

Aan: Opdrachtgevers MIRT0verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam

Van: Wergroep nautiek

CC: Deelproject Oeververbinding & OV

Betreft: Uitkomsten nautisch onderzoek zeef 2 MIRT-Verkenning oeververbindingen Rotterdam (definitief v1.0)

Datum: 19 oktober 2022

1. Inleiding

In de MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam worden verschillende locaties voor een oeververbinding tussen Feijenoord en Kralingen onderzocht met als doel om tot een locatie te komen die het beste bijdraagt aan de doelen van de MIRT-verkenning.

De resultaten van de nautische studie in de eerste onderzoeksfase ('zeef 1') zijn opgenomen in het Eindrapport nautiek zeef 1.¹ Deze rapportage en de resultaten van andere uitgevoerde onderzoeken zijn gebruikt om drie locaties voor een brug en twee locaties voor een tunnel aan te wijzen en deze nader te onderzoeken in 'zeef 2'. Deze locaties zijn vastgelegd in de Notitie Kansrijke Oplossingsrichtingen (NKO)² die op 24 juni 2021 bestuurlijk is vastgesteld. Na afronding van zeef 2 zal een voorkeursalternatief worden gekozen.

Vanwege de invloed van een brug op het scheepvaartverkeer is het van belang dit 'nautisch effect' in beeld te brengen. De Nieuwe Maas is samen met de Oude Maas immers dé vaarwegcorridor tussen de Rotterdamse haven en het achterland. Met het nautisch onderzoek moet worden aangetoond dat een vlotte en veilige passage van het scheepvaartverkeer mogelijk is en er geen functieverlies van de vaarweg optreedt.

Aangezien een tunnel, mits voldoende diep aangelegd, geen effecten heeft op de scheepvaart, heeft het nautisch onderzoek van zeef 2 zich uitsluitend gericht op de brugvarianten. Vanuit het vaarwegbeleid³ heeft een tunnel de voorkeur boven een brug, tenzij er goede argumenten zijn om hiervan af te wijken.

2. Conclusie

In het kader van de MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam is nautisch onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van een brugverbinding binnen het zoekgebied van de Nieuwe Maas. Er zijn drie locatievarianten onderzocht. Figuur 1. Voor alle drie locaties is voor het vaste brugdeel een doorvaarthoogte van NAP +15,56 meter beschouwd en voor brug Bocht A en brug Bocht B ook een doorvaarthoogte van NAP +21,36 meter).

Bij geen van de vijf onderzochte brugvarianten zijn zowel het vaste als het beweegbare brugdeel met een vlotte doorvaart nautisch veilig te passeren door de maatgevende schepen onder maatgevende condities¹.

Beweegbaar brugdeel

Vooralsnog lijken brug West en brug Bocht A met een vast brugdeel dat is gedimensioneerd op minimaal 5-laags containervaart en een beweegbaar brugdeel dat met een doorvaartbreedte in de orde van 80 meter de minst ongunstige effecten op de scheepvaart te hebben. Wel zijn aanvullende maatregelen nodig als verdergaande oeveraanpassingen en/of restricties.

Vast brugdeel

De onderzochte ontmoetingen van drie maatgevende binnenvaartschepen onder het vaste brugdeel bij de maatgevende condities^a zijn bij geen van de locatievarianten veilig bevonden. Het is niet bekend en niet onderzocht of de ontmoeting van deze drie schepen in de huidige situatie van de bocht rond polder De Esch wel vlot en veilig is, onder de maatgevende condities (wind en stroming).

Bij bruglocaties Bocht A en West is sprake van versmalling van het vaarwater ten door de aanleg van de langsdam en getijdenpark bij Feyenoord City, omdat de middelste brugpijler binnen het huidige vaarwater wordt geplaatst. Vanwege deze versmalling betekent de bouw van een brug op deze locaties in principe een afname van het veiligheidsniveau van de scheepvaart door de hoofdvaargeul.

