

RAPPORT

Bepalen waterstandseffecten t.b.v. locatiekeuze stadionpark Rotterdam

Klant: OperatieNL

Referentie: WATBC2556-131-100R001D04

Versie: 01/Concept

Datum: 14 maart 2016

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Netherlands
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 90 00 **T**

+31 10 209 44 26 **F**

info@rhdhv.com **E**

www.royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Bepalen waterstandseffecten t.b.v. locatiekeuze stadionpark Rotterdam

Ondertitel:

Referentie: WATBC2556-131-100R001D04

Versie: 01/Concept

Datum: 14 maart 2016

Projectnaam: Waterstandseffect Locatiekeuze Stadionpark Feyenoord

Projectnummer: BC2556-131-100

Auteur(s):



Opgesteld door:



Gecontroleerd door:



Datum/Initialen:



Goedgekeurd door:



Datum/Initialen:



Classificatie

Open



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Vraagstelling	3
2	Uitgangspunten en aanpak analyse waterstandseffecten	4
2.1	Werkwijze hydraulische beoordeling	4
2.2	Uitgangspunten	5
2.3	Ontwerp	6
3	Resultaten en analyse	7
3.1	Resultaten	7
3.2	Analyse	8

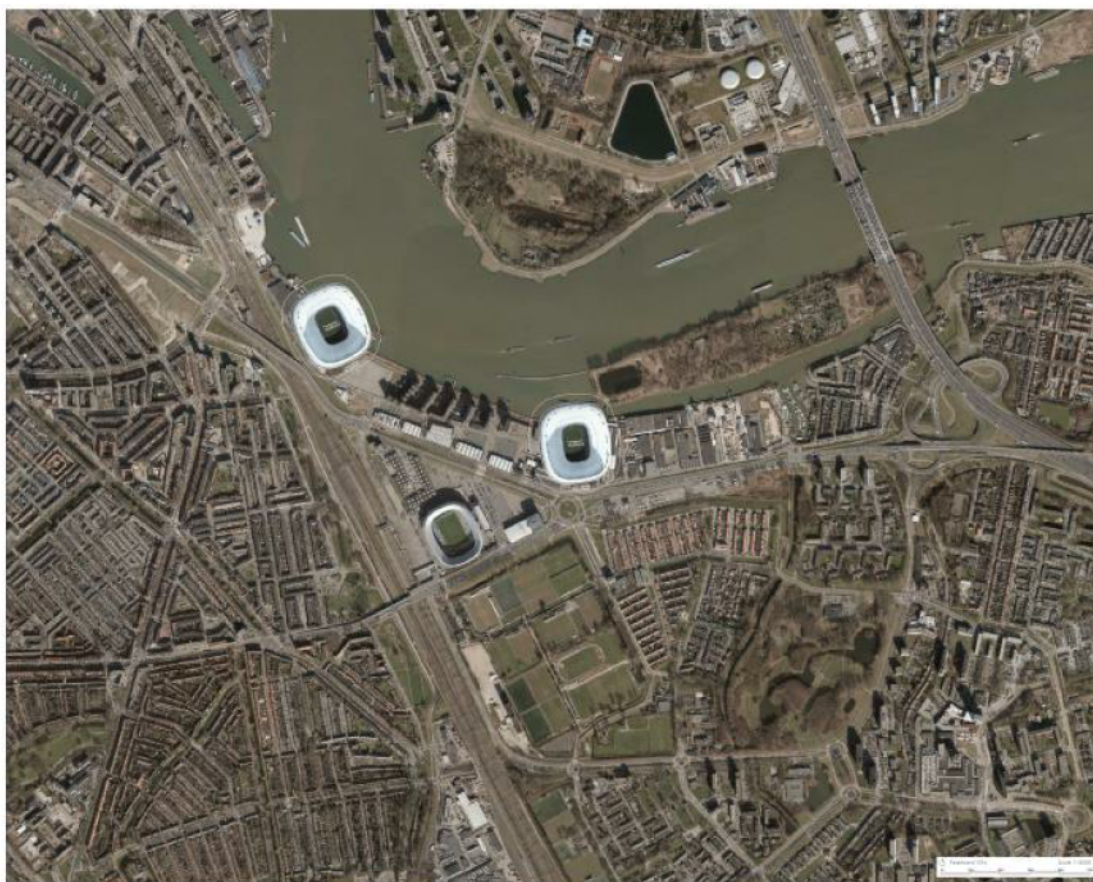
Bijlagen

A1	Werkwijze en uitgangspunten
A2	Toelichting ontwerp
A3	Opbouw deelmodel
A4	Beschouwing resultaten
A4.1	Situatie met hoge afvoer
A4.2	Situatie met hoge zeewaterstand

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ten behoeve van de locatiekeuze voor een nieuw stadion in Rotterdam is inzicht noodzakelijk in de mogelijke waterstandseffecten van twee van de mogelijke locaties. Door Rijkswaterstaat is aangegeven dat twee locaties zich deels in het bergende en stroomvoerende regiem van de Maas bevinden en dat dit mogelijk voor opstuwung in bovenstroomse richting kan zorgen. Deze opstuwung is ongewenst en kan daarmee van invloed zijn op de locatiekeuze of variantenkeuze. De twee locaties zijn te zien in Figuur 1.



Figuur 1: locaties nieuw stadion

1.2 Vraagstelling

In deze fase van het project is er vraag naar inzicht in de grootte van de waterstandseffecten als gevolg van de ontwikkeling van het stadion in de Maas, en mogelijkheden om deze eventuele effecten te mitigeren.

2 Uitgangspunten en aanpak analyse waterstandseffecten

2.1 Werkwijze hydraulische beoordeling

In de Rijnakken en de Maas wordt de waterstand vooral bepaald door de rivierafvoer. In de Rijn-Maasmonding wordt de waterstand vooral bepaald door het samenspel van rivierafvoer, wind en getij.

De locatie van het nieuwe stadion Rotterdam is gelegen op de grens van gebied waar de zeewaterstand dominant is voor maatgevende condities, en het gebied wat geldt als overgangsgebied tussen zee- en rivierafvoer gebieden, zie ook Figuur 2.



Figuur 2: Overgangsgebied Rijn-Maasmonding

Voor overgangsgebieden worden de hydraulische randvoorwaarden (HR) berekend met een stochastische/probabilistische methode. Door het grote aantal benodigde sommen (enkele duizenden) is deze methodiek ongeschikt voor het beoordelen van het hydraulisch effect van een voorgenomen maatregel zoals het stadion Rotterdam.

Om te voorkomen dat er een groot aantal berekeningen uitgevoerd moet worden is door RWS de methode van de Conditionele illustratiepunten voorgeschreven in het rivierkundig beoordelingskader. Met deze methode kan met een relatief klein aantal berekeningen het effect van een maatregel op het toetspeil bepaald worden.

Specifiek voor de locaties van het stadion is door RWS een drietal combinaties van randvoorwaarden afgeleid. (zie ook Tabel 1 in Bijlage A1) waarvoor het hydraulische effect bepaald moet worden:

- AAA: Zee gedomineerd: lage rivierafvoer en hoge waterstanden op zee;
- AAB: Zee gedomineerd: lage rivierafvoer en hoge waterstanden op zee, maar minder extreem dan AAA;
- AAC: Rivier gedomineerd: hoge rivierafvoer, lagere waterstanden op zee.

De kansbijdrage van elke combinatie is 33%. Hieruit volgt dat het gemiddelde van de effecten maatgevend is.

Het idee achter deze drie combinaties is dat ze voor de locatie van interesse in de referentiesituatie alle drie zouden moeten leiden tot dezelfde absolute waterstand. Voor de volledigheid wordt hier opgemerkt dat de in deze studie gevonden absolute waterstanden niet helemaal vergelijkbaar zijn. Voor de situatie met een hoge rivierafvoer wordt een lagere absolute waterstand gevonden (zie ook de figuren in Bijlage A4).

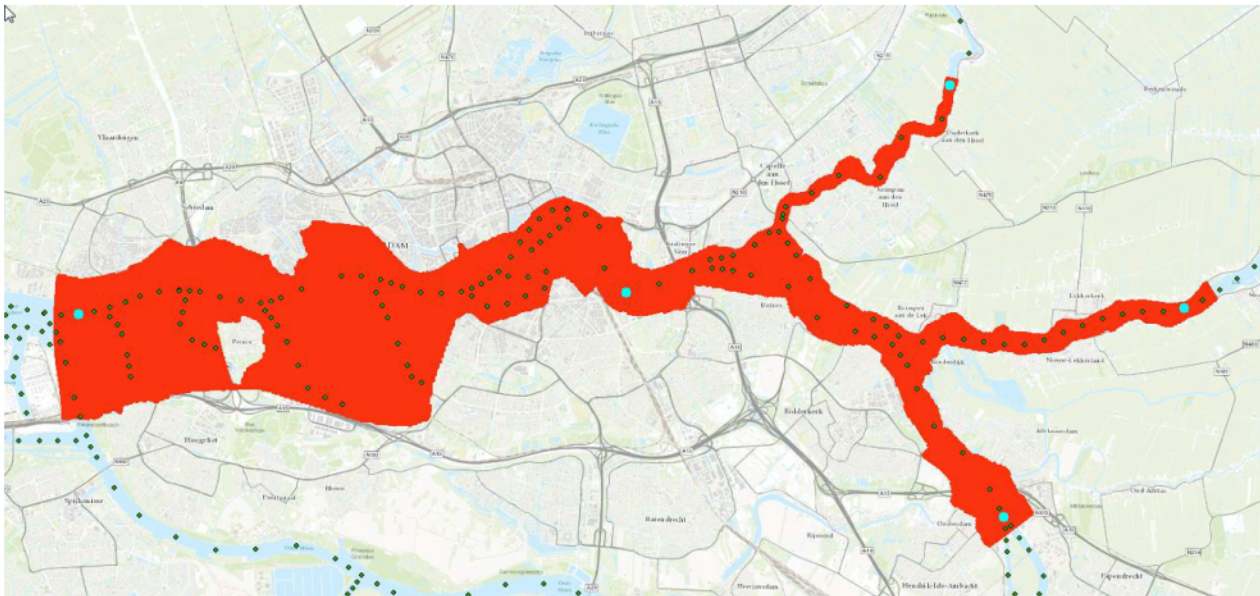
2.2 Uitgangspunten

In Bijlage A1 is een uitgebreid overzicht gegeven van de gehanteerde uitgangspunten.

