naar verwachting zullen deze gebieden gaan uitwateren via het peilgebied en het gemaal Roggebot.

Vergelijking tussen de ontwerpwaterstanden berekend door de combinatie (Tabel 4) en volgend uit de probabilistische berekeningen (Tabel 3) laat zien dat de berekende ontwerpwaterstanden door de combinatie aanzienlijk hoger zijn dan die door HKV/Svasek berekend zijn. Hiermee kan gesteld worden dat de berekeningen van de combinatie conservatief zijn.

De berekende minimale kruinhoogtes door HKV/Svasek (bovengrens benadering) zijn per dijkvak samengevat in Tabel 5. Vergeleken met de "standaard" Hydra-VIJ berekeningen (gebaseerd op de 288 Waqua berekeningen) zijn de kruinhoogtes met de bovengrensbenadering opgehoogd met een opslag variërend tot 0,27m. Dit geeft een bandbreedte van de probabilistische benadering met een beperkt aantal sommen (los van de overige onzekerheden).

Tabel 5. Bovengrens minimaal benodigde kruinhoogtes uit probabilistische berekeningen (HKV/Svasek, oktober 2010 tabel 23)

dijkvak	van [km]	tot [km]	Bovengrens minimaal benodigde kruinhoogtes				
			KS2015	KS2065	KS2115+0.3	KS2115+0.5	KS2115+1
DV	-	-	4.05	4.10	4.26	4.38	4.68
Z1	0	0.3	4.13	4.18	4.34	4.46	4.76
Z2	0.3	1.39	4.00	4.05	4.20	4.32	4.61
Z3	1.39	1.9	4.35	4.40	4.54	4.66	4.94
Z4	1.9	2.48	4.34	4.38	4.53	4.65	4.93
Z5	2.48	2.77	4.01	4.05	4.19	4.31	4.58
Z6	2.77	3.15	3.95	3.99	4.13	4.25	4.52
Z7	3.15	4.15	4.03	4.08	4.21	4.32	4.58
Z8	4.15	4.52	4.35	4.40	4.53	4.65	4.91
Z9	4.61	4.95	3.90	3.94	4.07	4.17	4.41
Z10	4.95	5.91	4.25	4.29	4.42	4.52	4.77
Z11	5.91	6.6	4.44	4.48	4.61	4.72	4.95
N1	7.52	7.97	3.79	3.83	3.93	4.02	4.25
N2	7.97	8.45	3.68	3.72	3.83	3.92	4.13
N3	8.45	9.2	3.66	3.70	3.81	3.90	4.11
N5	9.57	10.12	4.08	4.10	4.20	4.29	4.52
N6	10.12	11.16	3.91	3.94	4.05	4.14	4.37
KD1	11.16	12.32	3.71	3.74	3.87	3.97	4.19
KD2	12.32	13.11	3.91	3.94	4.04	4.14	4.36
XX	-	-	3.97	4.01	4.10	4.19	4.47
N7	13.26	14.11	4.01	4.04	4.14	4.23	4.49
N8	14.11	14.24	3.93	3.96	4.07	4.17	4.41
N9	14.24	15.07	3.85	3.89	4.00	4.10	4.33
N10	15.07	15.42	3.58	3.62	3.76	3.87	4.08
D0	-	-	3.23	3.28	3.41	3.51	3.77

De berekende kruinhoogte door de Combinatie is samengevat in Tabel 6.

Voor het bepalen van de dijkhoogtes is door HKV/Svasek gebruik gemaakt van onder andere verschillende dijkprofielen dan door de Combinatie. De berm lag in beide gevallen op een verschillende hoogte. Naast de verschillen door de toepassing van verschillende rekenmethodes kunnen ook hierdoor verschillen in de berekende dijkhoogtes ontstaan.

De kruinhoogtes berekend door de Combinatie (Tabel 6) bestaan uit dijktafelhoogtes met daar bovenop extra hoogte om golfoverslag te beperken, toeslagen voor buistoten en oscillaties, en robuustheidstoeslag.

Tabel 6. Berekende kruinhoogtes uit het eindconcept Waterkeringsplan tabel 5.7 (november 2010, Combinatie)

dijkvakken	HR locatie	dijknormaal [° t.o.v. noord]	windrichting [° t.o.v. noord]	ontwerppeil + toeslagen [m + NAP]	significante golfhoogte H _s [m]	piekperiode T _p [s]	benodigde kruinhoogte [m+NAP]
Z1	III zuid 1	330	330 (0)	3,80	0,90	3,18	5,00
Z2+Z3	III zuid 3	315	315 (0)	3,90	0,87	2,72	4,80
Z4	III zuid 3	280	300 (0)	3,90	0,87	2,72	4,80
Z5+Z6	III zuid 3	315	300 (0)	3,90	0,87	2,72	4,80
Z7	II zuid	30	330 (60)	4,00	0,81	3,15	4,90
Z8	II zuid	315	315 (0)	4,00	0,81	3,15	5,10
Z9+Z10	I zuid 2	350	330 (20)	4,15	0,86	3,09	5,20
Z11	I zuid 3	350	300 (50)	4,20	0,81	3,16	5,10
N1	I noord 3	140	240 (100)	4,10	0,46	2,78	4,60*
N2	I noord 3	170	240 (70)	4,10	0,46	2,52	4,70
N3+N4	I noord 1	160	270 (110)	4,05	0,39	2,6	4,55*
N5+N6	II noord 1	180	270 (90)	4,00	0,59	2,89	4,50*
N7	III noord 4	225	270 (45)	3,95	0,66	3,19	4,70
N8-N11	IV oost 2	300	300 (0)	3,75	0,91	3,14	4,70

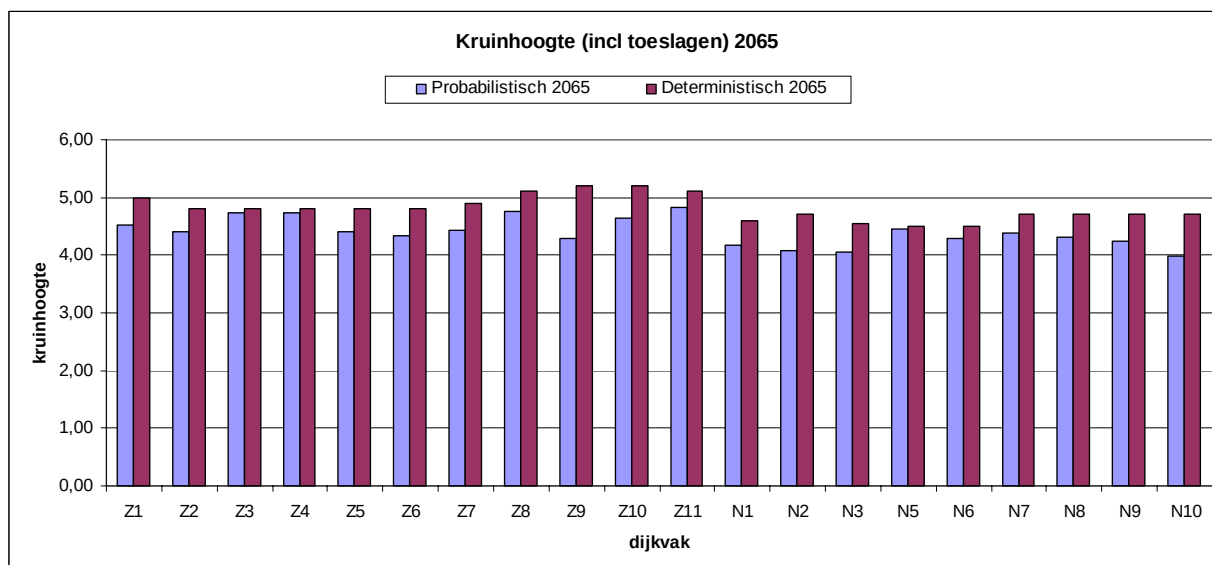
* minimale waakhoogte 0,5 m

In Tabel 7 is een vergelijking gemaakt van de kruinhoogtes uit de probabilistische berekeningen met die van de Combinatie. Hierbij is bij de berekende kruinhoogtes uit de probabilistische berekeningen de toeslag opgeteld; 0,35 m voor 2065 ontwerpen en 0,4 m voor 2115 (klimaatdijk).

Let op dat voor de kruinhoogtebepaling van de klimaatdijk in de deterministische berekeningen van de combinatie uitgegaan is van een meerpeilstijging van 1,5m (2115+ scenario) en bij de probabilistische berekeningen van een 2115 scenario met 1,0m meerpeilstijging.

Tabel 7. Vergelijking kruinhoogtes zoals berekend door HKV/Svasek en door de Combinatie

dijkvak	van [km]	tot [km]	Bovengrens minimaal benodigde kruinhoogtes (incl toeslag)				Kruinhoogte Combinatie (Waterkeringsplan)		verschil (Combi- HKV)	
			KS2065	KS2115+0.3	KS2115+0.5	KS2115+1	2065	2115+	KS2065	KS2115+1
DV	-	-	4,45	4,66	4,78	5,08				
Z1	0	0,3	4,53	4,74	4,86	5,16	5,00		0,47	
Z2	0,3	1,39	4,40	4,60	4,72	5,01	4,80		0,40	
Z3	1,39	1,9	4,75	4,94	5,06	5,34	4,80		0,05	
Z4	1,9	2,48	4,73	4,93	5,05	5,33	4,80		0,07	
Z5	2,48	2,77	4,40	4,59	4,71	4,98	4,80		0,40	
Z6	2,77	3,15	4,34	4,53	4,65	4,92	4,80		0,46	
Z7	3,15	4,15	4,43	4,61	4,72	4,98	4,90		0,48	
Z8	4,15	4,52	4,75	4,93	5,05	5,31	5,10		0,35	
Z9	4,61	4,95	4,29	4,47	4,57	4,81	5,20		0,91	
Z10	4,95	5,91	4,64	4,82	4,92	5,17	5,20		0,56	
Z11	5,91	6,6	4,83	5,01	5,12	5,35	5,10		0,27	
N1	7,52	7,97	4,18	4,33	4,42	4,65	4,60		0,42	
N2	7,97	8,45	4,07	4,23	4,32	4,53	4,70		0,63	
N3	8,45	9,2	4,05	4,21	4,30	4,51	4,55		0,50	
N5	9,57	10,12	4,45	4,60	4,69	4,92	4,50		0,05	
N6	10,12	11,16	4,29	4,45	4,54	4,77	4,50		0,21	
KD1	11,16	12,32	4,09	4,27	4,37	4,59		5,20		0,61
KD2	12,32	13,11	4,29	4,44	4,54	4,76		5,16		0,40
N7	13,26	14,11	4,39	4,54	4,63	4,89	4,70		0,31	
N8	14,11	14,24	4,31	4,47	4,57	4,81	4,70		0,39	
N9	14,24	15,07	4,24	4,40	4,50	4,73	4,70		0,47	
N10	15,07	15,42	3,97	4,16	4,27	4,48	4,70		0,73	
D0	-	-	3,63	3,81	3,91	4,17				



Figuur 1. Vergelijking kruinhoogtes zoals berekend door HKV/Svasek en door de Combinatie

Uit Tabel 7 en Figuur 1 blijkt dat de deterministische benadering van de Combinatie conservatief is voor de tijdhorizon van 50 jaar (tot 2065), en de gekozen dijkhoogtes praktisch voldoende zijn tot 2115 uitgaande van het huidige beleid. Indien in de toekomst de aanbevelingen van de Deltacommissie t.a.v. meerpeilverhoging worden overgenomen dan zullen de dijken voor een deel verhoogd moeten worden.