Voor de scheepvaart door de vaste brugdelen is door de schippers aangegeven dat er sprake is van een afname van de veiligheid ten opzichte van de huidige situatie. Doordat de huidige situatie niet met dezelfde maatgevende scheepsontmoetingen en stroming- en windcondities is onderzocht ontbreekt de numerieke onderbouwing van deze beoordeling. Voor het vaste brugdeel van Bocht A wordt door MARIN aanbevolen om de doorvaartbreedte te vergroten om afname van het veiligheidsniveau te voorkomen. Dit houdt in een grotere brugoverspanning en een fors grotere oeveraanpassing van polder De Esch dan in het onderzoek is aangenomen.

Er kan op basis van het uitgevoerde onderzoek niet worden geconcludeerd dat een brug op één van de locaties haalbaar te maken is door bepaalde maatregelen te treffen, omdat het bepalen van de effectiviteit van maatregelen niet binnen de scope van het onderzoek viel. Op basis van het uitgevoerde onderzoek is het dan ook niet mogelijk om één van de onderzochte brugvarianten bestuurlijk vast te stellen als voorkeursvariant. Als de keuze voor een brug mogelijk moet blijven, dan is nader onderzoek nodig om te bepalen of, en op welke wijze een brugvariant mogelijk gemaakt kan worden.

Maatregelen in de zin van restricties voor de scheepvaart hebben negatieve gevolgen voor de vlotheid van de doorvaart en mogelijk ook voor de functionaliteit van de vaarweg. Ook op eventuele alternatieve routes kan, door een herverdeling van het

¹ Zie begrippenlijst (bijlage 1) voor een toelichting op de maatgevende condities

scheepvaartverkeer, effecten worden verwacht op zowel het scheepvaart als het landzijdige verkeer. Dit effect is uiteindelijk te vertalen in economische gevolgen. Maatregelen in de zin van ruimtelijke aanpassingen aan de oevers hebben (grote) gevolgen voor de omgeving.

Onderdeel van de besluitvorming over de oeververbinding zal moeten zijn - indien een brugvariant als optie open moet blijven - in hoeverre maatregelen (zowel ruimtelijke maatregelen als restricties voor de scheepvaart) acceptabel zijn voor de respectievelijke bevoegde gezagen. Ook zal hierbij de veiligheid van het totale verkeersbeeld op de vaarweg in beeld moeten worden gebracht.

3. Onderzochte brugvarianten

De onderzochte locatievarianten West, Bocht A en Bocht B zijn weergegeven in Figuur 1. Voor alle drie locaties is voor het vaste brugdeel een doorvaarthoogte van NAP +15,56 meter beschouwd. Dat staat gelijk aan een hoogte voor 4-laags high cube containerbinnenvaart, inclusief 1,2m overhoogte voor het stuurhuis van het schip bij maatgevend hoogwater voor de scheepvaart (MHWS) ².

De doorvaarthoogte voor 4-laags high cube voldoet aan de regelgeving en het vigerend beleid en de overhoogte is een advies van MARIN in lijn met het advies van commissie 'd Hooghe voor het IJ in Amsterdam. De 5- en 6-laags containerbinnenvaart en andere hoge schepen moeten de brug dan via het beweegbare brugdeel passeren. Aan de hand van regelgeving en richtlijnen is in zeef 1 per locatie de benodigde doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel berekend. Op basis van deze inzichten is het onontkoombaar dat, om een brug met deze hoogte van het vaste brugdeel in combinatie met de bijbehorende breedte van het beweegbare brugdeel ruimtelijk te kunnen inpassen, de rivier bij brug Bocht A en brug Bocht B verbreed moet worden door een oeveraanpassing bij polder De Esch.