Opgemerkt wordt dat er voor de locatie van het stadion Rotterdam geen officieel verfijnd deelmodel in WAQUA beschikbaar was. In overleg met RWS besloten om voor deze analyse een niet officieel deelmodel te creëren.

De belangrijkste kenmerken van de uitgevoerde WAQUA berekeningen zijn als volgt:

- De gebruikte WAQUA versie is Simona 2015 (laatste patch);
- Het vigerende WAQUA model is het 'RMM-5/beno15_5-v1' model;
- Het complete RMM-5 model heeft een lange rekentijd en complexe aansturing. Om de rekentijd te verkorten en de aansturing te vergemakkelijken, is een deelmodel gemaakt op basis van het gehele model (zie Figuur 3). Deze werkwijze is conform het Rivierkundig Beoordelingskader;
- Randvoorwaarden voor het deelmodel zijn overgenomen uit SOBEK resultaten, aangeleverd door RWS-WNZ (conform de methode voor de Conditionele illustratiepunten zoals in paragraaf 2.1 beschreven).



Figuur 3: deelmodel met SOBEK-uitvoerlocaties (groen). Locaties weergegeven in cyaan zijn deelmodelranden of de projectlocatie.

Naast het opknippen van het model is het rekenrooster drie keer verfijnd. Hierdoor is voldoende detailniveau aanwezig om de maatregelen goed op te nemen in het model. Om het model stabiel te krijgen is de rekentijdstap aangepast naar 0,05 minuut en is de viscositeit aangepast aan de benedenstroomse rand (plaatselijk verhoogd naar $100 \text{ m}^2/\text{s}$).

2.3 Ontwerp

De twee locaties van het stadion zijn te zien in Figuur 1. In Baseline zijn de stadions als volgt geschematiseerd (figuren zijn opgenomen in Bijlage A2):

- Het bodemmodel is aangepast door de hoogte te verhogen naar 4,5 m +NAP, ongeveer gelijk aan de nabij gelegen kadehoogte. De hoogte is aangepast doormiddel van breuklijnen, zie ook Figuur 5 en Figuur 6;
- De ruwheid is aangepast naar 'bebouwing' (ruwheidscode 2), zie ook Figuur 7 en Figuur 8;
- Er is een hoogwatervrij geplaatst op de plek van het stadion.

Opgemerkt wordt dat voor voorliggende analyses de contouren van de stadions conform Figuur 1 zijn gehanteerd. Er is vooralsnog geen rekening gehouden met overige voorzieningen of maatregelen zoals extra kades, dammen etc.

3 Resultaten en analyse

3.1 Resultaten

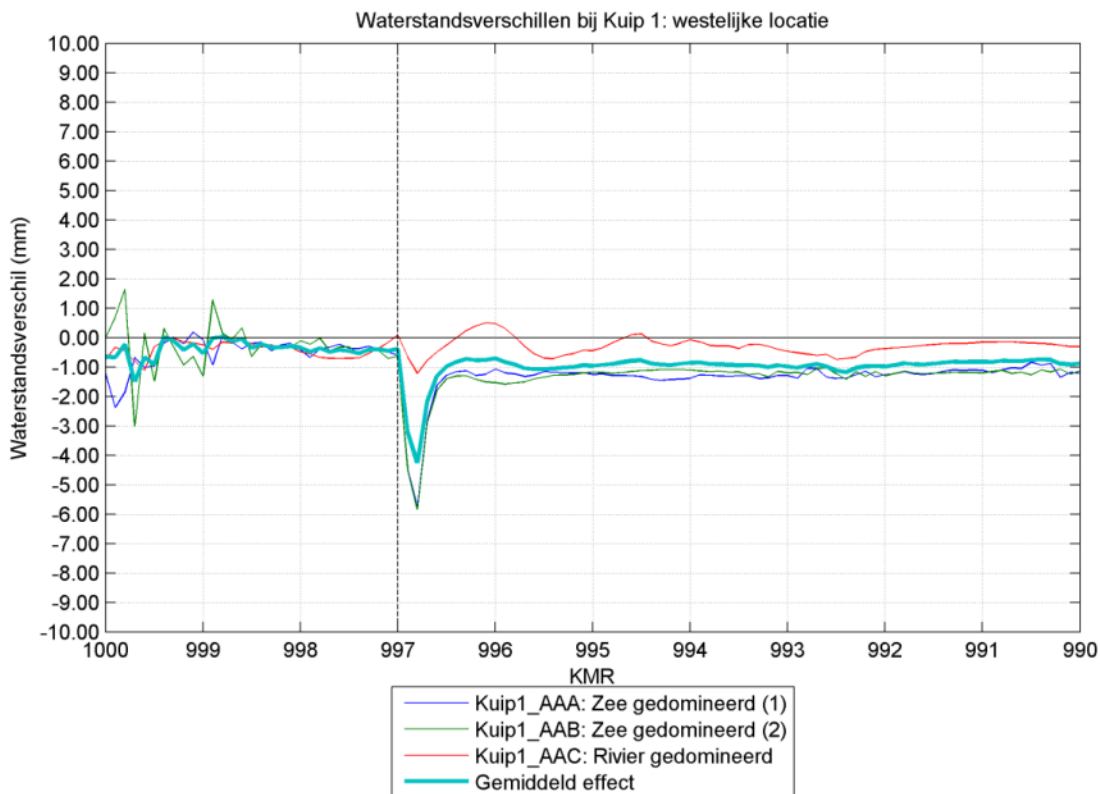
In Bijlage A1 is beschreven dat waterstandseffecten zijn bepaald voor drie combinaties van randvoorwaarden (zie ook Tabel 1 in Bijlage A1):

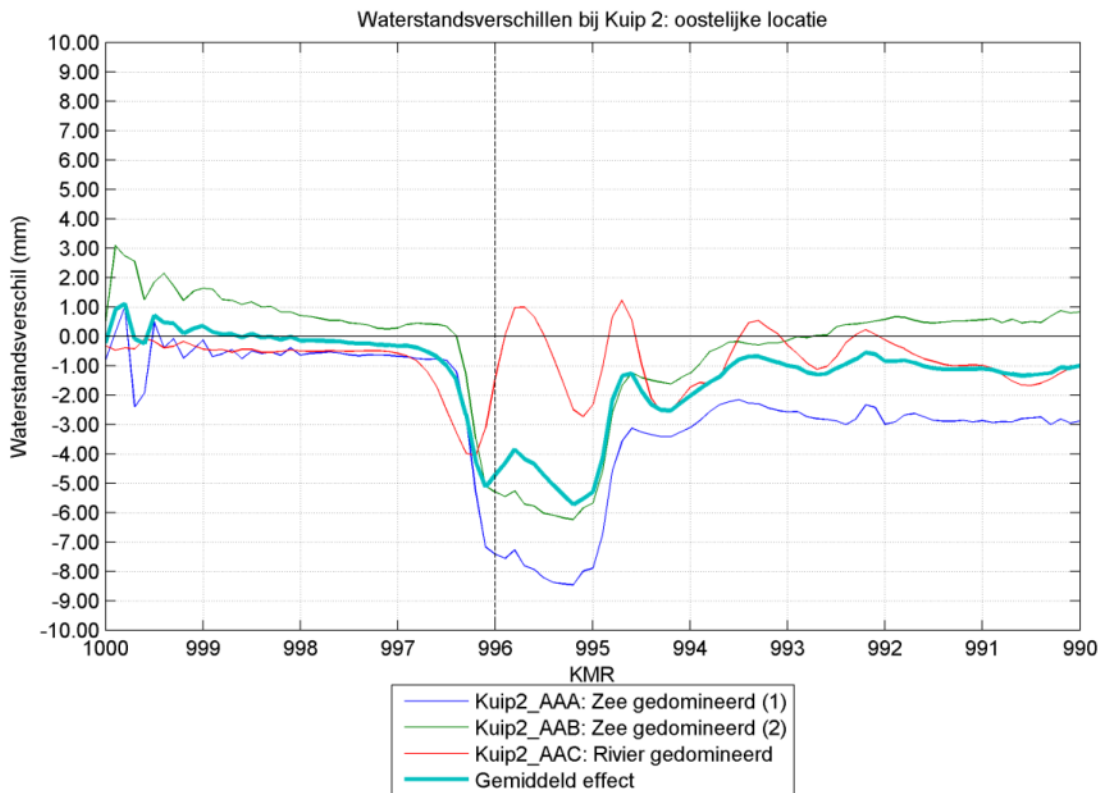
- AAA: Zee gedomineerd: lage rivierafvoer en hoge waterstanden op zee;
- AAB: Zee gedomineerd: lage rivierafvoer en hoge waterstanden op zee, maar minder extreem dan AAA;
- AAC: Rivier gedomineerd: hoge rivierafvoer, lagere waterstanden op zee.

De kansbijdrage van elke combinatie is 33%. Hieruit volgt dat het gemiddelde van de effecten maatgevend is.

Er is een periode van zes dagen doorgerekend. Op een bepaald tijdstip is de waterstand van de referentieberekeningen maximaal op de locatie van de maatregelen. De waterstand op dit tijdstip is vergeleken met de waterstand op ditzelfde tijdstip voor de varianten. Figuur 4 toont deze waterstandsverschillen van de varianten ten opzichte van de referentie voor alle drie de combinaties van randvoorwaarden. Het gemiddelde maatgevende waterstandsverschil is gegeven in blauwgroen.

Voor Kuip1, de situatie met de meest westelijke locatie van het stadion, is het resultaat een waterstandsding van -4 mm. Voor Kuip2, de oostelijke locatie van het stadion, is het resultaat een waterstandsding van -6 mm.