5. Conclusies en aanbevelingen

Conclusies:

- De probabilistische berekeningen dienen ter verificatie van de kruinhoogte berekeningen van de Combinatie. De probabilistische berekeningen kunnen echter niet worden gebruikt voor ontwerp optimalisatie. Door de gebruikte vereenvoudigingen en verschillen tov SNIP3 ontwerp kleven er nog te veel onzekerheden aan de berekeningen.
- Voor de berekeningen van HKV/Svasek en de Combinatie zijn verschillende uitgangspunten gehanteerd onder andere t.a.v. bypass layout, de inlaat, dijkontwerp en modelinstrumentarium.
- De verschillen in hoogte en type inlaatconstructie die voor beide berekeningen gehanteerd zijn heeft niet veel consequenties voor de berekende dijkhoogtes. Deze is (wordt in beide rapportages gesteld) voornamelijk afhankelijk van windgedomineerde situaties.
- De berekende kruinhoogtes voor de 2065 situatie door de Combinatie zijn hoger dan de berekende waarden met de probabilistische berekeningen. Hiermee kan gesteld worden dat de waarden berekend door de Combinatie conservatief zijn. Er dient wel opgemerkt te worden dat van enigszins verschillende dijkprofielen is uitgegaan in beide berekeningen.

Aanbevelingen:

- De huidige probabilistische berekeningen zijn niet geschikt voor het bepalen van optimalisatiemogelijkheden voor de dijken van de bypass. Voor optimalisatiemogelijkheden wordt aanbevolen om met een volledige Hydra-VIJ berekening (op basis van 4500 Waqua sommen) en met definitieve ontwerpen te rekenen.
- Op sommige locatie zijn grote verschillen (tot 90cm) tussen de kruinhoogteberekeningen van de Combinatie en HKV/Svasek gevonden. Aanbevolen wordt om te onderzoeken waardoor deze grote verschillen zijn ontstaan.

6. Literatuur

- [1] Probabilistische berekeningen bypass Kampen, HKV_Lijn in water / Svasek Hydraulics, oktober 2010
- [2] Eindconceptrapport Hydraulica en Veiligheid, deelproduct 9, Combinatie, november 2010
- [3] Eindconceptrapport Waterkeringsplan, deelproduct 3, Combinatie, november 2010



Tauw



Bos



ROYAL HASKONING

Bijlage M Referenties



Tauw



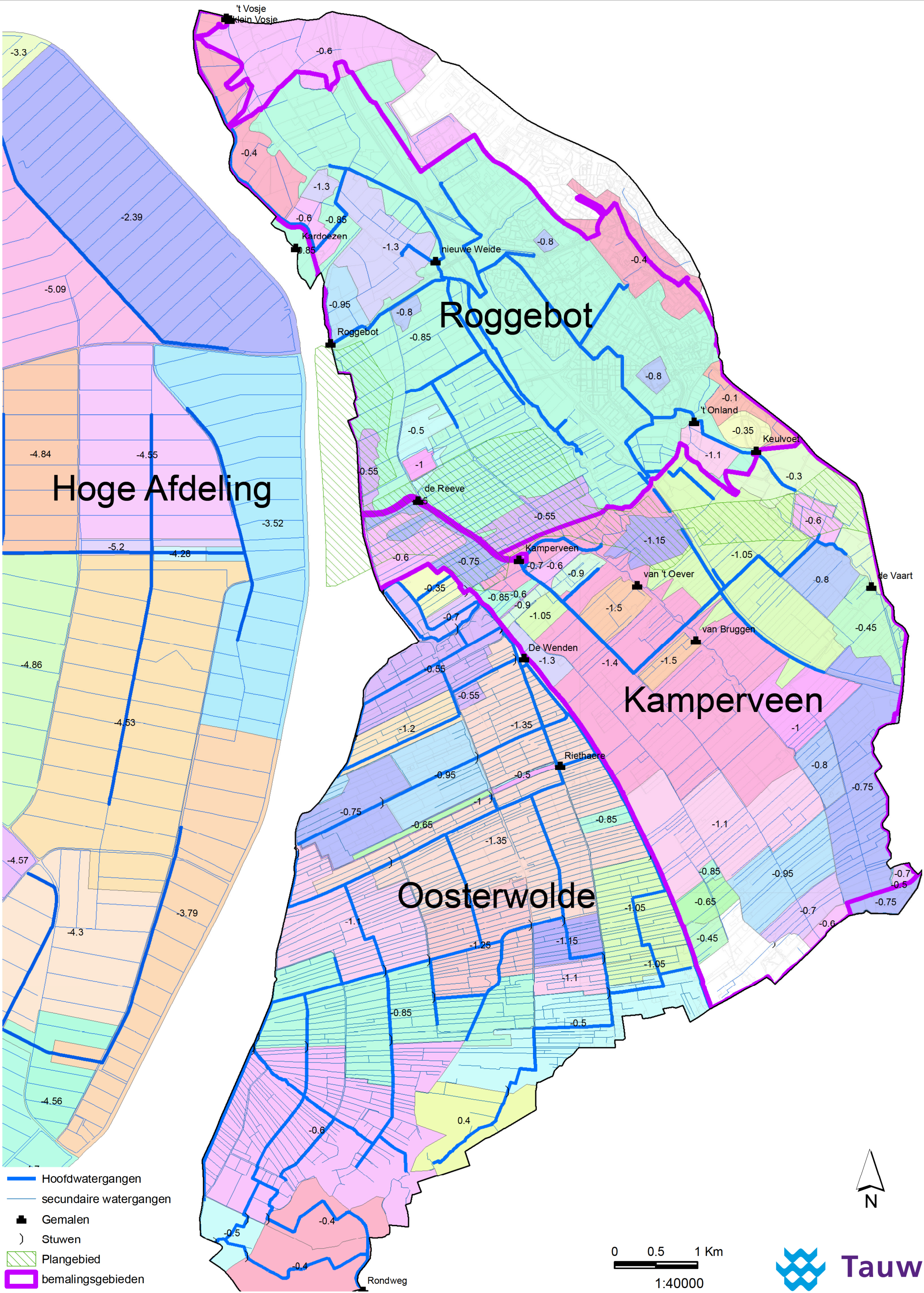
Bos



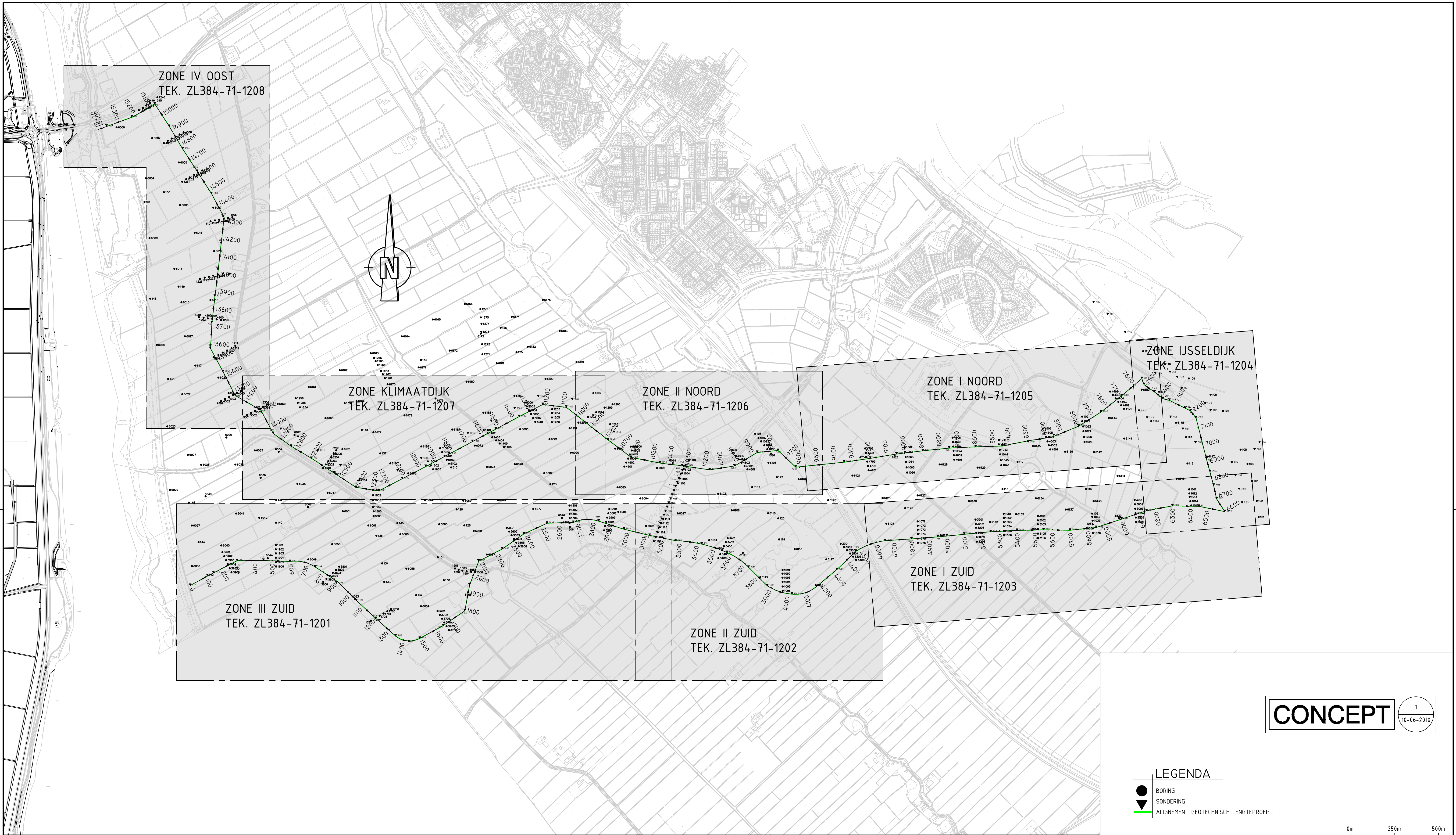
Onderstaand volgt een overzicht van de verschillende deelproducten binnen het gehele project IJsseldelta-Zuid. Indien naar een deelproduct is verwezen in deze rapportage, dan is dat in hoofdstuk 17, de literatuurlijst, weergegeven.

Deelproduct	Benaming Eindconcept
1	Systeemanalyse
1	Functioneel Programma van Eisen
2	Rapportage Technisch Ontwerp
3	Waterkeringsplan
4	Inrichtingsplan
5	Beheer- en Onderhoudsplan
5	Beheerovereenkomsten
6	Kostenraming
7	Grondstromenplan
8	Uitvoeringsplan
9	Rapportage Hydraulica en veiligheid
10	Rapportage Geohydrologische Effecten
10	Rapportage effecten waterkwaliteit
11	Inventarisatie cultuurhistorische waarden
12	Rapportage Morfologische Effecten
13	Beeldkwaliteitsplan
13	Ruimtelijke Visie
14	Inrichtingsplan natuur
14	Natuurinventarisatie
14	Passende Beoordeling
14	Compensatieplan EHS & weidevogels
14	Activiteitenplan Flora en Fauna wet
15	Verleggingsplan
16	Rapportage Beheer Geo-informatie
17	Adviesnota SNIP3
18	Conceptaanvragen Vergunningen
19	Aanvulling BesluitMER

BIJLAGE V POLDERPEILENKAART



BIJLAGE VI GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL



CONCEPT 1
10-06-2010

- LEGENDA
- BORING
 - ▼ SONDERING
 - ALIGNEMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

0m 250m 500m
SCHAAL 1:10.000

OVERZICHT GRONDONDERZOEK IJSSEDELTA-ZUID
SCHAAL 1:10.000

PROVINCIE OVERIJSEL
PLANSTUDIE SNIP3 IJSSEDELTA-ZUID

Productgroep 3: Waterkeringsplan
Overzicht grondonderzoek /
Geotechnisch lengteprofiel