Om te onderzoeken of deze oeververlegging beperkt kan worden, zijn voor brug Bocht A en brug Bocht B in de NKO ook hoge varianten aangegeven (doorvaarthoogte vaste deel op NAP +21,36 meter). Omdat de 5- en 6-laags containerbinnenvaart in dat geval onder het vaste brugdeel door kan varen, zou het beweegbare brugdeel naar verwachting smaller kunnen worden uitgevoerd. Ook betekent een hoge brug dat het beweegbaar brugdeel minder vaak hoeft te openen.

Voor de locaties Bocht A en Bocht B zijn daarom twee varianten onderzocht: laag/breed en hoog/smal. Omdat er bij brug West op basis de studie uit zeef 1 een lage/brede variant mogelijk is zonder oeveraanpassing van polder De Esch (en met een beperkte oeveraanpassing van woonwijk De Esch), is daarvoor alleen de lage/brede variant onderzocht.

In totaal zijn vijf verschillende brugvarianten onderzocht, zie Tabel 1

² In de rapportages van het nautisch onderzoek worden met containers altijd high-cube containers bedoeld en wordt altijd gerekend met een overhoogte voor het stuurhuis.

Voor het vaste brugdeel is bij alle varianten uitgegaan van een boogbrug met een doorvaartbreedte van 260 meter (gemeten loodrecht op de vaarbaan). Dit omdat een boogbrug het minste ruimtebeslag heeft voor de inpassing van de pijlers in het lengteprofiel van de brug.

Het beweegbaar brugdeel is bij alle varianten aan de noordzijde van het vaste brugdeel gepositioneerd omdat dit in zeef 1 als nautisch gunstiger is geanalyseerd. Voor de typologie het beweegbare brugdeel, is uitgegaan van de technische mogelijkheden, waarbij de voorkeur uitgaat naar een basculebrug boven een hefbrug vanwege de kortere bewegingstijd, het afwezig zijn van een hoogtebeperking voor de scheepvaart, en de lagere technische complexiteit en een eenvoudiger ruimtelijke inpassing. Een enkele basculebrug op deze locatie is mogelijk tot een doorvaartbreedte van circa 60 meter, een dubbele basculebrug tot circa 80 meter en een hefbrug tot circa 115 meter. In het onderzoek is het beweegbare deel van de lage/brede varianten als hefbrug uitgevoerd en van de hoge/smalle varianten als basculebrug.

Tijdens de uitvoering van de nautische studie is de doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel per brugvariant berekend. Op basis van de onderzoeksresultaten van de fast-time simulaties zijn deze doorvaartbreedtes aangepast. Deze doorvaartbreedtes van het beweegbare brugdeel, toegepast bij de real-time simulaties, zijn vermeld in Tabel 1. Doorvaartbreedtes zijn gemeten loodrecht op de as van de vaargeul en zijn bij een scheve oriëntatie van de brugas ten opzichte van de vaargeul niet gelijk aan de lengte van het brugdeel gemeten langs de brugas.

In Tabel 1 zijn ook de (ruimtelijk grootste) afstanden vermeld waarover bestaande oever moet worden verlegd voor de inpassing van de gehele brug. Afhankelijk van de plaats langs de oever varieert de oeververlegging van nul meter tot de (ruimtelijk grootste) afstand die in de tabel is vermeld.

Tabel 1 Brugvarianten met doorvaartbreedtes beweegbaar deel en oeververleggingen

Brugvariant	Beweegbaar brugdeel			oeververlegging real-time simulaties
	doorvaartbreedte Zeef 1 en fast- time simulaties	doorvaartbreedte real-time simulaties)	Type brug real-time simulaties	
West laag/breed	114 m	77 m	hefbrug ¹⁾	20 m ²⁾ 0,1 ha
Bocht A laag/breed	88,5 m	95,5 m	hefbrug	118 m 4,7 ha
Bocht A hoog/smalle	58 à 59 m	63,1 m	dubbele bascule	85 m 2,8 ha
Bocht B laag/breed	100 m	84,4 m	hefbrug	145 m 6,2 ha
Bocht B hoog/smalle	58 à 59 m	59 m	enkele bascule	115 m 4,9 ha

- 1) Qua overspanning is een dubbele bascule mogelijk, maar het type brug is niet aangepast ten opzichte van Zeef 1 en de fast-time simulaties,
- 2) Dit betreft als enige een oeververlegging bij de zuidwestelijk hoek van woonwijk De Esch en niet bij polder De Esch.