Figuur 4: Waterstandsverschillen. De resultaten zijn alleen geldig rondom kilometerraai 996, de locatie waarvoor de conditionele illustratiepunten zijn afgeleid.

Geconcludeerd wordt dat de gehanteerde methode er in resulteert dat beide locaties van het stadion niet zullen leiden tot negatieve effecten op maatgevende hoogwaterstanden.

3.2 Analyse

Een uitgebreidere analyse en verklaring van deze waterstandsval is opgenomen in Bijlage A4.

De belangrijkste verklaring voor de gevonden effecten is dat voor alle drie de combinaties van randvoorwaarden de maximale hoogwaterstanden optreden als gevolg van hoge zeewaterstanden. Ook voor de combinatie met relatief hoge rivierafvoer treedt de maximale hoogwaterstand ter plaatse van de stadions op vlak voor de kentering van het getij (als water nog naar binnen stroomt).

Doordat er tijdens maximale hoogwaterstanden vrijwel geen sprake is van stroomsnelheden heeft de lokale versmalling van de rivier als gevolg van het stadion ook geen opstuwend effect.

Als er een situatie beschouwd wordt waarbij wel veel afvoer door de rivier gaat is wel een duidelijk opstuwende werking zichtbaar. Deze situatie treedt op tijdens eb en is daardoor niet maatgevend (zie ook de figuren in Bijlage A4).

Bijlage A4 gaat verder in op de systeemwerking van het gebied. Er worden onder andere situaties beschouwd die niet maatgevend zijn maar wel verklaren hoe het kan dat de ligging van de stadions niet lijden tot een waterstandsstijging.

Appendices

A1 Werkwijze en uitgangspunten

In de voorliggende studie zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Waterstandsverschillen worden bepaald bij maatgevende condities, met een herhalingsdij van 4000 jaar;
- Hierbij wordt gebruik gemaakt van de methode met conditionele illustratiepunten (cip);
- Het gebruikte cip is Nieuwe Maas km 996. Dit punt is bepaald door Rijkswaterstaat West-Nederland-Zuid (RWS-WNZ).

De kenmerken van de uitgevoerde Baseline schematisaties zijn als volgt:

- De schematisatie van de rivierkundige ingrepen zijn aangemaakt met behulp van Baseline versie 5.3.1212. Er wordt gebruik gemaakt van ArcGIS 10.1 SP1;
- Het aangeleverde volledige Baseline model 'beno15_5-v1' is gebruikt als referentiemodel;
- De schematisatie van het westelijk gelegen stadion heeft als kenmerk 'Kuip1_v1'. De maatregel is ingemixt in het volledige Baseline model, wat leidt tot de variant met kenmerk 'Maas_Kuip1_v2';
- De schematisatie van het oostelijk gelegen stadion, nabij het Eiland van Brieneoord, heeft als kenmerk 'Kuip2_v1'. De maatregel is ingemixt in het volledige Baseline model, wat leidt tot de variant met kenmerk 'Maas_Kuip2_v5'.

De kenmerken van de uitgevoerde WAQUA berekeningen zijn als volgt:

- De gebruikte WAQUA versie is Simona 2015 (laatste patch);
- Het vigerende WAQUA model is het 'RMM-5/beno15_5-v1' model;
- Het complete RMM-5 model heeft een lange rekentijd en complexe aansturing. Om de rekentijd te verkorten en de aansturing te vereenvoudigen, is een deelmodel gemaakt op basis van het gehele model. Deze werkwijze is conform het Rivierkundig Beoordelingskader;
- Randvoorwaarden voor het deelmodel zijn overgenomen uit SOBEK resultaten, aangeleverd door RWS-WNZ;
- De WAQUA berekeningen zijn uitgevoerd bij drie verschillende combinaties van randvoorwaarden. Deze combinaties zijn bepaald door RWS-WNZ en zijn te vinden in Tabel 1. De Europoortkering is in alle drie de situaties geopend;
- Er zijn geen lateralen aanwezig in het deelmodel;
- Er wordt niet-stationair gerekend;
- De modeltijdstep is 0,05 minuut (3 seconden);
- Een overzicht van de WAQUA SDS-bestanden is te vinden in Tabel 2.

Tabel 1: combinaties van randvoorwaarden

Naam	Afvoer Rijn (m ³ /s)	Afvoer Maas (m ³ /s)	Zeewaterstand (m +NAP)	Windsnelheid (m/s)	Windrichting	Kansbijdrage
AAA	1605	171	3.55	23.0	NW	33%
AAB	3193	497	3.47	22.0	NW	33%
AAC	7614	1535	3.11	19.0	NW	33%

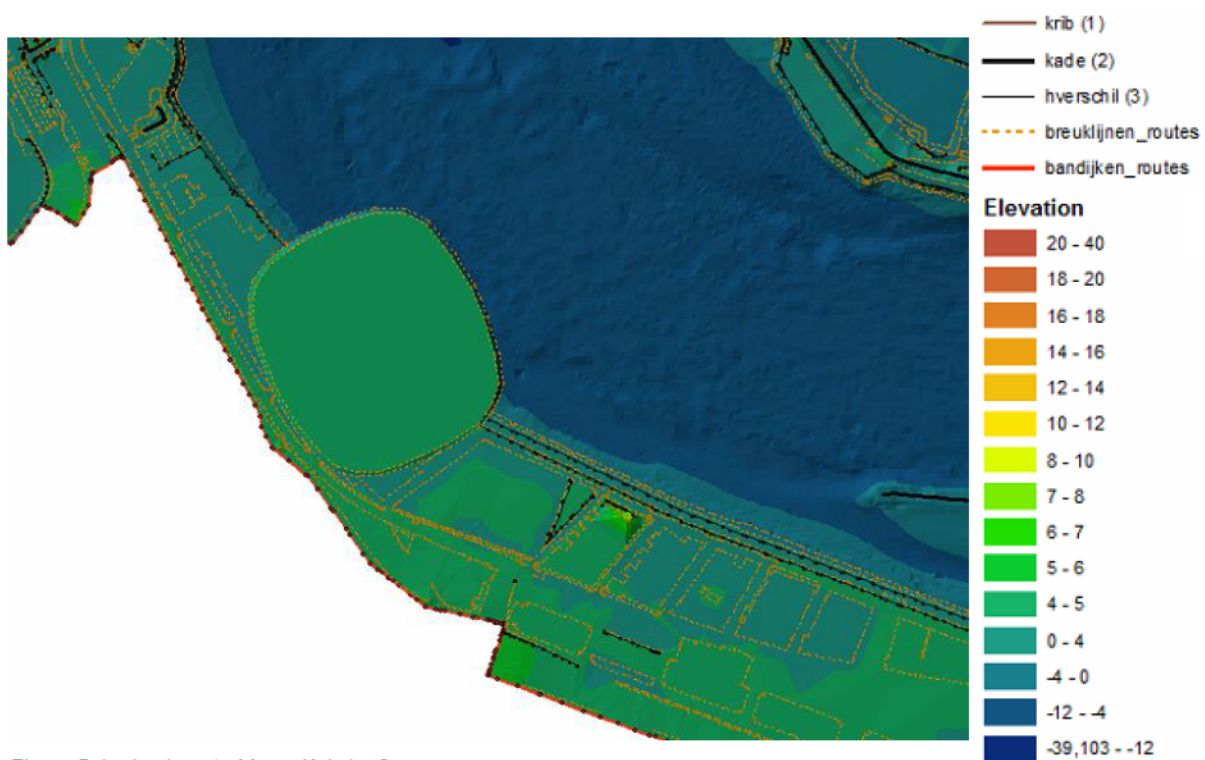
Tabel 2 Kenmerken SDS-bestanden

Situatie	Referentie	Variant 1	Variant 2
AAA	Ref_AAA	Kuip1_AAA	Kuip2_AAA
AAB	Ref_AAB	Kuip1_AAB	Kuip2_AAB
AAC	Ref_AAC	Kuip1_AAC	Kuip2_AAC

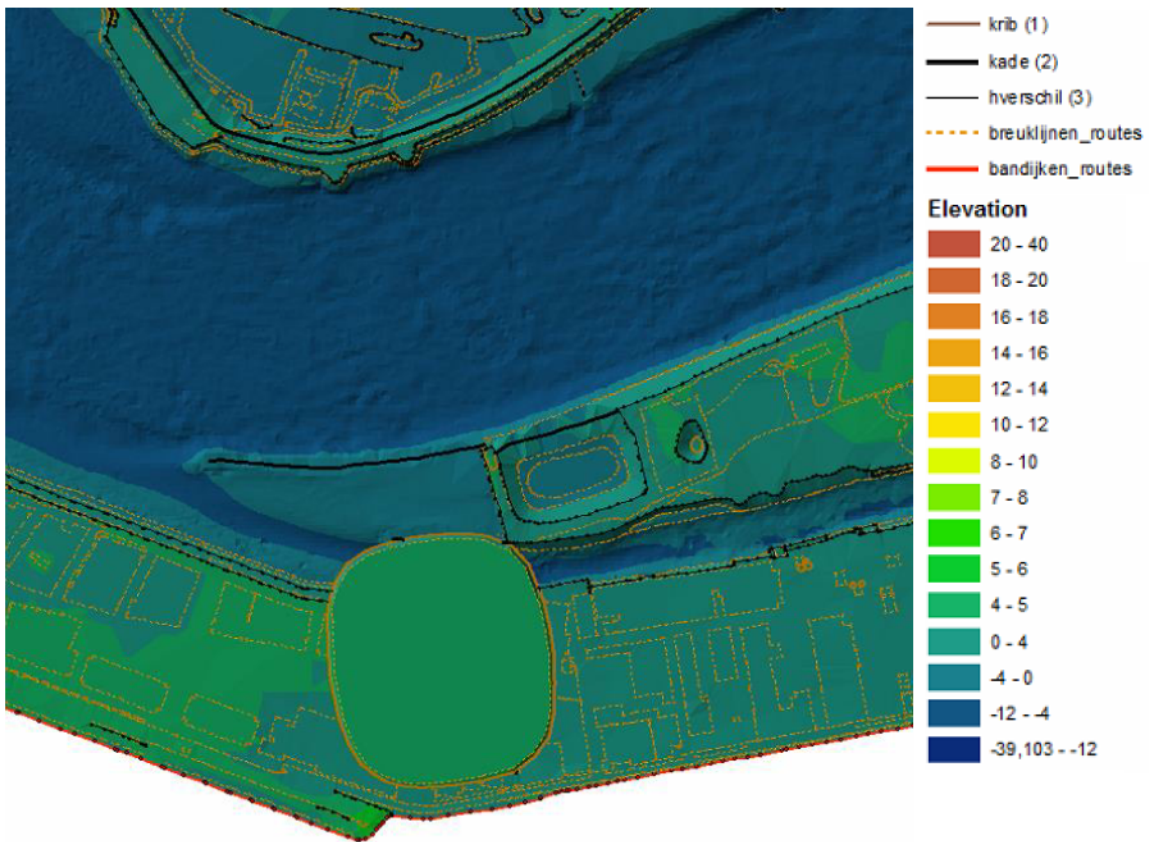
A2 Toelichting ontwerp

De twee locaties van de stadions zijn te zien in Figuur 1 in Hoofdstuk 1.1. In Baseline zijn de stadions als volgt geschematiseerd:

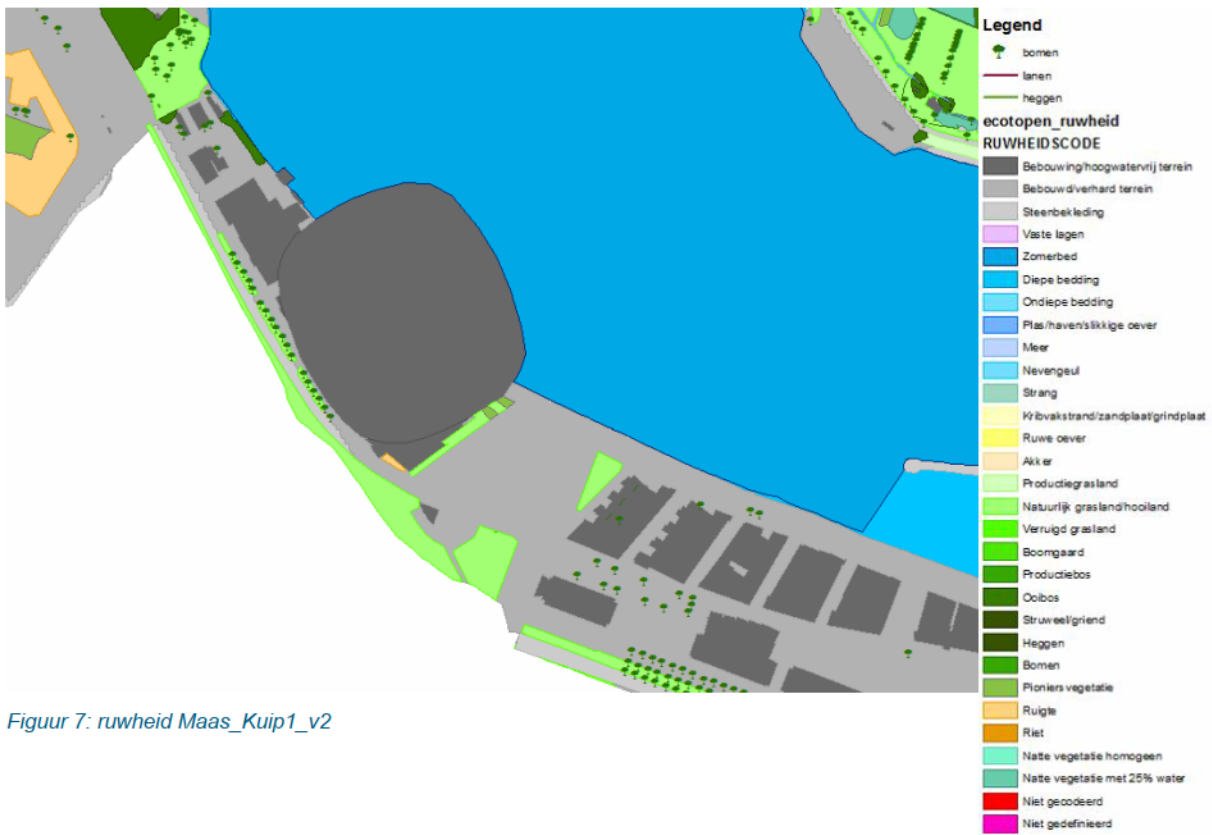
- Het bodemmodel is aangepast door de hoogte te verhogen naar 4,5 m +NAP, ongeveer gelijk aan de nabij gelegen kadehoogte. De hoogte is aangepast doormiddel van breuklijnen, zie ook Figuur 5 en Figuur 6;
- De ruwheid is aangepast naar 'bebouwing' (ruwheidscode 2), zie ook Figuur 7 en Figuur 8;
- Er is een hoogwatervrij geplaatst op de plek van het stadion.