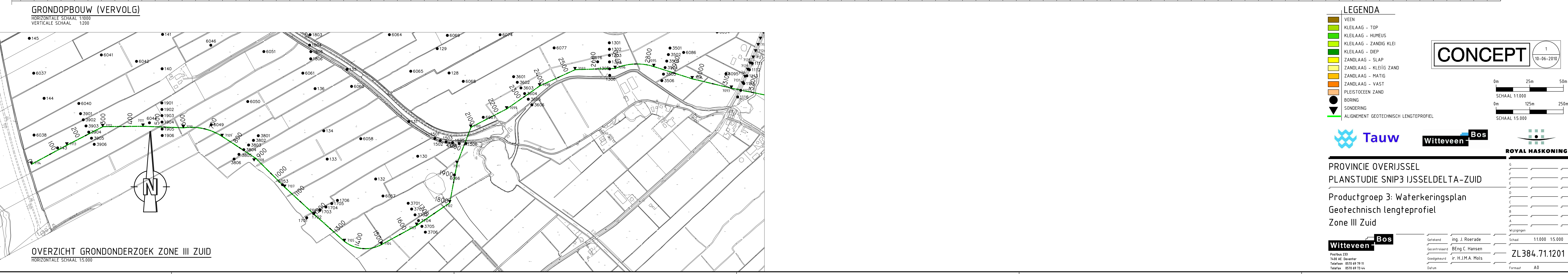
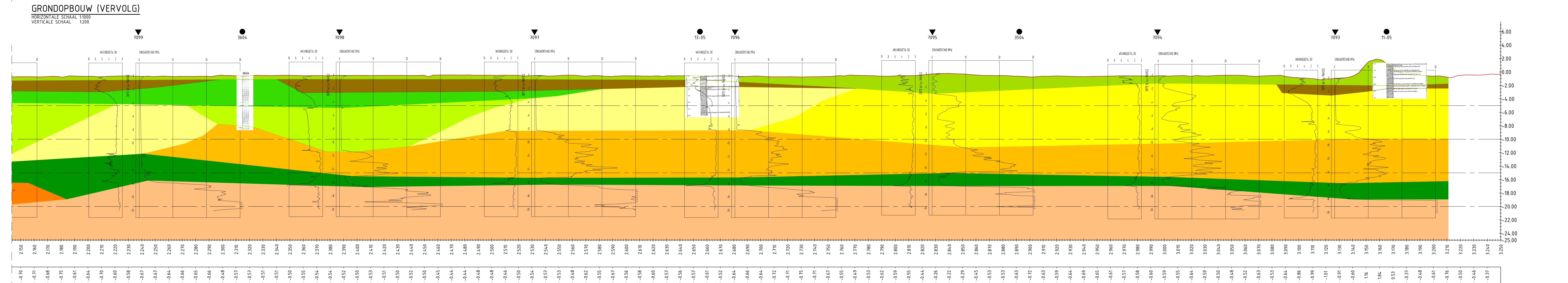
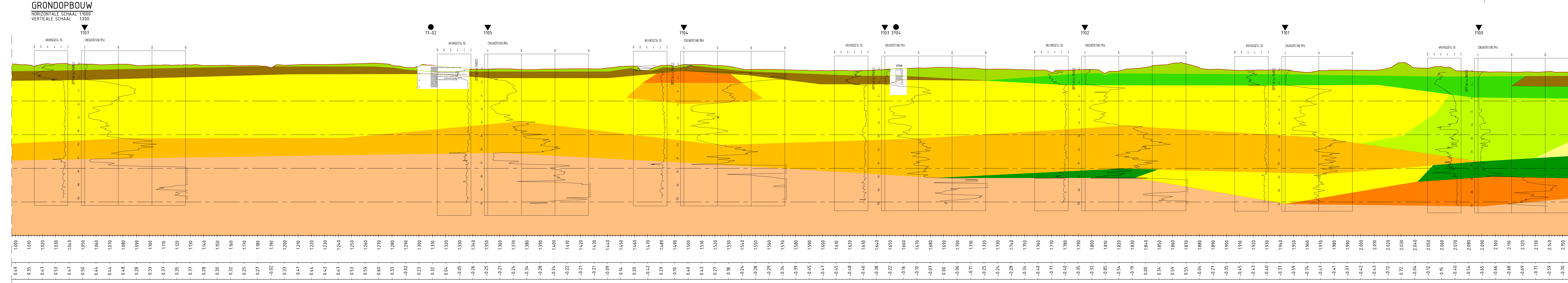
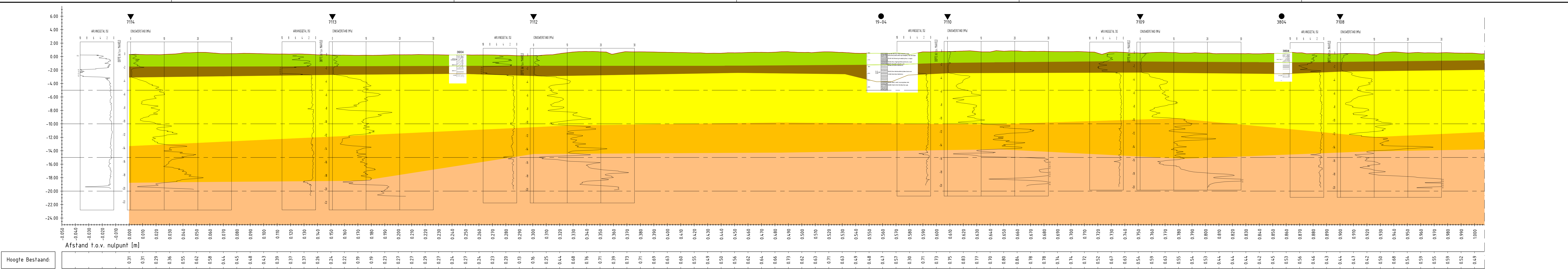
Witteveen Bos

Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon 0570 69 79 11
Telefax 0570 69 73 44

Getekend ing. J. Roerade
Gecontroleerd ir. P.E.M. Schoonen
Goedgekeurd ir. H.J.A.M. Mols
Datum

G	_____
F	_____
E	_____
D	_____
C	_____
B	_____
A	_____
Wijzigingen	_____
Schaal	1:10.000
Formaat	A1

ZL384.71.1200



LEGENDA

- VEEN
- KLEILAAG - TOP
- KLEILAAG - HUMIEUS
- KLEILAAG - ZANDIG KLEI
- KLEILAAG - DIEP
- ZANDLAAG - SLAP
- ZANDLAAG - KLEIIG ZAND
- ZANDLAAG - MATIG
- ZANDLAAG - VAST
- PLEISTOCEN ZAND
- SONDERING
- ALIGEMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

CONCEPT 1 10-06-2010

0m 25m 50m
SCHAAI 1:1000

0m 125m 250m
SCHAAI 1:5000

Tauw **Witteveen Bos** **ROYAL HASKONING**

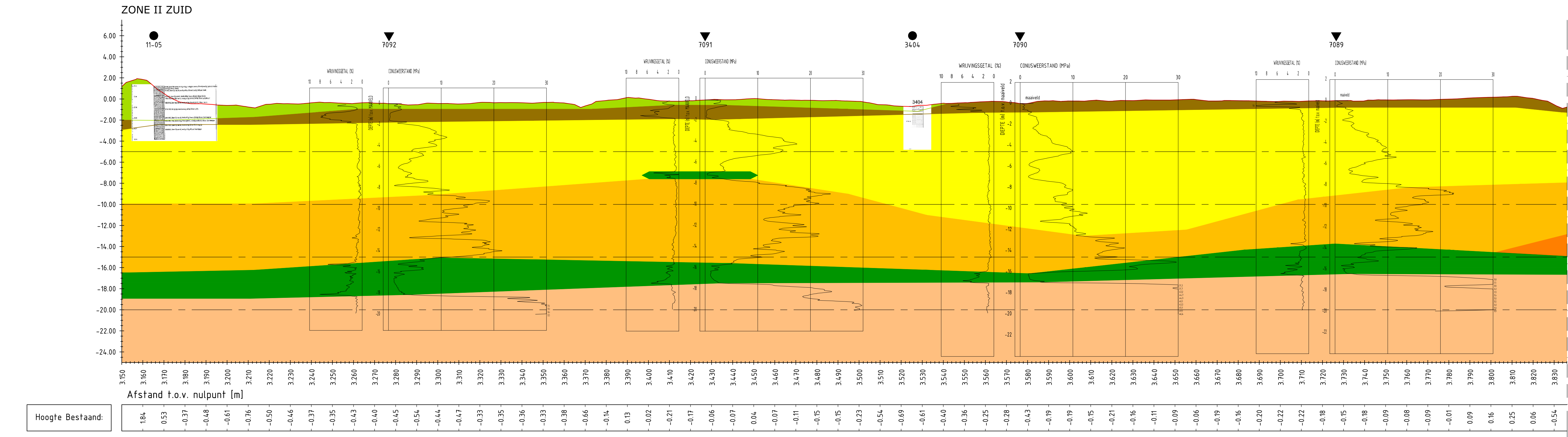
PROVINCIE OVERIJSSSEL
PLANSTUDIE SNIP3 IJSSDELTA-ZUID

Productgroep 3: Waterkeringsplan
Geotechnisch lengteprofiel
Zone III Zuid

Witteveen Bos
Piaats 133
7416 AK Overmeer
Telefoon: 0797 69 79 11
Telefax: 0797 69 79 44

Geleed: ing. J. Roerda
Gecontroleerd: BEng C. Hansen
Goedgekeurd: H.J.M.A. Molis
Datum:

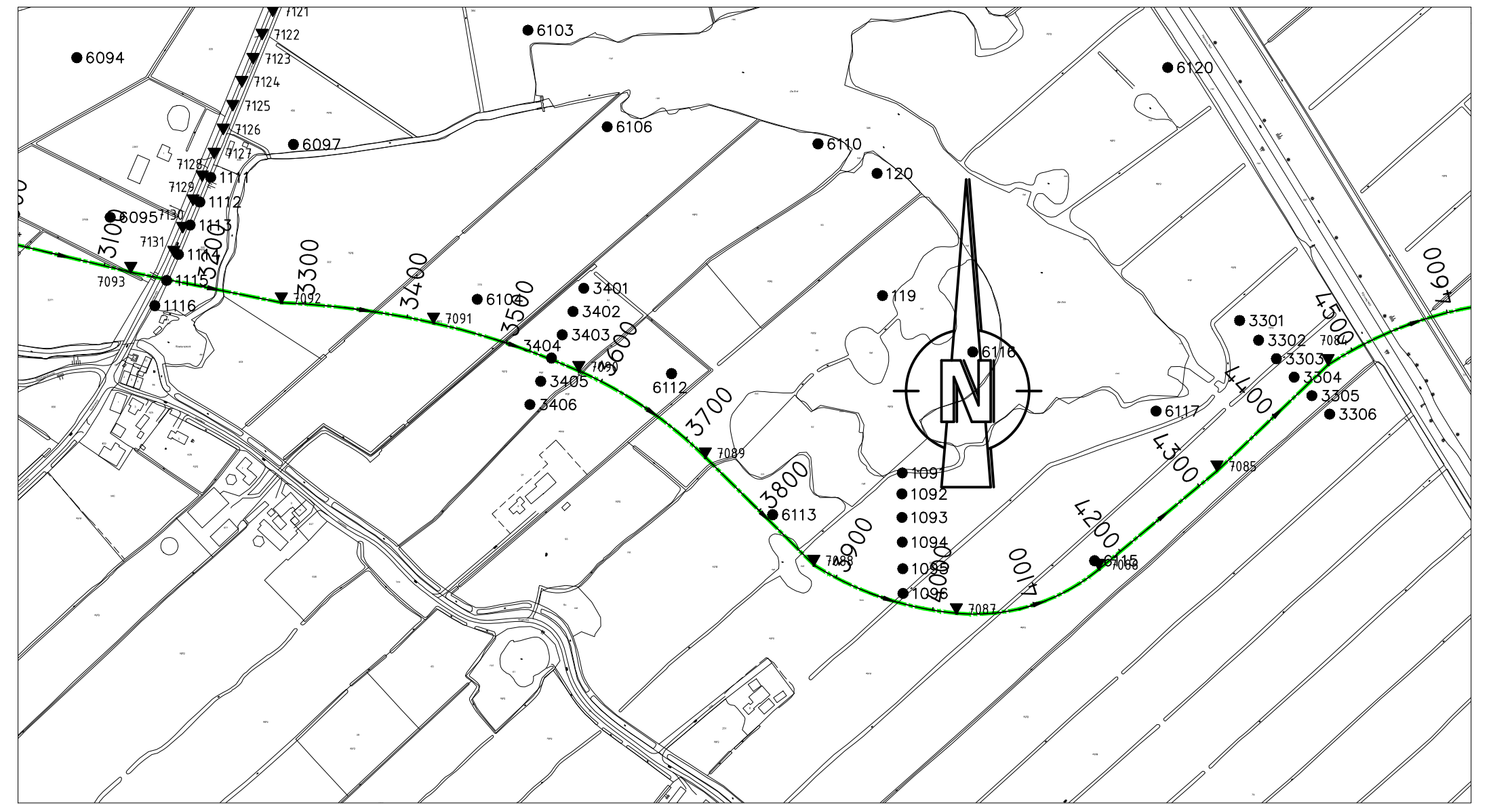
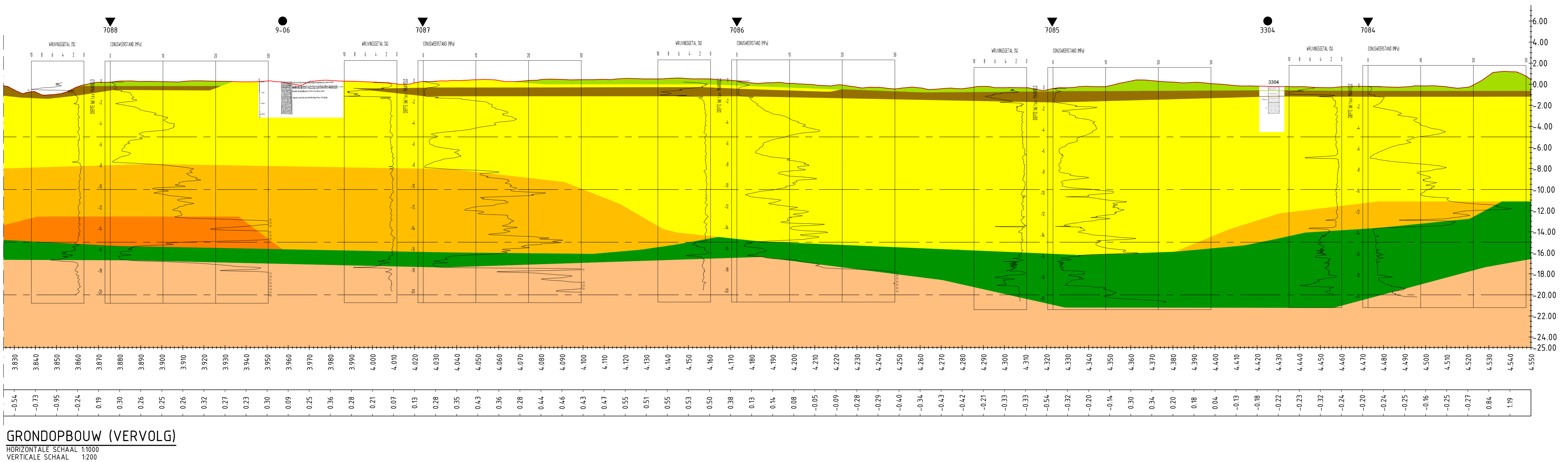
Schaal: 1:1000 1:5000
ZL384.71.1201
Formaat: A0



GRONDOPBOUW

HORIZONTALE SCHAAL 1:1000

VERTICALE SCHAAL 1:200



OVERZICHT GRONDONDERZOEK ZONE II ZUID

HORIZONTALE SCHAAL 1:5.000

LEGENDA

- VEEN
- KLEILAAG - TOP
- KLEILAAG - HUMIEUS
- KLEILAAG - ZANDIG KLEI
- KLEILAAG - DIEP
- ZANDLAAG - SLAP
- ZANDLAAG - KLEIIG ZAND
- ZANDLAAG - MATIG
- ZANDLAAG - VAST
- PLEISTOCEN ZAND
- BORING
- SONDERING
- ALIGNEMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

CONCEPT

1

10-06-2010

0m 25m 50m

SCHAAL 1:1.000

0m 125m 250m

SCHAAL 1:5.000



PROVINCIE OVERIJSSSEL

PLANSTUDIE SNIP3 IJSSELDelta-ZUID

Productgroep 3: Waterkeringsplan

Geotechnisch lengteprofiel

Zone II Zuid



Getekend ing. J. Roerade

Gecontroleerd BEng C. Hansen

Goedgekeurd ir. H.J.M.A. Mols

Datum

Schaal 1:1.000 15.000

ZL384.71.1202

Formaat A1L

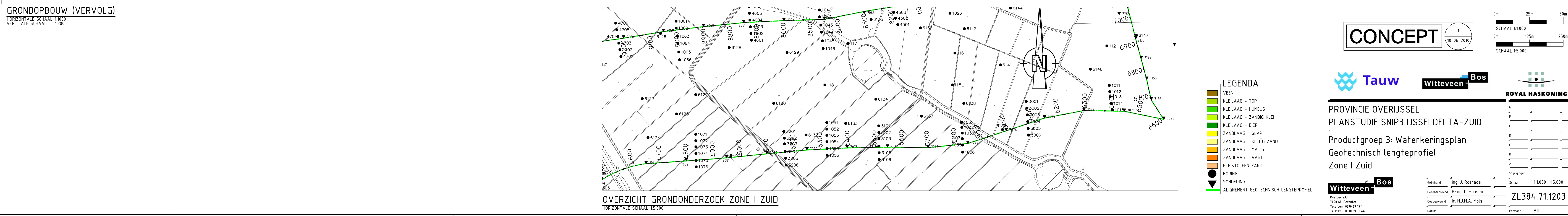
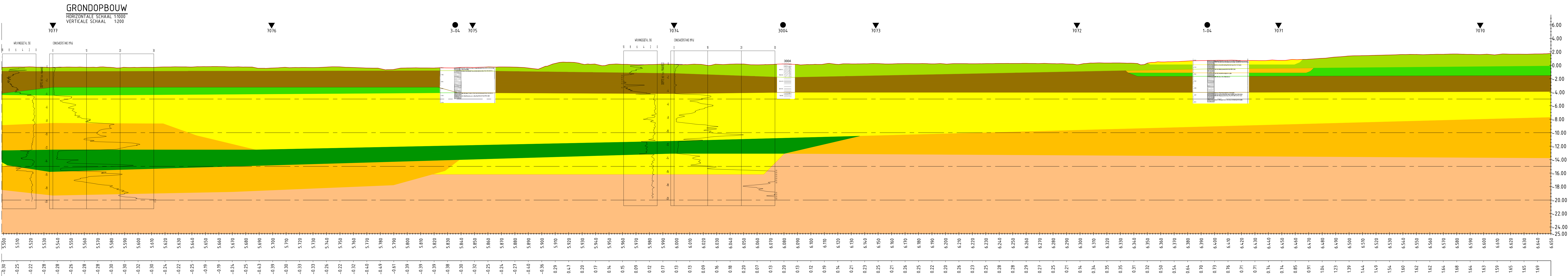
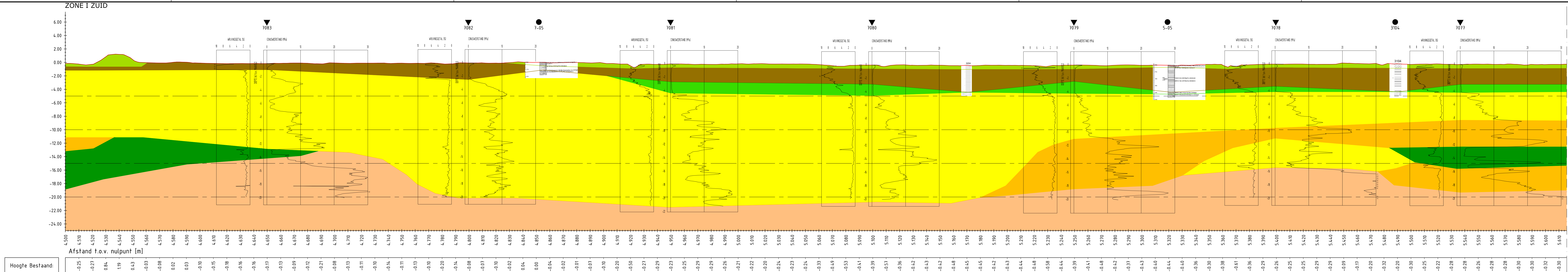
Postbus 233