Figuur 1 Nautisch onderzochte locatievarianten voor een brug in zeef 2 (gearceerde deel is het zoekgebied voor de oeververbinding).

4. Problematiek brugoplossing

Het nautisch inpassen van een brug in het zoekgebied is bij voorbaat een ingewikkelde opgave:

- De vaarroute betreft een zeehavengebied. Conform de beleidsbrief³ is het plaatsen van een nieuwe brug in zeehavengebied onwenselijkheid, vanwege het nadelige effect van de kruisende modaliteiten, Het is een drukke vaarweg.
- Er varen incidenteel grote zeeschepen varen en er grote transporten plaatsvinden tussen de stroomopwaarts gelegen werven en de haven en de zee.
- Een beweegbare brug in een rivierbocht is vanuit nautisch oogpunt ongewenst volgens de Richtlijnen Vaarwegen, die kaderstellend zijn voor het ontwerp en inrichting van vaarwegen om een vlotte en veilige scheepvaart mogelijk te maken.⁴
- Er is sprake van een scherpe rivierbocht rond polder De Esch, waarbij de bochtstraal niet aan de Richtlijnen Vaarwegen voldoet.

- De brug ligt nabij de Van Brienoordbrug, en de Willemsbrug/Koninginnebrug. Dit leidt tot extra kruisende scheepsbewegingen op de rivier
- Voor de binnenvaart is er een alternatieve vaarroute via de Oude Maas, deze wordt in de huidige situatie al druk bevaren. Voor zeeschepen en bijzondere transporten met grote diepgang met de bestemming oostelijk deel van de Nieuwe Maas en de Noord is er geen alternatieve vaarroute.

5. Doel nautisch onderzoek

Het nautisch onderzoek zeef 2 had tot doel om aan de hand van simulaties te beoordelen of dit gedeelte van de vaarweg nautisch vlot en veilig te passeren is bij elk van de vijf brugvarianten en welke doorvaartbreedte van het beweegbare en vaste brugdeel per variant daarbij nodig is.