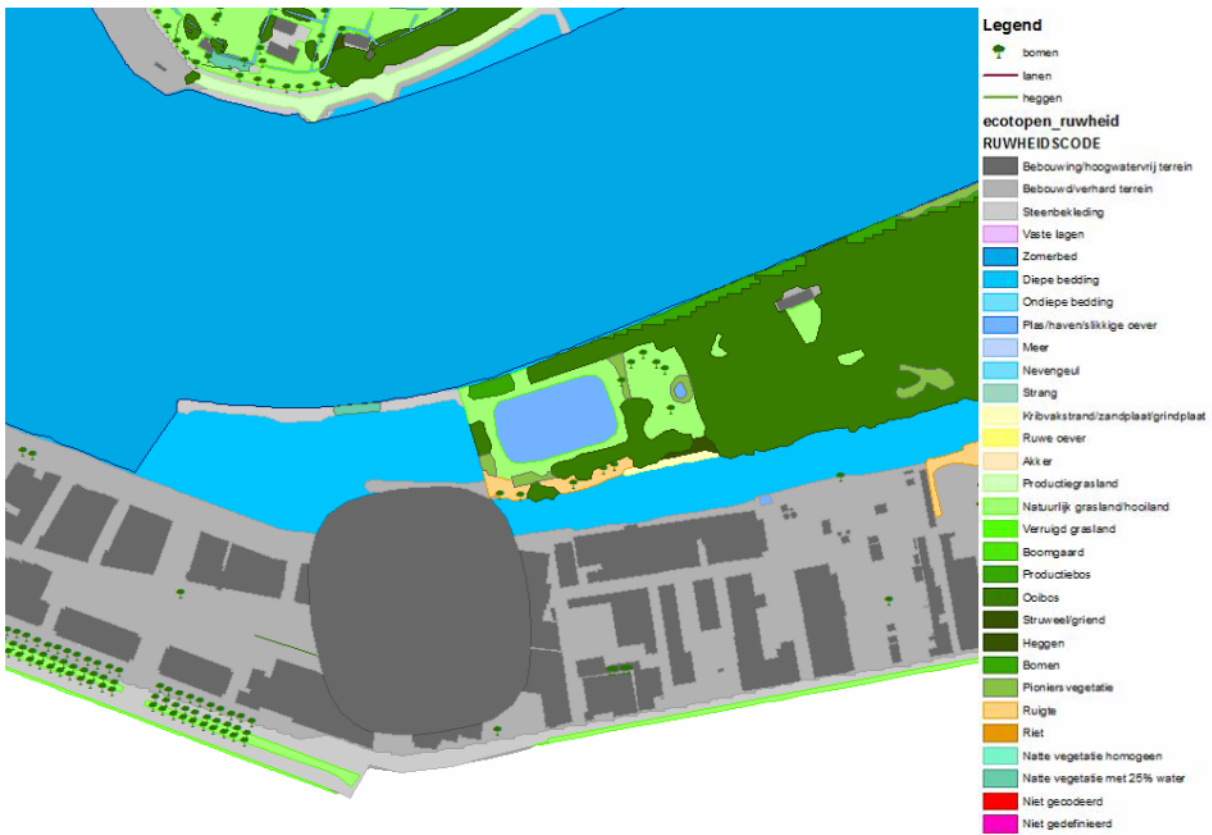
Figuur 5: bodemhoogte Maas_Kuip1_v2



Figuur 6: bodemhoogte Maas_Kuip2_v5

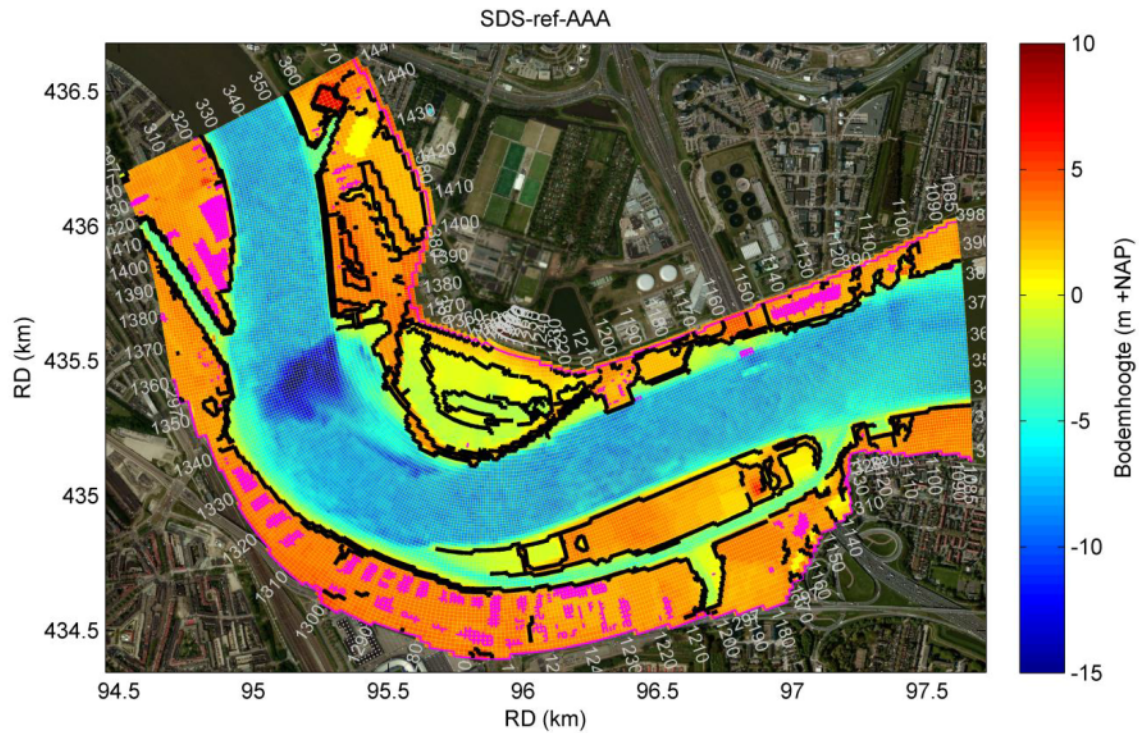


Figuur 7: ruwheid Maas_Kuip1_v2

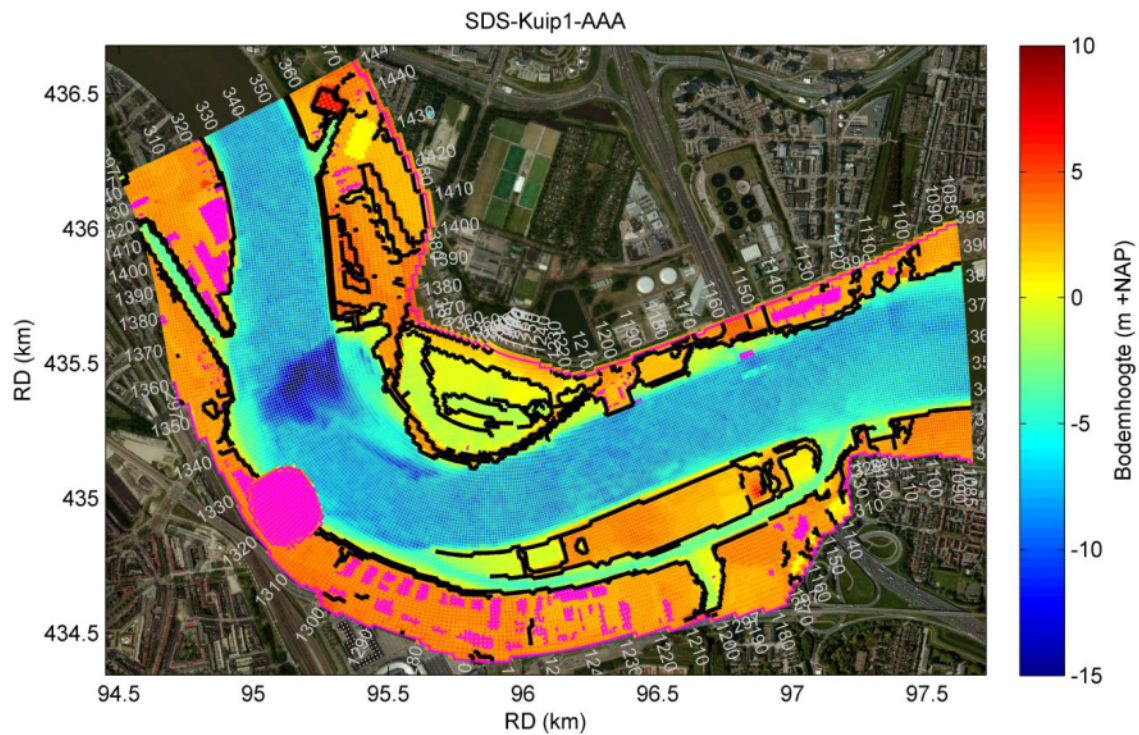


Figuur 8: ruwheid Maas_Kuip2_v5

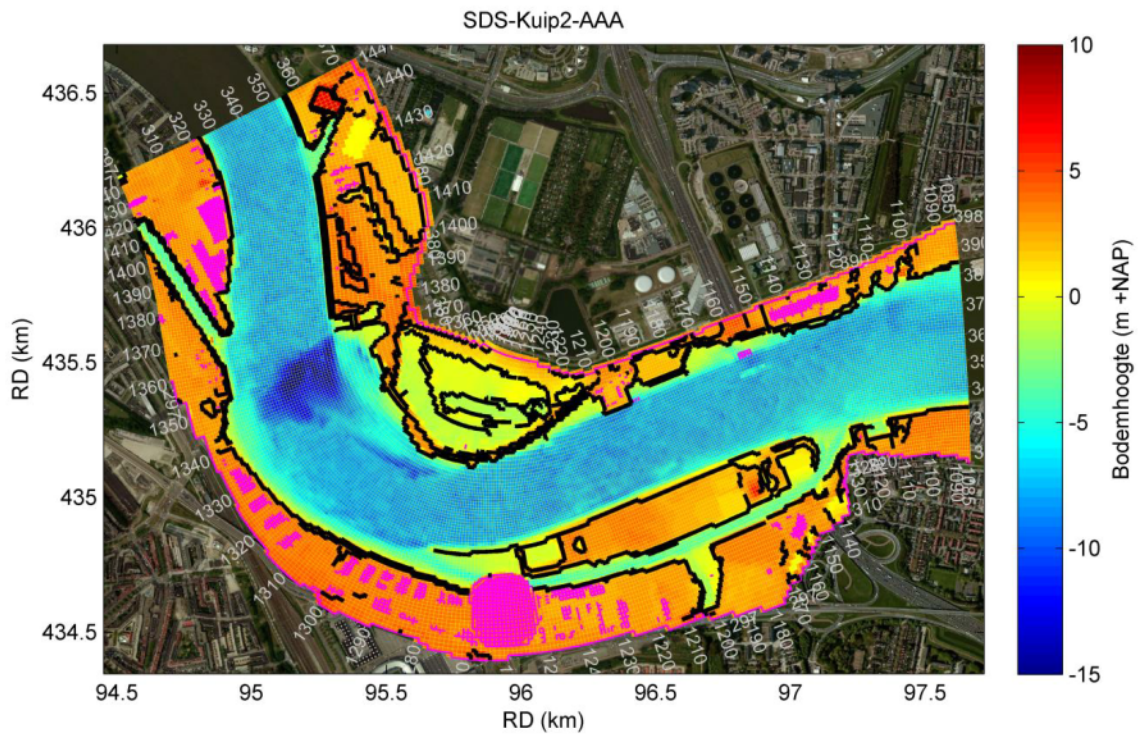
In WAQUA resulteert dat in de schematisaties zoals deze te zien zijn in Figuur 9 tot en met Figuur 10.



Figuur 9: WAQUA bodemhoogte, overlatten (zwart) en schotjes (roze) voor de referentie (Ref_AAA)



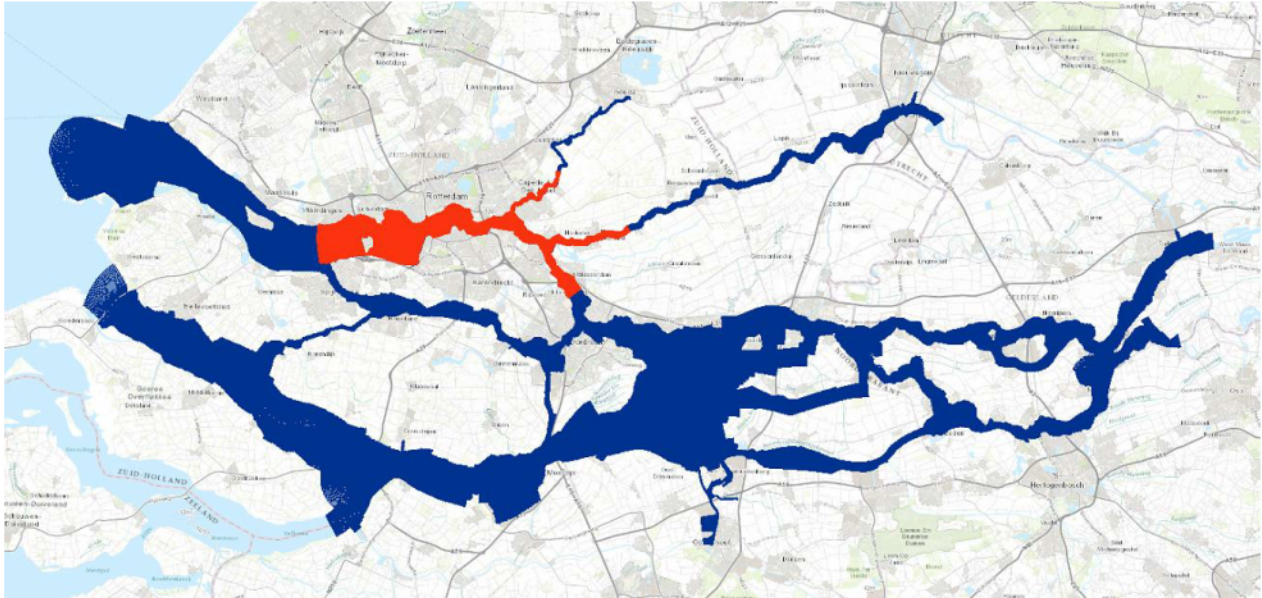
Figuur 10: WAQUA bodemhoogte, overlatten (zwart) en schotjes (roze) voor Kuip1 (Kuip1_AAA)



Figuur 11: WAQUA bodemhoogte, overlaten (zwart) en schotjes (roze) voor de Kuip2 (Kuip2_AAA)

A3 Opbouw deelmodel

Het complete RMM-5 domein is te zien in Figuur 12. Het deelmodel wordt in diezelfde figuur getoond in het rood.