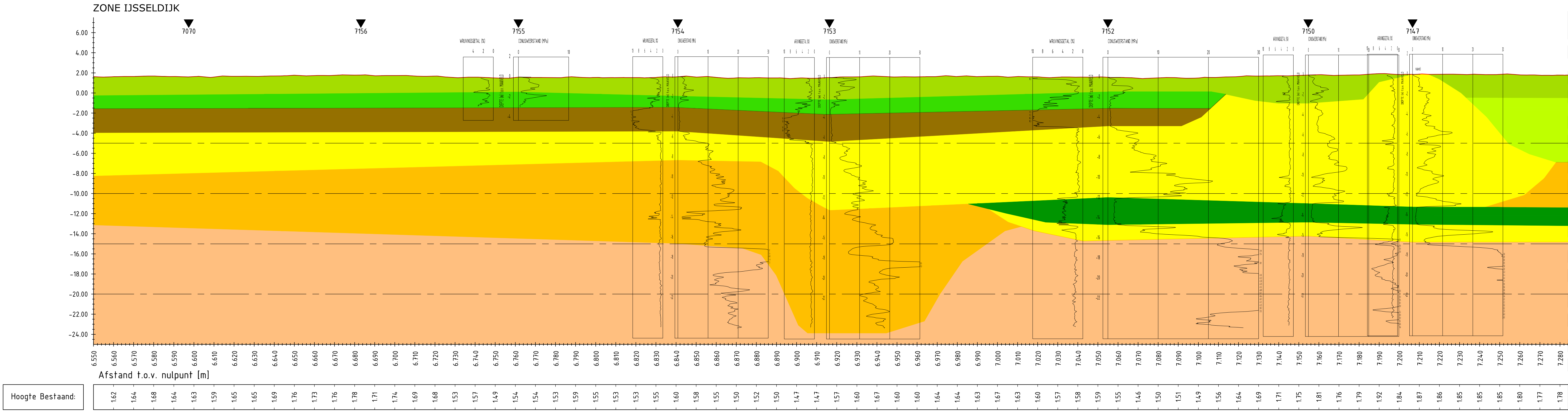
7400 AE Deventer

Telefoon 0570 69 79 11

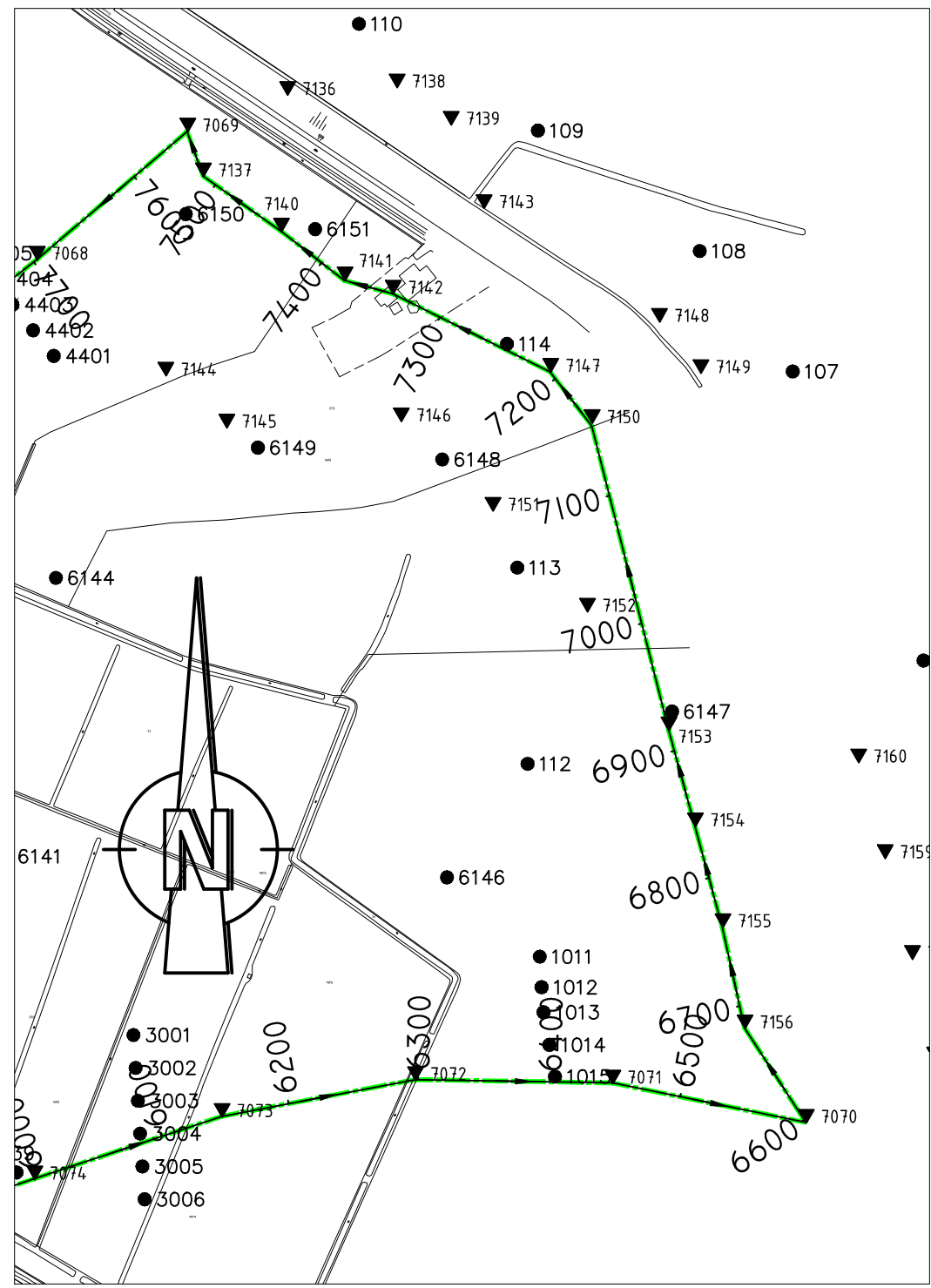
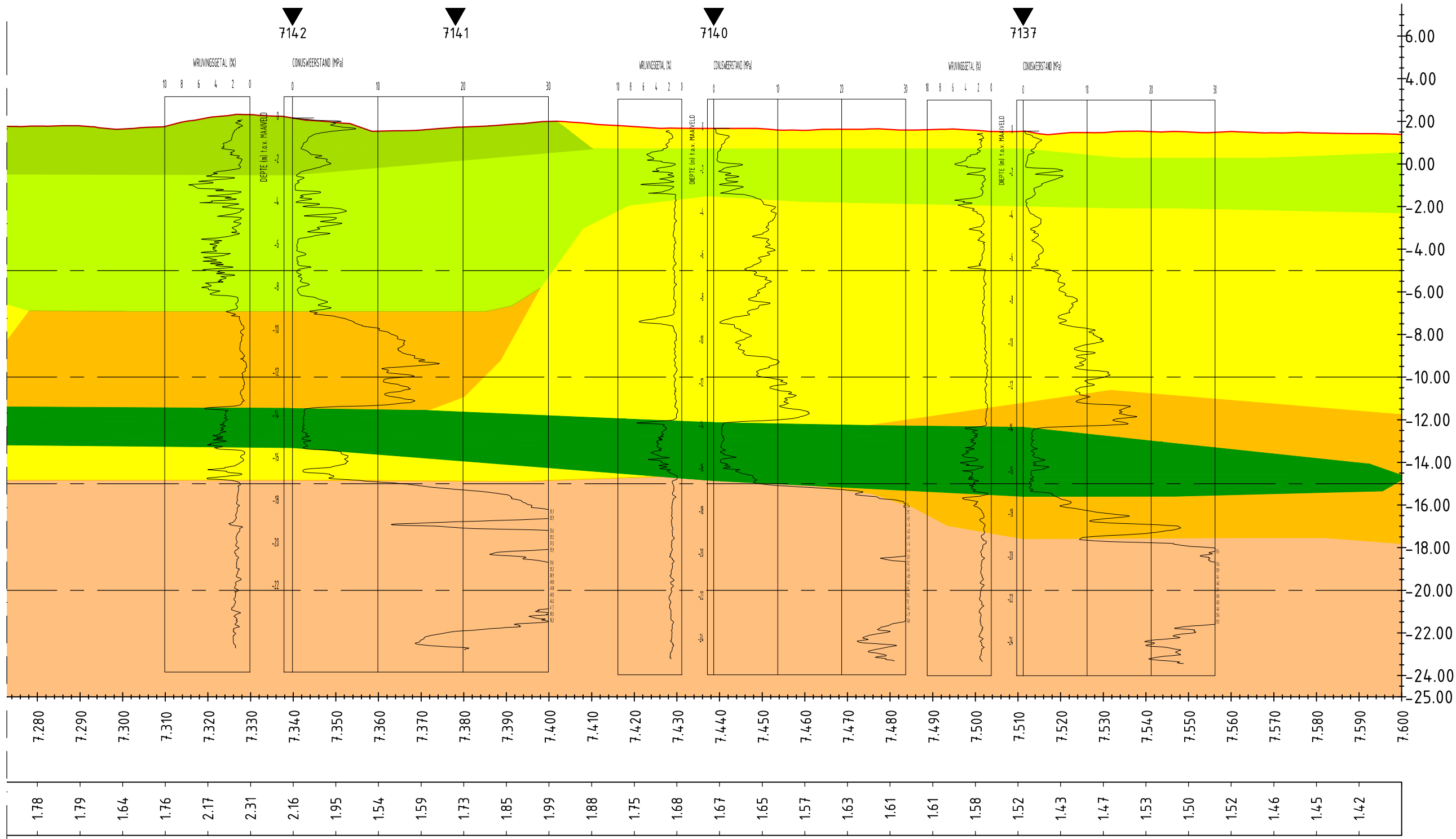
Telefax 0570 69 73 44

040 726 912323336-711202-3-11-10-06-2010-001-1m 1008-04g





GRONDOPBOUW
HORIZONTALE SCHAAL 1:1000
VERTICALE SCHAAL 1:200



- LEGENDA
- VEEN
 - KLEILAAG - TOP
 - KLEILAAG - HUMEUS
 - KLEILAAG - ZANDIG KLEI
 - KLEILAAG - DIEP
 - ZANDLAAG - SLAP
 - ZANDLAAG - KLEIIG ZAND
 - ZANDLAAG - MATIG
 - ZANDLAAG - VAST
 - PLEISTOCEN ZAND
 - BORING
 - SONDERING
 - ALIGNEMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

CONCEPT

1
10-06-2010

0m 25m 50m
SCHAAL 1:1.000

0m 125m 250m
SCHAAL 1:5.000

Tauw **Witteveen-Bos** **ROYAL HASKONING**

PROVINCIE OVERIJSSSEL
PLANSTUDIE SNIP3 IJSSELDIJK-ZUID

Productgroep 3: Waterkeringsplan
Geotechnisch lengteprofiel
Zone IJsseldijk

Witteveen-Bos

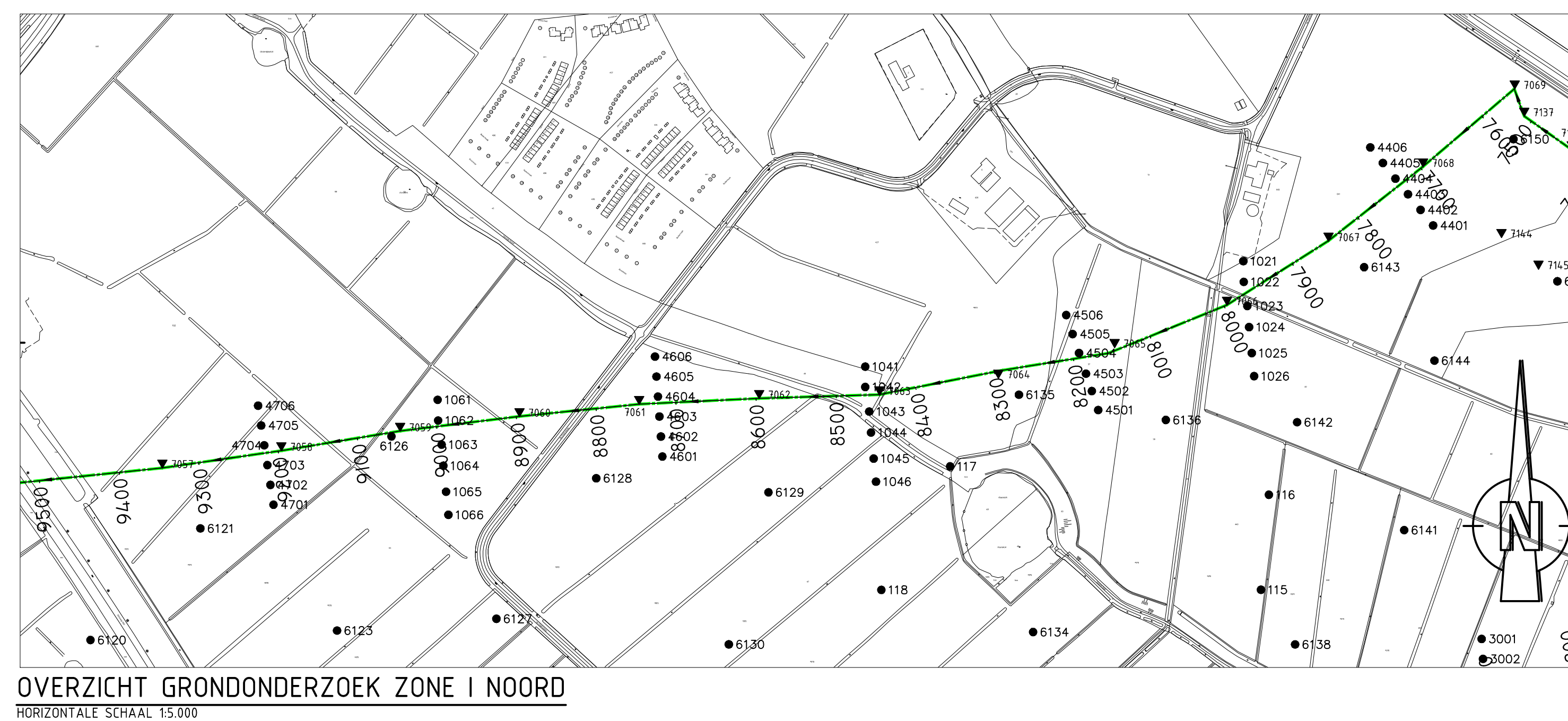
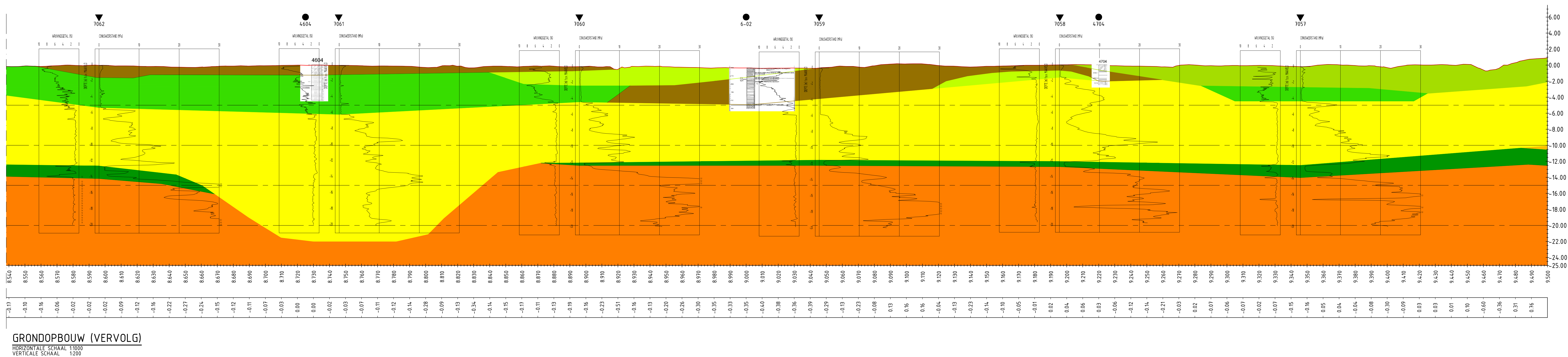
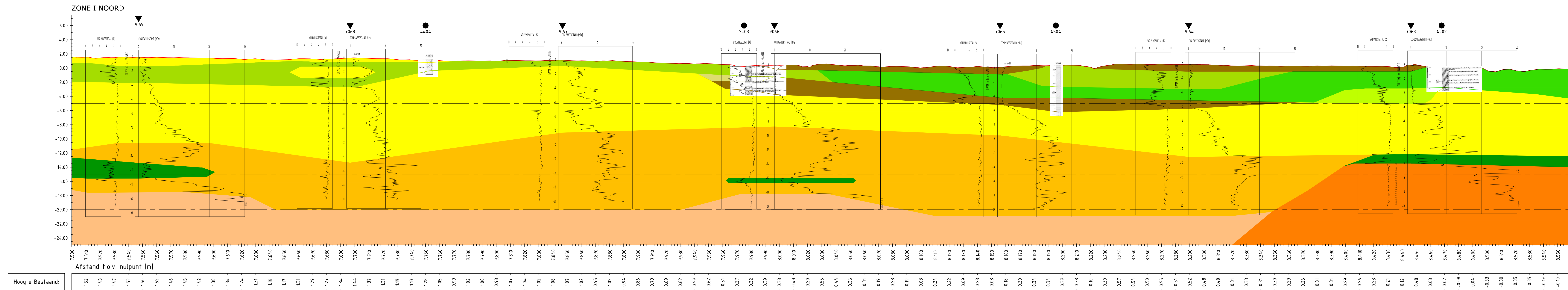
Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon 0570 69 79 11
Telefax 0570 69 73 44