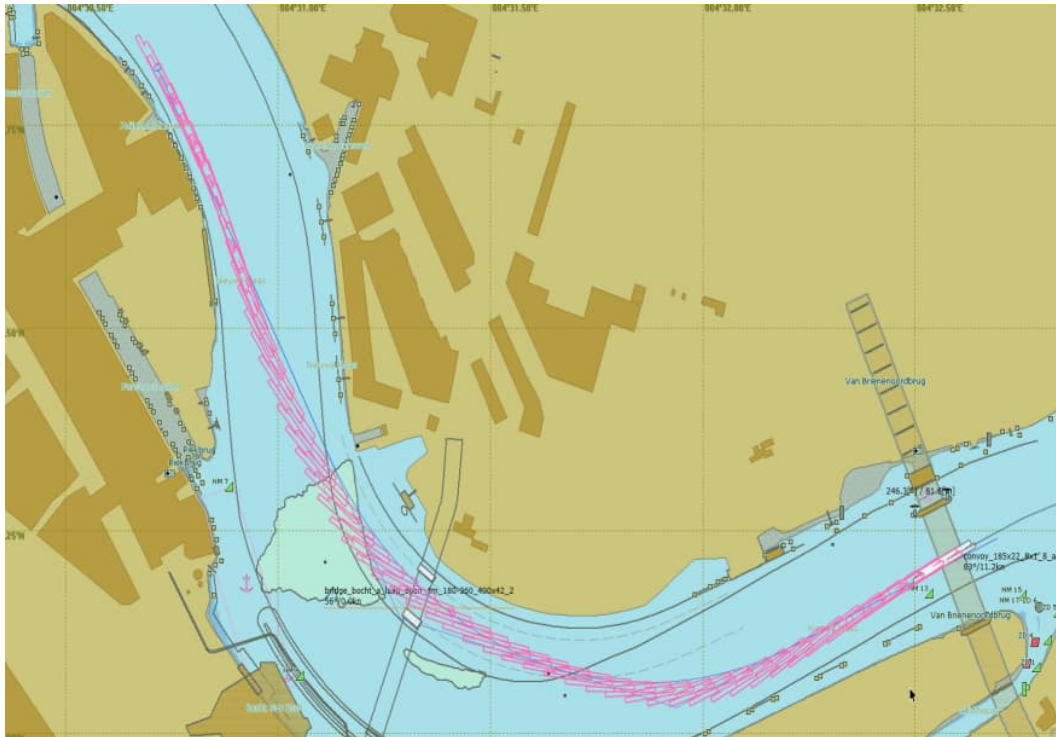
6. Proces

Het onderzoek is in een aantal fasen van grof naar fijn uitgevoerd, waarbij de uitgangspunten voor de brug steeds worden getoetst en worden aangescherpt op basis van de tussentijdse uitkomsten.

1. Vaststellen maatgevende schepen voor deze vaarweg voor de passage van het beweegbare brugdeel van de lage/brede en de hoge/smalle varianten en voor het vaste brugdeel.
2. Theoretische berekening van de doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel voor de vijf varianten op basis van regelgeving en richtlijnen.
3. Deze berekende doorvaartbreedtes verwerken in inpassingstekeningen van de brugvarianten.
4. Uitvoeren van onderzoek naar de maatgevende combinaties van stroming en wind op basis van een hiervoor gangbare overschrijdingskans van 2%. Deze gegevens zijn invoer voor de nautische simulaties.
5. Uitvoeren fast-time simulatieonderzoek, waarbij een computermodel met gevalideerde scheepsmodellen en met de ingevoerde wind- en stromingsgegevens de schepen bestuurt, zodanig dat voorgeprogrammeerde vaarbanen door het schip met de beschikbare manoeuvreereigenschappen zo goed mogelijk worden gevolgd. De combinatie van wind, stroming en het varen in een bocht zorgt ervoor dat de padbreedte van het schip groter is dan de breedte van het schip zelf (Figuur 2) in afwijking van de eerder berekende waarden. Hieruit volgden aangepaste doorvaartbreedtes van het beweegbare brugdeel.
6. Aanpassing inpassingstekeningen van de brugvarianten en (voor twee varianten met aanzienlijke wijzigingen) uitvoeren van nieuwe stromingsberekeningen.
7. Uitvoeren real-time simulatieonderzoek. Bij dit onderzoek zijn de vaarweg, de bruggen, en de omgeving visueel 3D gemodelleerd. De gevalideerde scheepsmodellen worden nu niet door een computermodel bestuurd, maar door schippers en loodsen die door de genoemde 3D visualisatie 'varen' (Figuur 3). Bij deze vaarten worden zowel de numeriek vastgelegde gegevens van de passage r als

de ervaringen van de schippers en loodsen meegenomen in de beoordeling van de veiligheid van de passage.

8. De real-time simulaties beschrijven de werkelijkheid op de meest realistische wijze waardoor vooral deze resultaten zijn gebruikt bij de analyse en conclusies zoals in deze notitie opgenomen.



Figuur 2 Voorbeeld van een fast-time simulatie door brug Bocht A laag/breed (dubbel koppelverband geladen met 5 lagen containers in de opvaart).