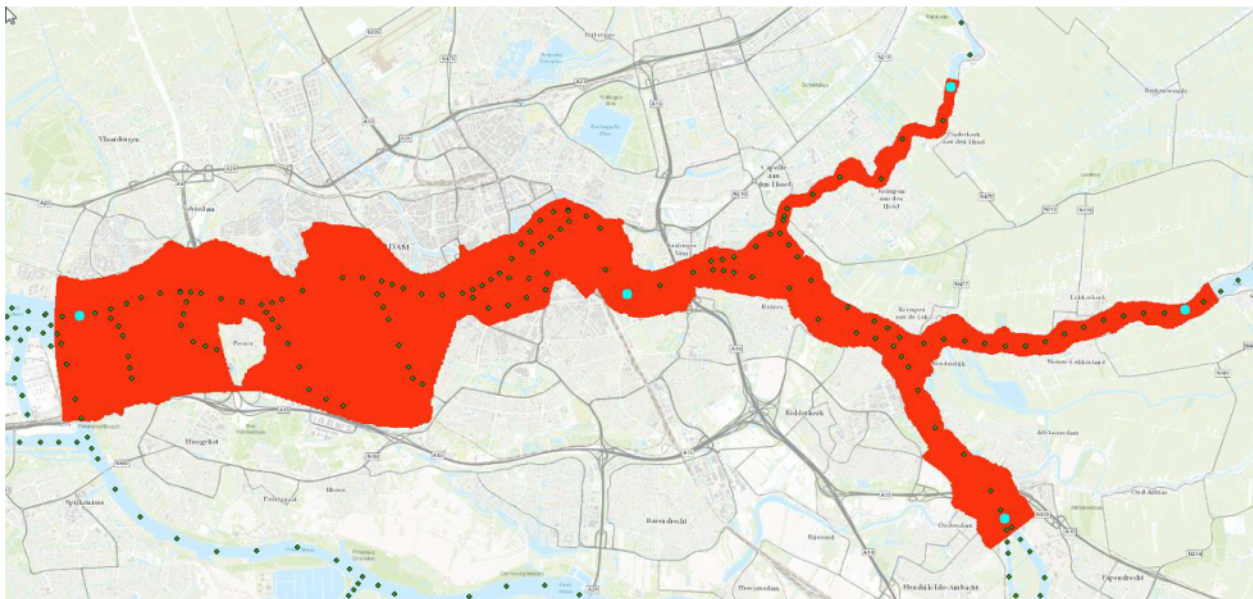


Figuur 12: modeldomein RMM-5 model (blauw) en deelmodel (rood)

Figuur 13 toont het domein van het deelmodel. Het RMM-5 grid is afgesneden nabij SOBEK-uitvoerlocaties die zijn gebruikt om randvoorwaarden op te leggen:

- Bij de Hollandsche IJssel wordt SOBEK-uitvoerlocatie 'HoiJ029_12028' gebruikt om een debiet op te leggen. Dit punt ligt nabij KMR 12;
- Bij de Lek wordt SOBEK-uitvoerlocatie 'Lek 2_34117' gebruikt om een debiet op te leggen. Dit punt ligt nabij KMR 982;
- Bij de Noord wordt SOBEK-uitvoerlocatie 'NOOR098_261,175' gebruikt om een debiet op te leggen. Dit punt ligt nabij KMR 980;
- Bij de Nieuwe Maas wordt SOBEK-uitvoerlocatie 'NiMa010_772' gebruikt om een waterstand op te leggen. Dit punt ligt nabij KMR 1012.

De projectlocatie ligt op de Nieuwe Maas nabij SOBEK-uitvoerlocatie NiMa010_772 bij KMR 997.



Figuur 13: deelmodel met SOBEK-uitvoerlocaties (groen). Locaties weergegeven in cyaan zijn deelmodelranden of de projectlocatie.

Naast het opknippen van het model is het rekenrooster drie keer verfijnd. Hierdoor is voldoende detailniveau aanwezig om de maatregelen goed op te nemen in het model. Om het model stabiel te krijgen is de rekentijdstap aangepast naar 0,05 minuut en is de viscositeit aangepast aan de benedenstroomse rand (plaatselijk verhoogd naar $100 \text{ m}^2/\text{s}$).

A4 Beschouwing systeemwerking en resultaten

Deze bijlage gaat in op de werking van het systeem onder de verschillende condities, om te verklaren waarom een vernauwing in de Nieuwe Maas als gevolg van het stadion, niet leidt tot verhoogde waterstanden.

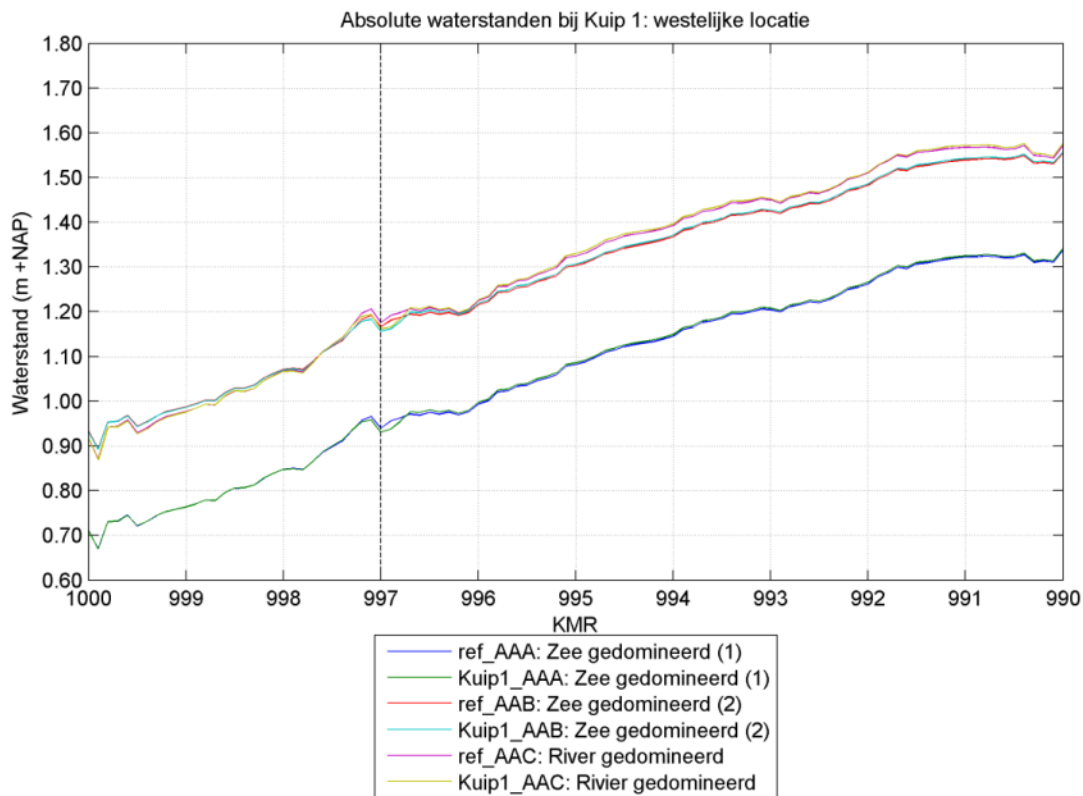
De locatie van het nieuwe stadionpark Rotterdam is gelegen op de grens van gebied waar de zeewaterstand dominant is voor maatgevende condities, en het gebied wat geldt als overgangsgebied tussen zee- en rivierafvoer gebieden, zie ook Figuur 14. Om de resultaten te verklaren en het systeem beter te begrijpen, is nader gekeken naar situaties voor de westelijke locatie van het stadion (Kuip1). Effecten voor de andere locatie (Kuip2) zijn vergelijkbaar.



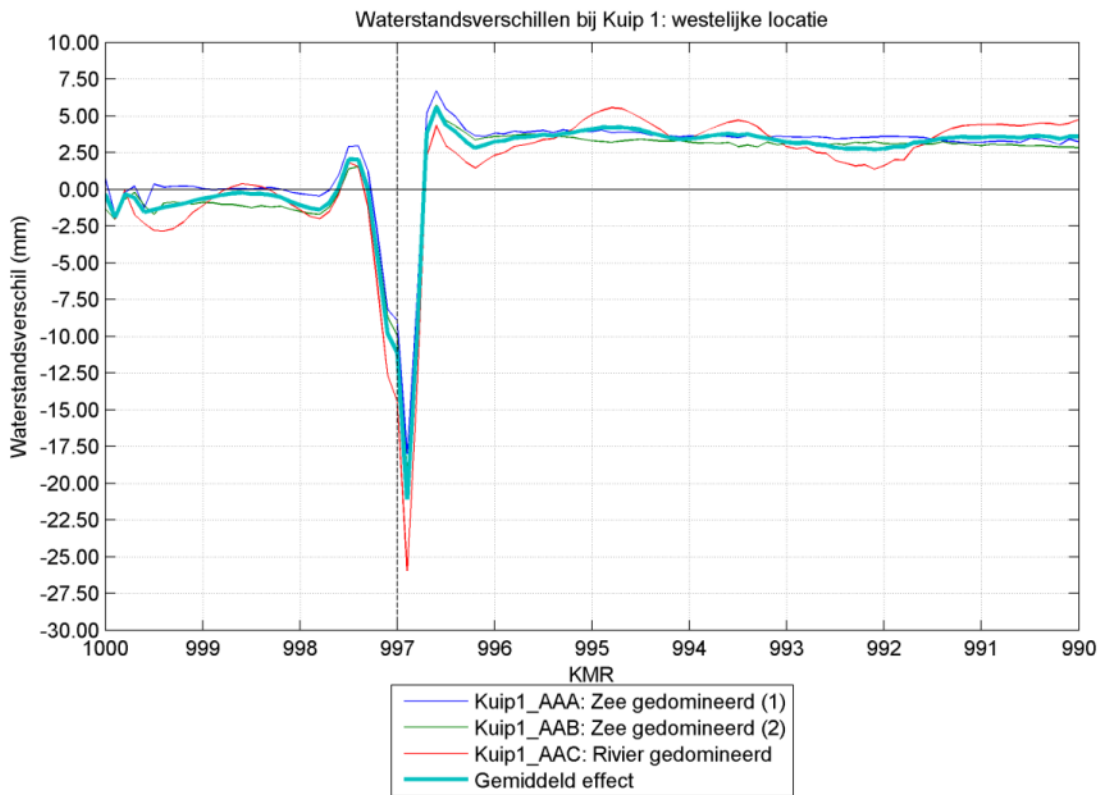
Figuur 14: Overgangsgebied Rijn-Maasmonding

A4.1 Beschouwing van afvoereffecten onder niet maatgevende condities

De combinatie van maatregelen 'AAC' is rivierafvoer-dominant, met hoge rivierafvoeren en relatief lage zeewaterstanden. Ook maatregelcombinaties AAA en AAB resulteren op het moment van laagwater op zee in een rivierafvoer-dominante situatie. Er is gekeken naar het tijdstip waarop de afvoer op de plaats van de maatregel maximaal is. Resultaten zijn te zien in Figuur 15 en Figuur 16. Let wel, dit zijn dus niet de tijdstippen van de maatgevende condities. Deze resultaten zijn dan ook niet maatgevend en worden niet gebruikt om de maatgevende effecten te bepalen.