Geleend ing. J. Roerade
Gecontroleerd B. C. Hansen
Goedgekeurd ir. H.J.M.A. Mols
Datum

Schaal 1:1.000 1:5.000

ZL384.71.1204

Formaat A1



LEGENDA

- VEEN
- KLEILAAG - TOP
- KLEILAAG - HUMIEUS
- KLEILAAG - ZANDIG KLEI
- KLEILAAG - DIEP
- ZANDLAAG - SLAP
- ZANDLAAG - KLEIIG ZAND
- ZANDLAAG - MATIG
- ZANDLAAG - VAST
- GRIND
- PLEISTOCEN ZAND
- SONDERING
- ALIGEMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

CONCEPT 1
10-06-2010

0m 25m 50m
SCHAAAL 1:1000

0m 125m 250m
SCHAAAL 1:5.000

Tauw **Witteveen+Bos** **ROYAL HASKONING**

PROVINCIE OVERIJSSSEL
PLANSTUDIE SNIP3 IJSSDELTA-ZUID

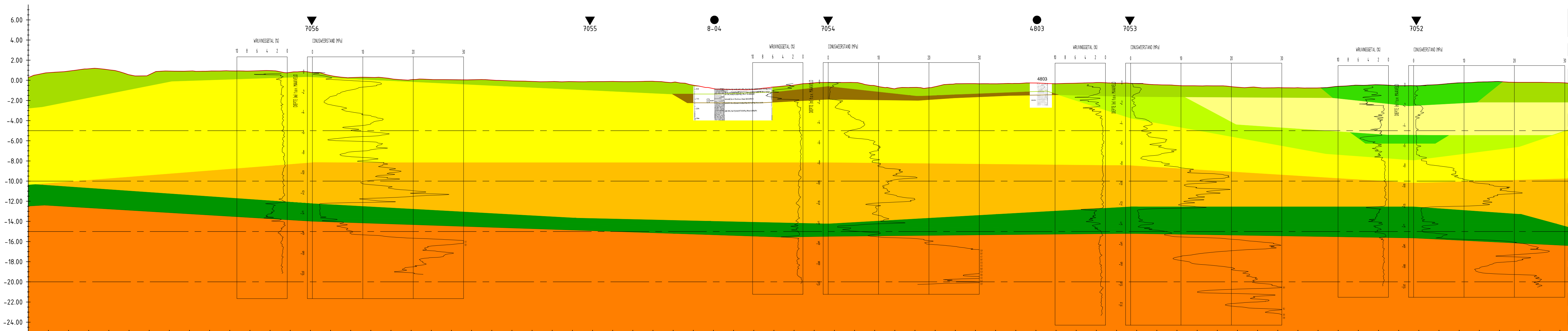
Productgroep 3: Waterkeringsplan
Geotechnisch lengteprofiel
Zone 1 Noord

Witteveen+Bos
Postbus 233
7400 AC Deventer
Telefoon 0570 69 19 11
Telefax 0570 69 12 44

Getekend ing. J. Roerade
Gecontroleerd BEng. C. Hansen
Goedgekeurd J. H.J.M.A. Molis
Datum

Schaal 1:1000 15.000
ZL384.71.1205
Formaat A0

ZONE II NOORD



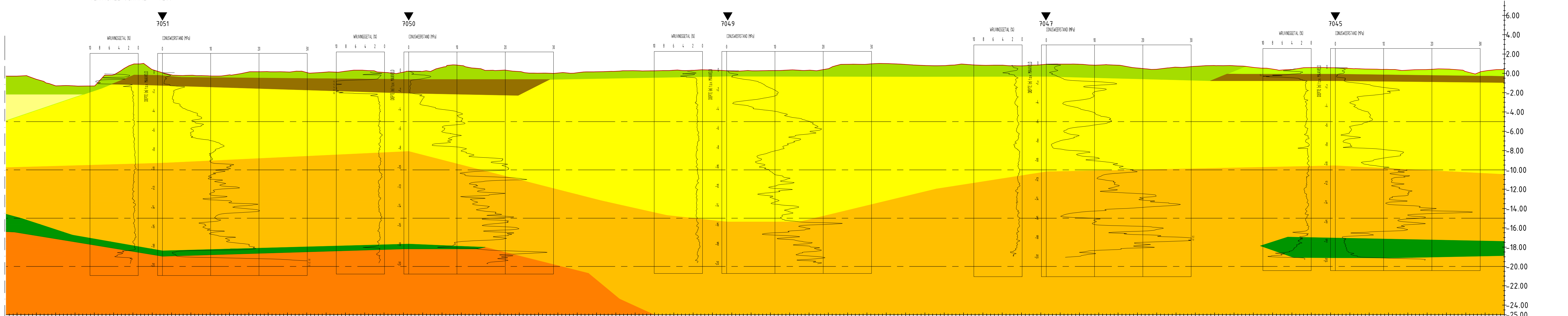
Afstand t.o.v. nulpunt [m]

Hoogte Bestaand:

0.76	0.91	1.15	1.04	0.56	0.56	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.96	0.79	0.79	0.47	0.27	0.29	0.17	0.06	0.08	0.06	0.06	0.03	-0.06	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.11	-0.12	-0.12	-0.10	-0.19	-0.49	-0.82	-0.91	-0.90	-0.66	-0.47	-0.26	-0.22	-0.22	-0.53	-0.83	-0.70	-0.63	-0.34	-0.32	-0.34	-0.31	-0.27	-0.34	-0.29	-0.22	-0.28	-0.33	-0.44	-0.50	-0.55	-0.55	-0.68	-0.71	-0.73	-0.73	-0.75	-0.59	-0.49	-0.44	-0.53	-0.53	-0.41	-0.25	-0.16	-0.12	-0.20	-0.20	-0.23
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

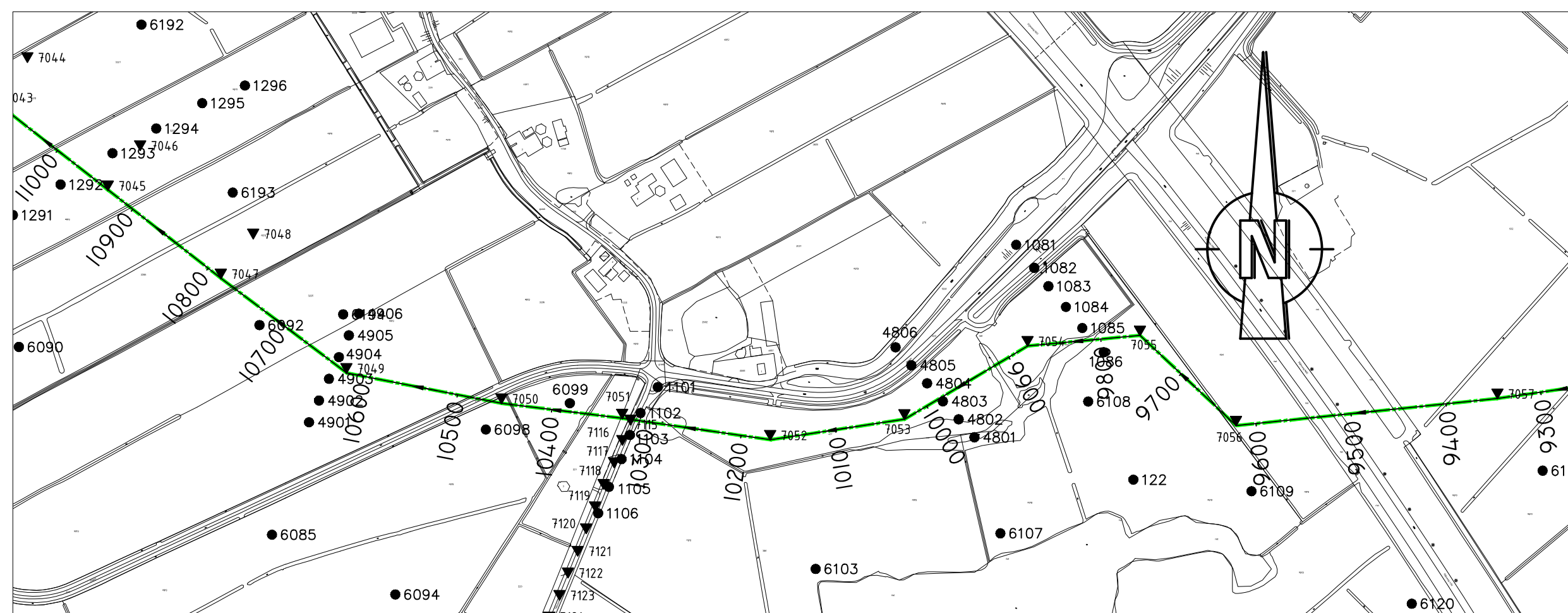
GRONDOPBOUW

HORIZONTALE SCHAAL 1:1000
VERTICALE SCHAAL 1:200



GRONDOPBOUW (VERVOLG)

HORIZONTALE SCHAAL 1:1000
VERTICALE SCHAAL 1:200



OVERZICHT GRONDONDERZOEK ZONE II NOORD

HORIZONTALE SCHAAL 1:5.000

LEGENDA

- VEEN
- KLEILAAG - TOP
- KLEILAAG - HUMEUS
- KLEILAAG - ZANDIG KLEI
- KLEILAAG - DIEP
- ZANDLAAG - SLAP
- ZANDLAAG - KLEIIG ZAND
- ZANDLAAG - MATIG
- ZANDLAAG - VAST
- PLEISTOCEN ZAND
- BORING
- SONDERING
- ALIGNEMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