Figuur 3 Impressie van een real-time simulatie waarbij de loods op de nagebouwde brug met navigatie-apparatuur van een container feeder het schip bedient en virtueel over de Nieuwe Maas naar een van de brugvarianten vaart.

De stromingsberekeningen zijn uitgevoerd door Svašek Hydraulics⁵ en de windberekeningen door Royal HaskoningDHV⁶. Het nautisch simulatieonderzoek inclusief de voorbereidende werkzaamheden (vaststellen van de eigenschappen van de maatgevende schepen, theoretische berekening doorvaartbreedtes) is uitgevoerd door MARIN.⁷

Los van het simulatieonderzoek zijn in zeef 2 nog twee onderzoeken uitgevoerd:

- Een onderzoek naar de toekomstige ontwikkeling van de 5- en 6-laags containervaart, met als doel inzicht te krijgen in de ontwikkeling van het aantal en type schepen geladen met 5 en 6 lagen high-cube containers dat deze vaarweg passeert. Deze informatie kan bijdragen aan besluitvorming over de hoogte van het vaste brugdeel:
 - o een hoger vast brugdeel kan leiden tot een kleinere doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel en daarmee tot minder oeveraanpassing van De Esch;
 - o het geeft inzicht in het aantal brugopeningen dat kan worden vermeden door de hoogte van het vaste brugdeel te dimensioneren op 5 dan wel 6 lagen containers (effect op de doorstroming van zowel het scheepvaartverkeer als het landzijdig verkeer).

Dit onderzoek is uitgevoerd door Panteia.⁸

- Een data-analyse van het huidige aantal brugopeningen van de Erasmusbrug en de Koninginnebrug over de periode 2015-2020 en van de hoogte van het huidige

scheepvaartverkeer over de periode 2021-maart 2022, met als doel inzicht te krijgen in het aantal brugopeningen dat nodig is bij verschillende hoogtes van het vaste brugdeel. Dit onderzoek is uitgevoerd door de gemeente Rotterdam.⁹

- Een analyse van de tijdsduur van stremming van het landzijdig verkeer per brugopening, gerelateerd aan het brugtype. Hiervan is af te leiden wat de stremmingseffecten op het landzijdig verkeer zijn per bruglocatie en -hoogte.

De expertgroep Nautiek, met (ervarings)deskundigen op nautisch gebied die geen onderdeel uitmaken van de MIRT-organisatie, is gedurende zeef 2 viermaal bijeen gekomen. De expertgroep is tijdens deze bijeenkomsten geconsulteerd over de aanpak van de zeef 2-onderzoeken en de uitgangspunten en zij hebben kennis kunnen nemen van de tussentijdse resultaten. De reactie van de expertgroep op de eindresultaten zal worden opgehaald na vrijgifte van de nautische rapportages en hierom een plek krijgen in het participatierapport.

7. Uitgangspunten

Bij aanvang van het onderzoek zijn per brugvariant de volgende uitgangspunten door de werkgroep nautiek vastgesteld:¹⁰

- doorvaartbreedte van het vaste en beweegbare deel en positie in de vaarweg;
- locatie beweegbaar brugdeel aan de noordzijde van de rivier;
- locatie, afmetingen, oriëntatie en vorm van brugpijlers en eventuele basculekelder(s);
- benodigde oeveraanpassingen;
- maatgevende wind- en stromingscondities;¹¹
- brugtype van het beweegbare deel (dit is gerelateerd aan de lengte van de overspanning);
- bewegingstijd beweegbare brugdeel.¹²

Deze uitgangspunten vormden het startpunt voor het iteratieve onderzoeks- en ontwerpproces (zie hoofdstuk 6).

Uit nautisch oogpunt zijn de breedte van de brug (gemeten over het brugdek) en de wijze van aanlanding op de oevers minder relevant. Deze uitgangspunten zijn bepaald door de werkgroep Oeververbinding & OV en in het nautische simulatiemodel overgenomen.