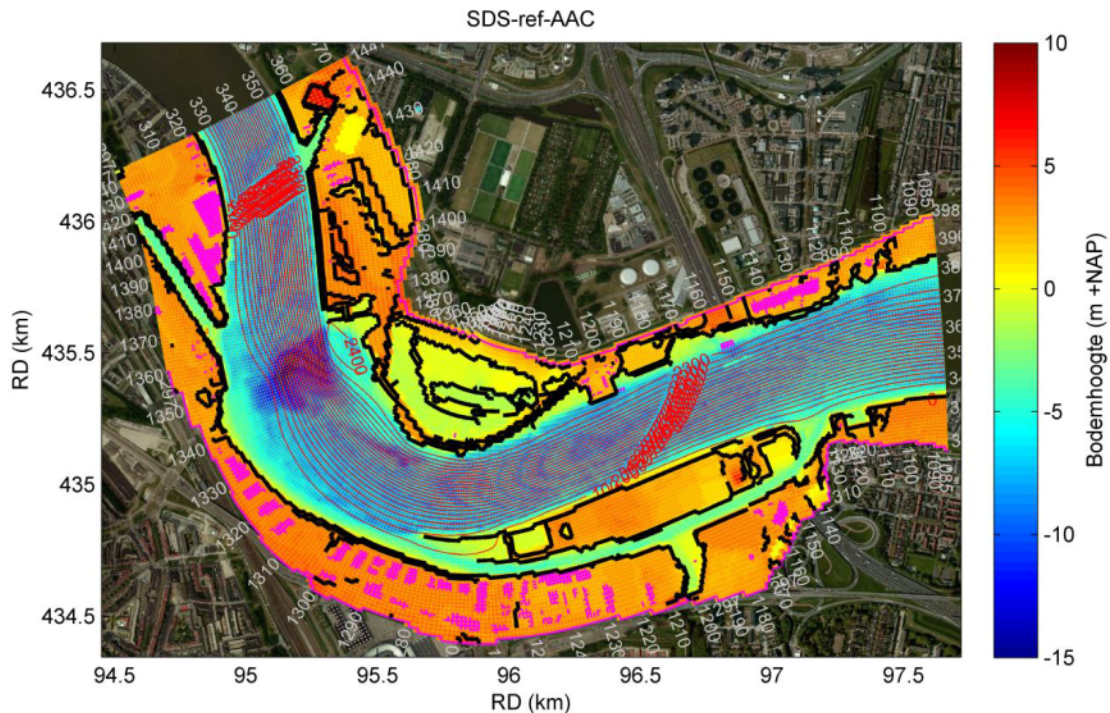
Figuur 15: Absolute waterstanden op het tijdstip van maximale afvoer van de referentie, op de locatie van het park.



Figuur 16: Waterstandsverschillen op het tijdstip van maximale afvoer van de referentie, op de locatie van het park. Let wel: deze waarden zijn niet maatgevend!

Figuur 15 en Figuur 16 tonen aan dat bovenstrooms van het stadion (rechts op de figuren) het stadion zorgt voor opstuwing in de Nieuwe Maas. De vernauwing op KMR 997 zorgt voor een plaatselijke stroomversnelling, waarbij de waterstand daalt. Benedenstrooms vlakken de effecten vrij snel weer uit. Figuur 15 toont dat tussen KMR 996 en KMR 997 het verhang zeer flauw is, zowel voor de referenties als de varianten. Dit wordt veroorzaakt door de verbreding van de Nieuwe Maas in dit gedeelte. Figuur 17 toont de stroomlijnen. Deze figuur laat zien dat de afvoer in deze bocht hier minder geconcentreerd is. Benedenstrooms van KMR 997 is te zien dat de waterstand plaatselijk iets oploopt. Opstuwing in de buitenbocht is waarschijnlijk de oorzaak van dit effect.

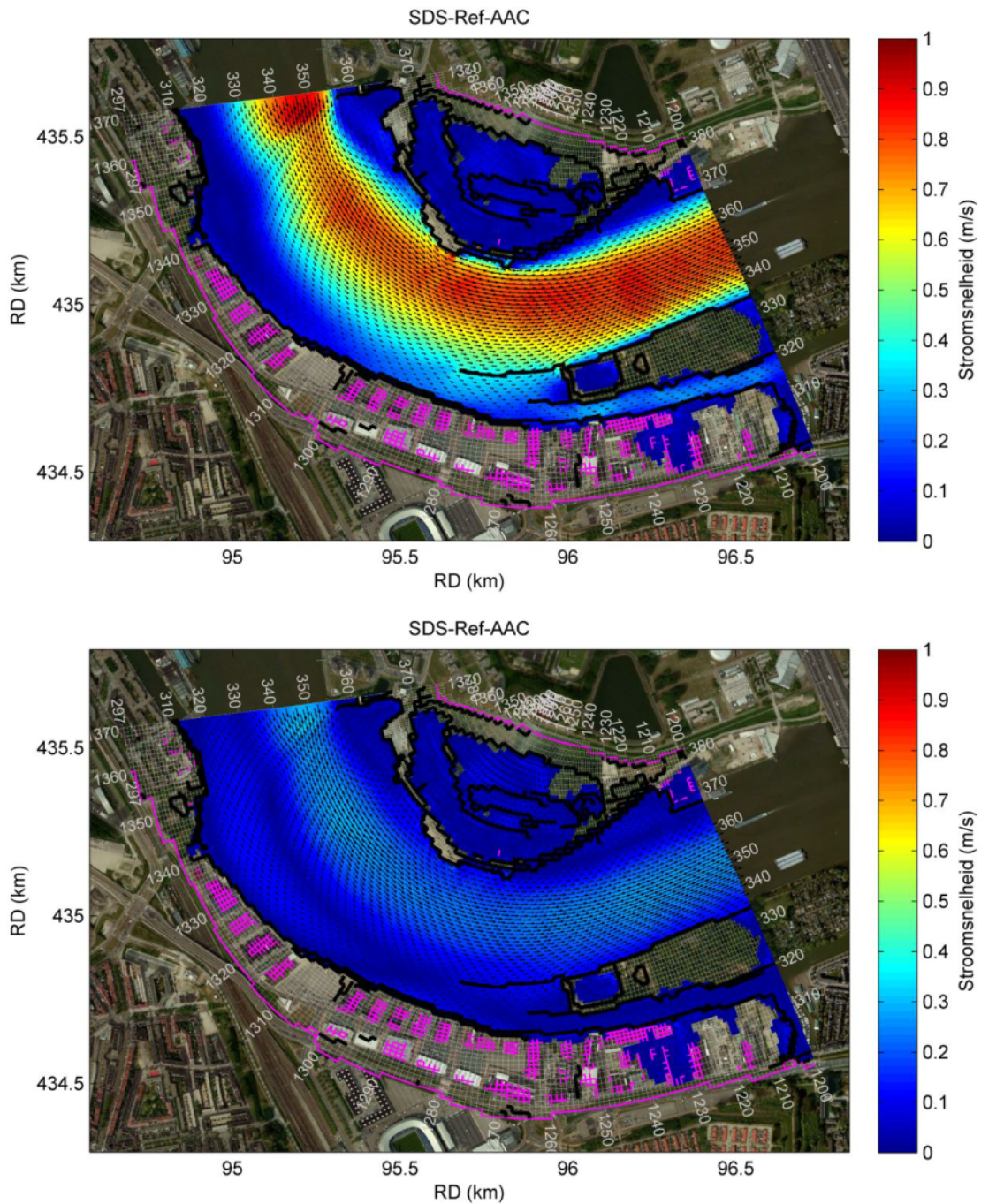
Deze observaties verklaren het geringe effect van de maatregelen op opstuwing in de Nieuwe Maas veroorzaakt door rivierafvoer.



Figuur 17: stroomlijnen nabij de projectlocatie voor randvoorwaardencombinatie AAC, referentiesituatie.