CONCEPT

1
10-06-2010

Tauw

Witteveen Bos

ROYAL HASKONING

PROVINCIE OVERIJSSSEL
PLANSTUDIE SNIP3 IJSSELDelta-ZUID

Productgroep 3: Waterkeringsplan
Geotechnisch lengteprofiel
Zone II Noord

Witteveen Bos

ing. J. Roerade
Beng. C. Hansen
ir. H.J.M.A. Mols

Schaal 1:1.000 1:5.000

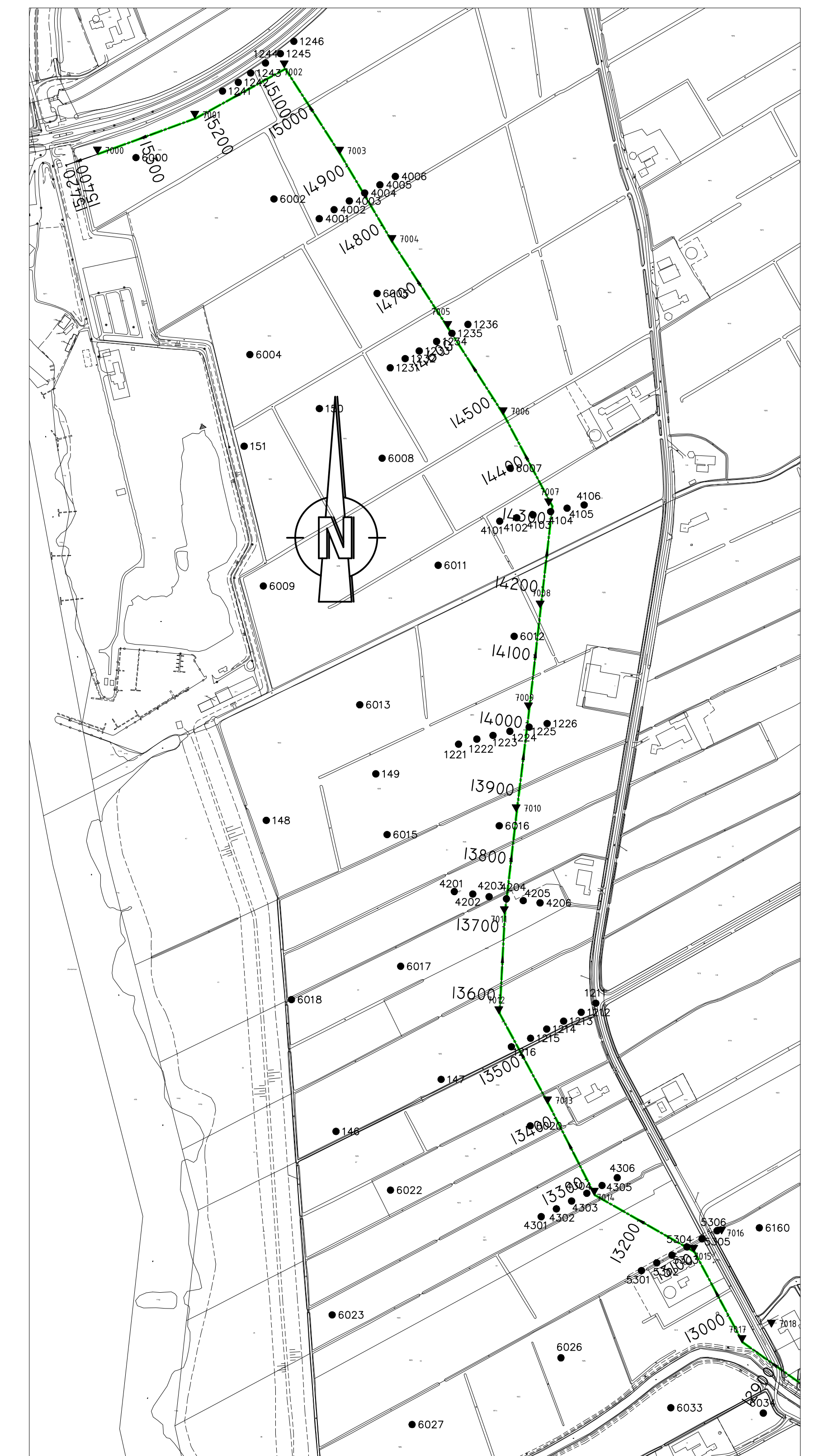
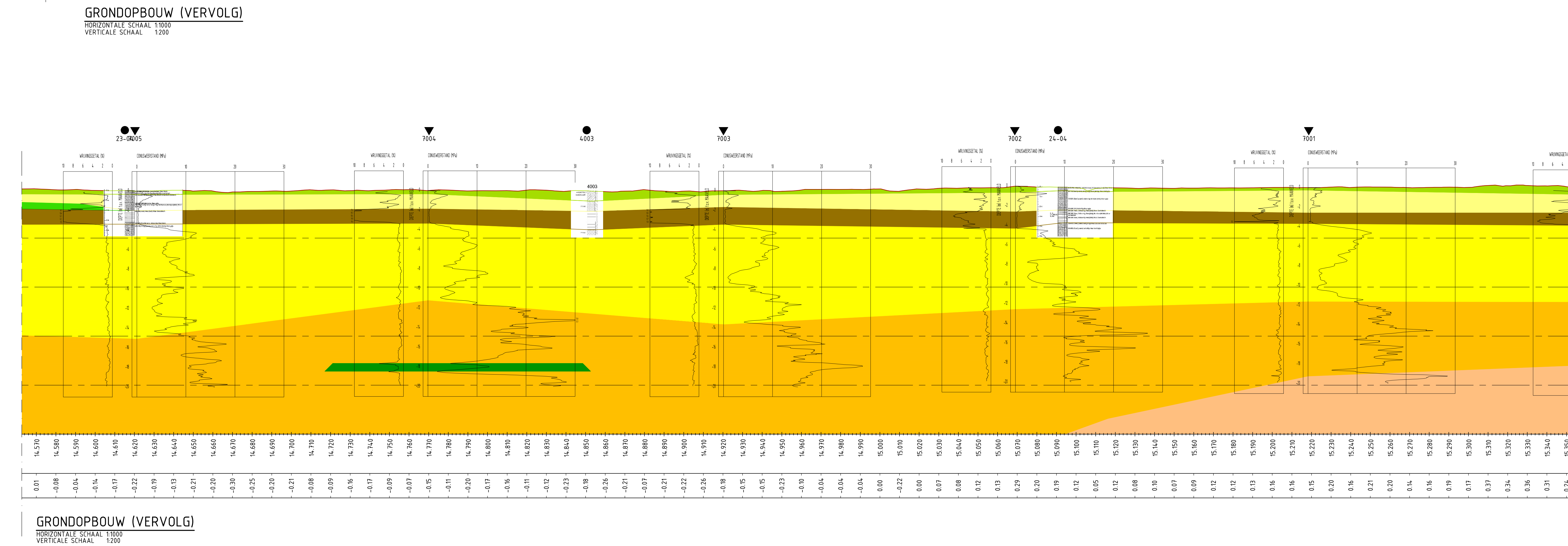
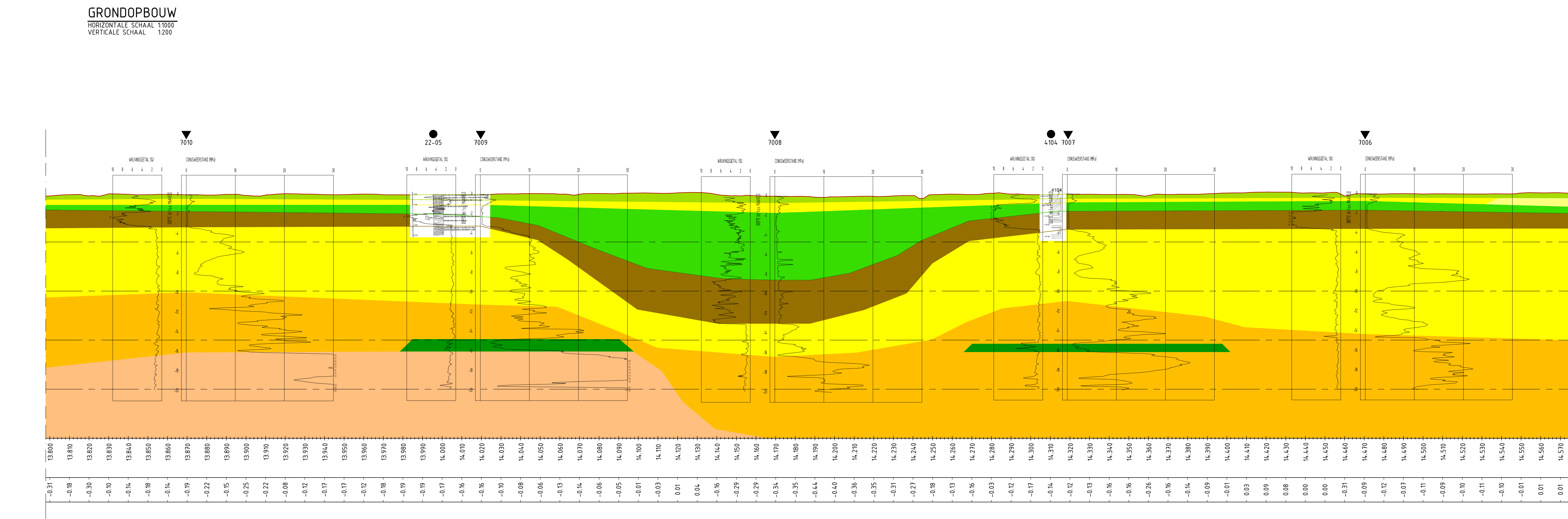
ZL384.71.1206

Formaat A1

Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon 0570 69 79 11
Telefax 0570 69 73 44

Datum

Formaat A1

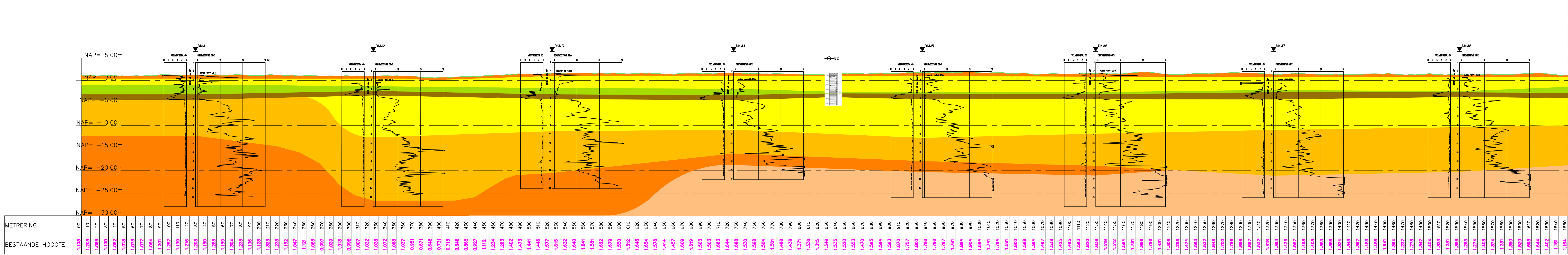


OVERZICHT GRONDONDERZOEK ZONE IV OOST
HORIZONTALE SCHAAAL 1:5.000

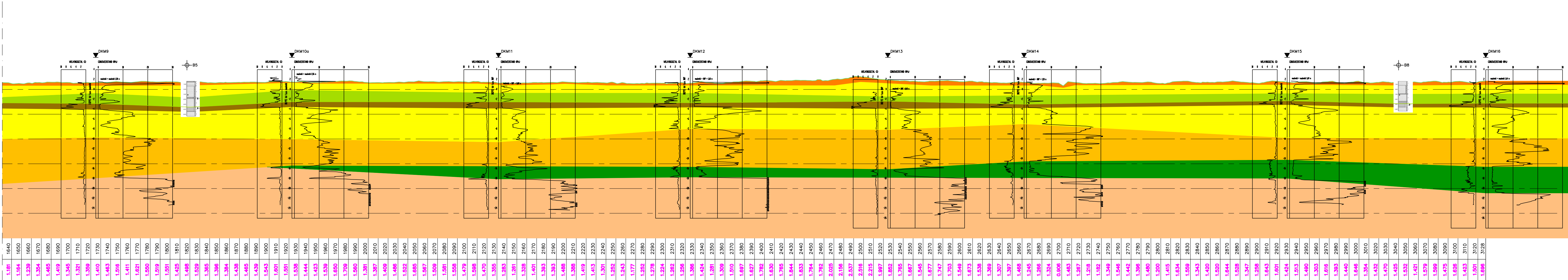




OVERZICHT GEOTECHNISCH ONDERZOEK DRONTERMEERDIJK
SCHAAL 1:5000



LENGTEPROFIEL T.P.V. kruin Drontermeerdijk
HOR. SCHAAL 1 : 1000
VERT. SCHAAL 1 : 200



DOCUMENT IN
BEWERKING

2

28-07-2010

LEGENDA

- VEEN
- KLEILAAG - TOP
- KLEILAAG - DIEP
- ZANDLAAG - SLAP
- ZANDLAAG - NATIG
- ZANDLAAG - VAST
- PLEISTOCEN ZAND
- BORING
- SONDERING
- ALIGNMENT GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

Tauw

Witteveen Bos

ROYAL HASKONING

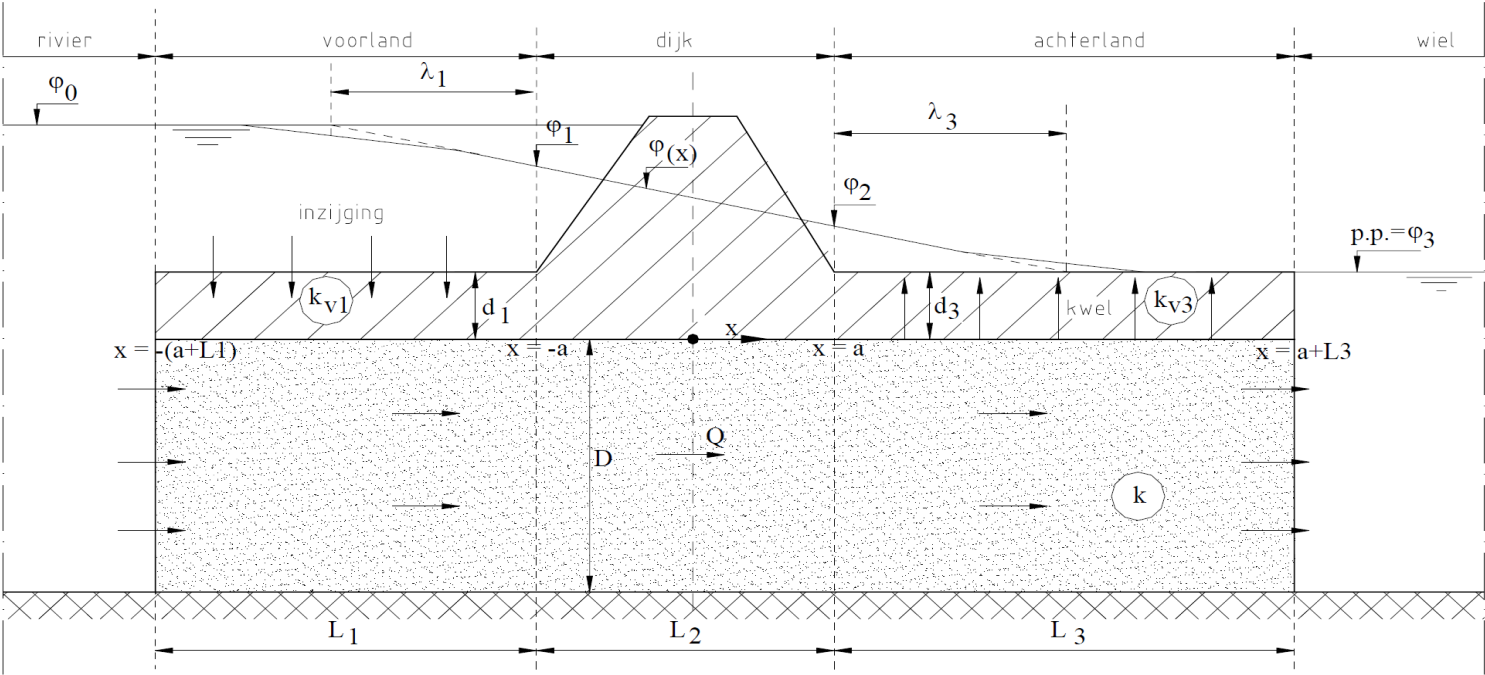
PROVINCIE OVERIJSSSEL
PLANSTUDIE SNIP3: IJSSELDelta-ZUID
Productgroep 3: Waterkeringsplan
Geotechnisch lengteprofiel
Drontermeerdijk

Witteveen Bos
Postbus 133
7400 AM Deventer
Telefoon 0578 69 79 11
Telefax 0578 69 73 44

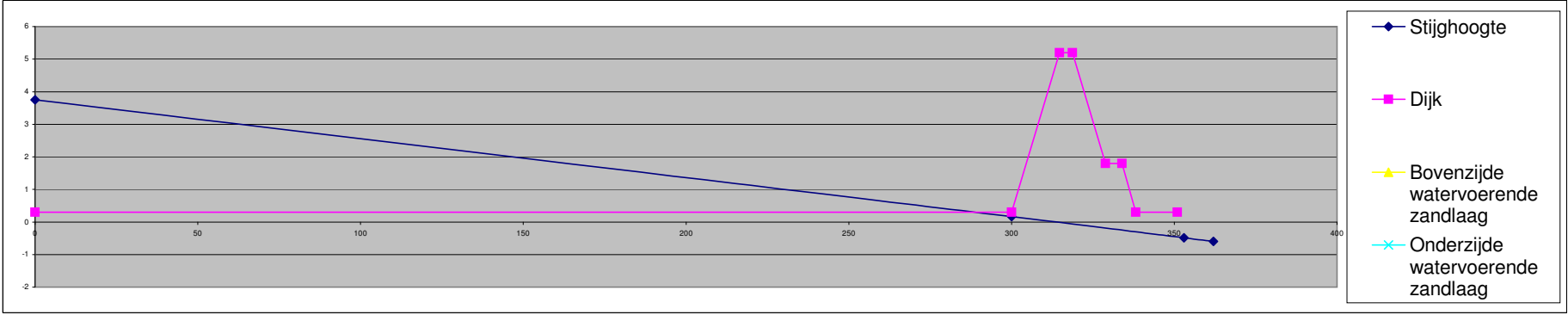
Getekend ing. J. Roerade
Gecontroleerd MSc. J. Lansink
Goedgekeurd P. H.J.M.A. Molis
Datum datum

Schale zie tekening
ZL384.71.1222
Formaat A0

BIJLAGE VII BEREKENINGSRESULTATEN STATIONAIRE GRONDWATERSTROMINGSBEREKENING



Figuur b4.4 Schematisering van grondwaterstroming ter plaatse van een kleidijk



zone	k	D	ϕ_0	kv1	d1	L1	λ_1	W1	ϕ_1	L2	W2	ϕ_2	kv3	d3	L3	λ_3	W3	ϕ_3
Z1	0,001	33	3,8	0,0000001	2,6	20	926,2829	605,96644	2,8538472	53	1606,0606	0,346152769	1E-07	2,6	20	926,2829	605,96644	-0,6
Z2	0,001	34,875	3,9	0,0000001	3	20	1022,864	573,40363	2,9000726	53	1519,7133	0,24992738	1E-07	3	20	1022,864	573,40363	-0,75
Z3	0,001	39,75	3,9	0,0000001	1,6	20	797,4961	503,0392	2,7724762	54	1358,4906	-0,272476212	1E-07	1,6	20	797,4961	503,0392	-1,4
Z4	0,001	37,5	3,75	1E-08	2,4	20	3000	533,32543	2,6973774	55	1466,6667	-0,197377449	1E-08	2,4	20	3000	533,32543	-1,25
Z5	0,001	13	3,75	0,0000001	1,4	20	426,6146	1537,3355	2,524474	55	4230,7692	-0,848191193	1E-07	1,4	9	426,6146	692,20501	-1,4
Z6	0,001	14,2	3,75	0,0000001	1,2	20	412,7953	1407,3497	2,5801955	55	3873,2394	-0,639283669	1E-07	1,2	13	412,7953	915,19042	-1,4
Z7	0,001	13,1	4,1	0,0000001	0,7	10	302,8201	763,08142	3,2790025	37	2824,4275	0,240207628	1E-07	0,7	20	302,8201	1524,5016	-1,4
Z8	0,001	12,8	4,1	0,0000001	1	10	357,7709	781,04661	3,3642312	40	3125	0,420389501	1E-07	1	20	357,7709	1560,8744	-1,05
Z9	0,001	13,9	4,05	0,0000001	1	20	372,827	1437,4703	3,0505826	62	4460,4317	-0,050582611	1E-07	1	20	372,827	1437,4703	-1,05
Z10	0,001	8,3	4,05	0,0000001	3,4	20	531,225	2408,5007	3,0502871	62	7469,8795	-0,050287083	1E-07	3,4	20	531,225	2408,5007	-1,05
Z11	0,001	7,5	4	0,0000001	3,6	20	519,6152	2665,3506	3,0802725	60	8000	0,319727515	1E-07	3,6	20	519,6152	2665,3506	-0,6
N1	0,001	31,875	3,95	0,0000001	0,8	20	504,9752	627,12311	3,0460162	54	1694,1176	0,603983813	1E-07	0,8	20	504,9752	627,12311	-0,3
N2	0,001	33	3,95	0,0000001	2,8	20	961,2492	605,97317	3,0521175	58	1757,5758	0,447882505	1E-07	2,8	20	961,2492	605,97317	-0,45
N3	0,001	7,6	3,9	0,0000001	3,9	20	544,4263	2630,3958	2,9308702	58	7631,5789	0,119129764	1E-07	3,9	20	544,4263	2630,3958	-0,85
N4	0,001	10,5	3,9	0,0000001	1,6	20	409,878	1903,2516	2,9310673	58	5523,8095	0,118932708	1E-07	1,6	20	409,878	1903,2516	-0,85
N5	0,001	12	4,05	0,0000001	1,3	20	394,9684	1665,2436	3,0505055	58	4833,3333	0,149494499	1E-07	1,3	20	394,9684	1665,2436	-0,85
N6	0,001	2,8	4,05	0,0000001	7,5	20	458,2576	7138,3254	2,9851647	52	18571,429	0,214835304	1E-07	7,5	20	458,2576	7138,3254	-0,85
N7	0,001	34,5	3,75	0,0000001	1,2	20	643,4283	579,52351	2,7918467	56	1623,1884	0,108153338	1E-07	1,2	20	643,4283	579,52351	-0,85
N8	0,001	35,25	3,85	0,0000001	3,3	20	1078,541	567,31086	2,8809931	57	1617,0213	0,119006899	1E-07	3,3	20	1078,541	567,31086	-0,85
N9	0,001	35,25	3,85	0,0000001	13,1	20	2148,895	567,3595	2,8809443	57	1617,0213	0,119055723	1E-07	13,1	20	2148,895	567,3595	-0,85
N10	0,001	35,25	3,85	0,0000001	1,8	20	796,5551	567,25669	2,8810475	57	1617,0213	0,11895252	1E-07	1,8	20	796,5551	567,25669	-0,85
N11	0,001	32,325	3,85	0,0000001	0,5	20	402,0261	618,20626	2,933413	54	1670,5336	0,456586968	1E-07	0,5	20	402,0261	618,20626	-0,46