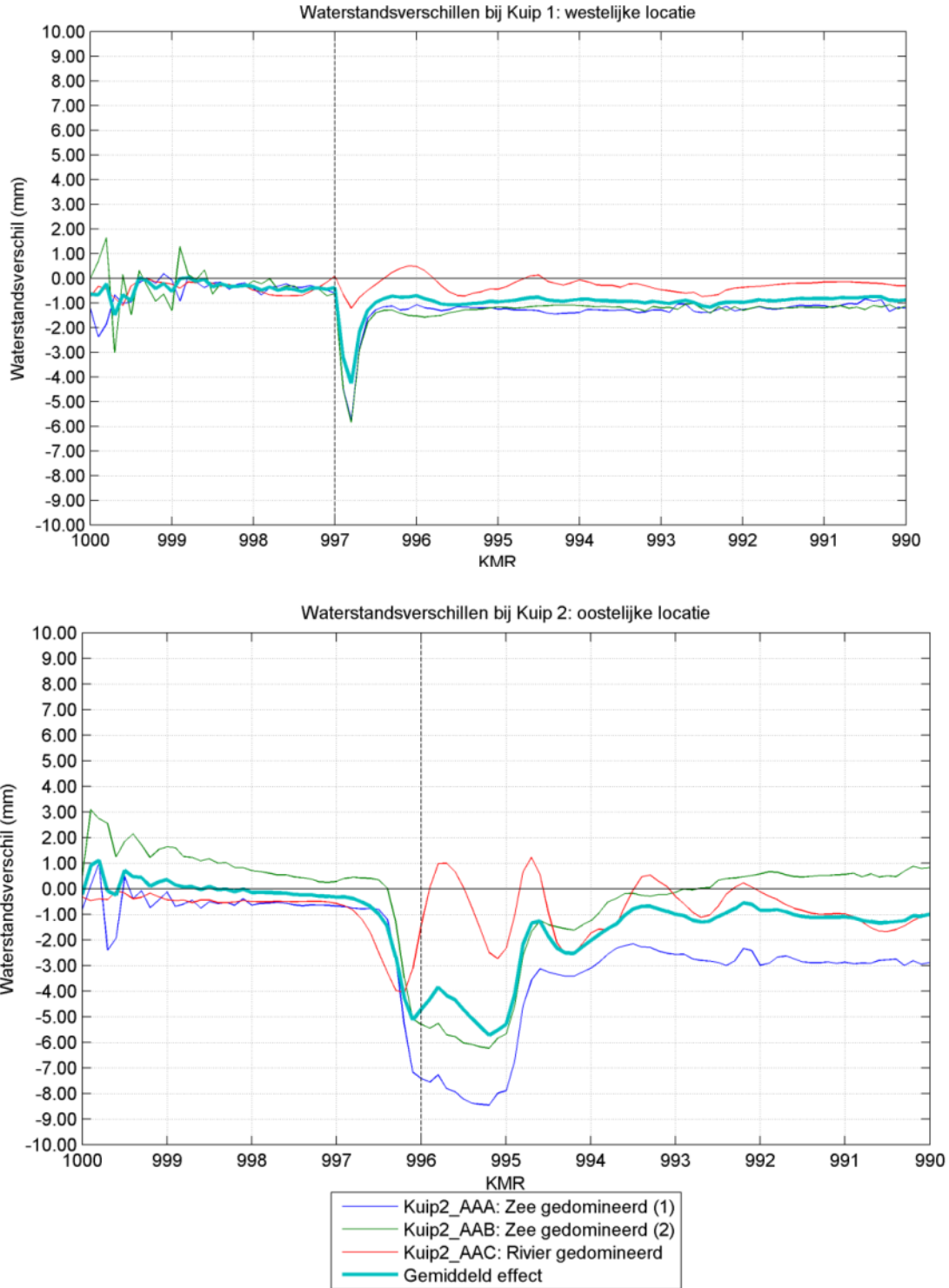
A4.2 Beschouwing van zee-effecten onder maatgevende condities

Figuur 20 toont absolute waterstanden op het tijdstip van maximale waterstanden op de projectlocatie. Dit zijn de maatgevende condities en deze waterstanden zijn dan ook besproken in Paragraaf 3.1. Deze maximale waterstanden worden voor alle drie de afvoercombinaties vooral bepaald door de zeewaterstand. Op het moment dat de hoogwaterpiek van het getij de projectlocatie bereikt, volgt iets daarna (ongeveer een uur later) de getijkentering. Hierbij neemt de stroomsnelheid af, waarna de stroomrichting omkeert en het water naar buiten begint te stromen. Zie ook Figuur 18.

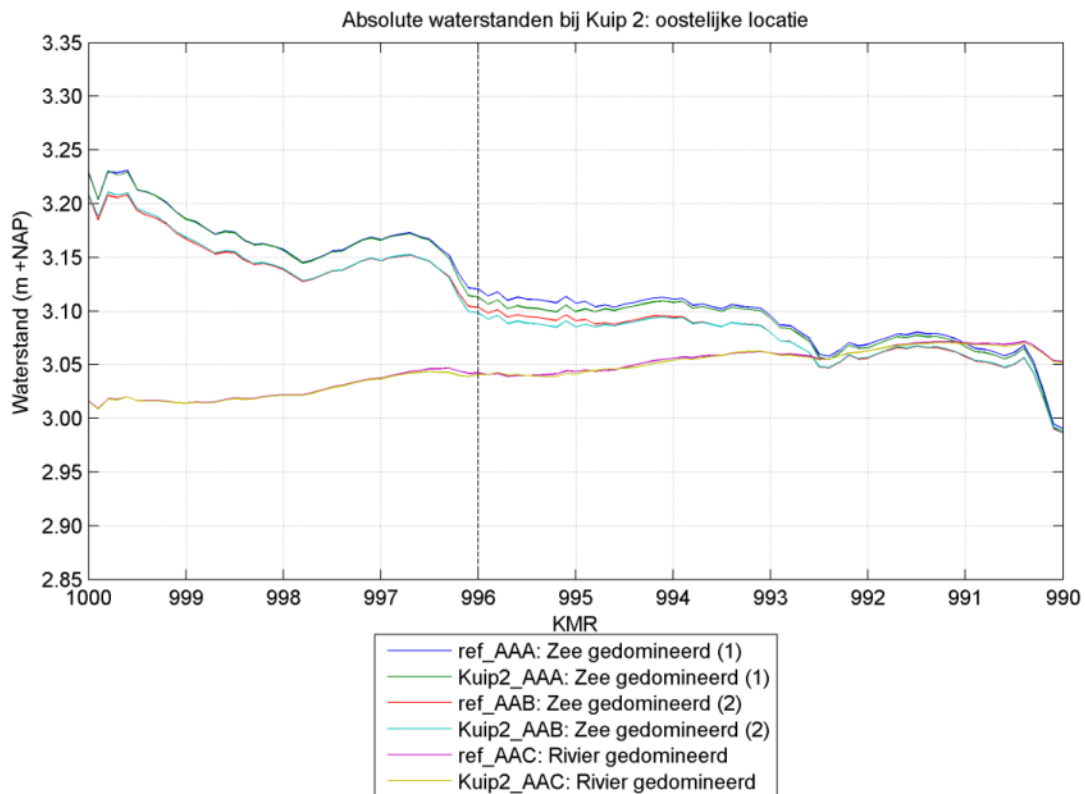
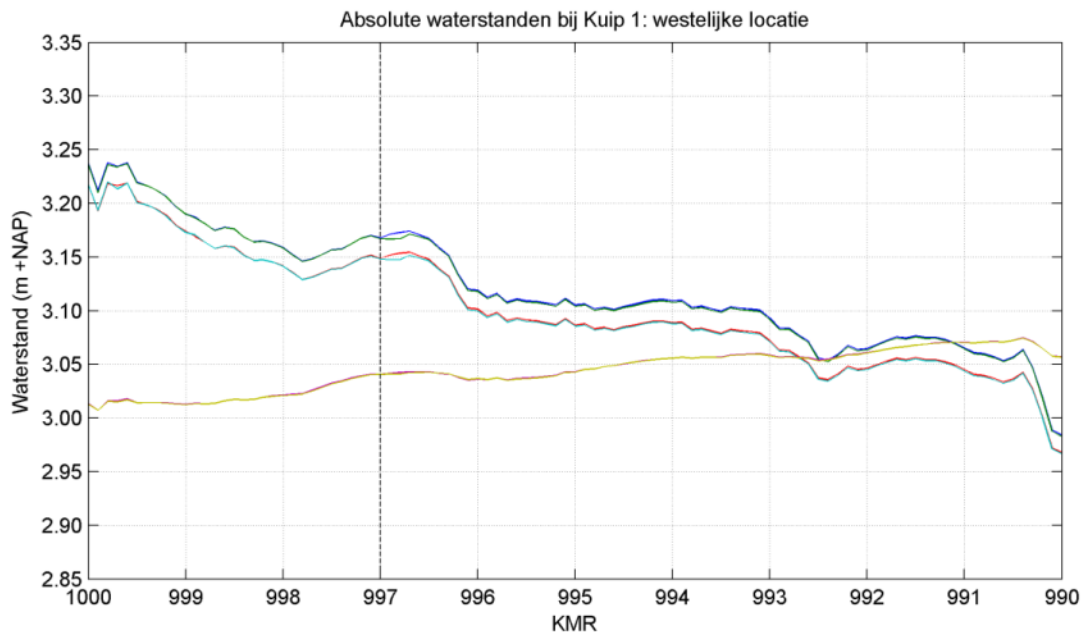


Figuur 18: Stroomsnelheden voor de referentie voor randvoorwaardencombinatie AAC ten tijde van hoogwater (boven) en een uur later tijdens kentering (onder).

Omdat de drijvende kracht van het water dat naar binnenstroomt een verhoogde waterstand op zee is, en geen rivierafvoer, vindt er bijna geen opstuwingsplaats ten wens van de projectlocaties, zoals te zien is in Figuur 19. De vernauwing als gevolg van de stadions zorgt voor een plaatselijke verhoging van de stroomsnelheid ten opzichte van de referentie, waardoor de waterstand daar iets zakt. Omdat het water bij de hoogwaterpiek bijna stilstaat voordat het weer terug stroomt, vindt er op dit tijdstip bijna geen opstuwingsplaats als gevolg van de rivierafvoer. Deze minimale opstuwingsplaats is terug te vinden in het waterstandsverschil van randvoorwaardencombinatie AAC in Figuur 19.



Figuur 19: Waterstandsverschillen. De resultaten zijn alleen geldig rondom kilometerraai 996, de locatie waarvoor de conditionele illustratiepunten zijn afgeleid. Deze figuur is gelijk aan **Error! Reference source not found.**



Figuur 20: absolute waterstanden op het tijdstip dat de maximale waterstand op de projectlocaties bereikt is.