De maatgevende schepen zijn door de werkgroep nautiek en MARIN gedefinieerd (Tabel 2). De gekozen schepen vertegenwoordigen de grootste schepen die - gegeven de vaarwegklasse in de Richtlijnen Vaarwegen, het Binnenvaart Politie Reglement en overeenkomstig het werkelijk gebruik - over de Nieuwe Maas varen. Bij de beoordeling van het beweegbaar brugdeel gaat het om de passage van één van de maatgevende schepen: binnenvaartschip, zelfstandig varende zeeschip en/of sleepbootgeassisteerd bijzonder transport. Bij het vaste brugdeel is de gelijktijdige passage ('ontmoeting') van

vier (fast-time simulaties) en drie (real-time simulaties) schepen³ uit twee richtingen gesimuleerd.

Tabel 2 *Maatgevende schepen per brugdeel*

	breed beweegbaar brugdeel bij lage varianten	smal beweegbaar brugdeel bij hoge varianten	vast brugdeel (lage en hoge varianten)
binnenvaart-schip	dubbel koppverband met 5 lagen containers op motorschip klasse Va en 4 lagen containers op 3 bakken (185 x 22,8 m)	Rijnmax schip met 6 lagen containers (135 x 17,0 m)	dubbel koppverband met 4 lagen containers op motorschip klasse Va en op 3 bakken (185 x 22,8 m), vierbaks duweenheid (185 x 22,8 m), CEMT-klasse Va motorschip met 4 lagen containers (110 x 11,4 m), Rijnmax schip met 4 lagen containers (135 x 17,0 m)
zeeschip	container feeder (149 x 22,6 m) met stromingsrestrictie	<i>niet maatgevend voor real-time simulaties</i> voor verkennende fast-time simulaties: container feeder (149 x 22,6 m) met sleepbootassistentie en met stromings- en windrestricties	<i>niet van toepassing</i>
bijzonder transport	casco (200 x 48 m) met sleepbootassistentie en stromingsrestrictie (alleen West) <i>niet maatgevend voor Bocht A en Bocht B</i>	casco (200 x 48 m) met sleepbootassistentie en stromingsrestrictie	<i>niet van toepassing</i>

De nautische simulaties hebben tot doel om vast te stellen of een vlot en veilige passage mogelijk is voor de vastgestelde doorvaartbreedtes bij maatgevende omstandigheden. Bij de simulaties is uitgegaan van een vlotte, ongehinderde doorvaart van de scheepvaart met een gekozen vlotte vaarsnelheid.

³ Na afloop van de fast-time simulaties besloot de werkgroep nautiek dat de combinatie van vier grote binnenvaartschepen en kritische condities (wind, stroming) té extreem was gekozen. Daarop is het aantal schepen dat elkaar ontmoet onder het vaste brugdeel voor de real-time simulaties aangepast naar drie. De condities werden niet gewijzigd.

8. Uitkomsten van het onderzoek

Conclusies beweegbaar brugdeel bij bruggen 4-laags containervaart

Het dubbel koppelverband kan het beweegbare brugdeel van alle drie de lage/brede varianten niet veilig passeren zonder grootschalige rivieraanpassingen of restricties aan de doorvaart van maatgevende schepen. Vooral nog is dat deze twee maatregelen niet realistisch of wenselijk zijn (zie hoofdstuk 10). Dit betekent dat in dat geval de lage/brede brugvarianten niet haalbaar zijn.

Dit heeft tot gevolg dat de hoogte van het vaste brugdeel voldoende moet zijn dat het dubbel koppelverband met 5 lagen containers hier onderdoor kan varen. Dit geldt voor alle drie de bruglocaties. (Voor locatie West maakte een hoge/smalle variant geen deel uit van het nautisch onderzoek.)

Bij locatievariant West is daarnaast sprake van een te scherpe bocht rond de kop van polder De Esch die schepen moeten maken om het beweegbare brugdeel te kunnen passeren. Ook bemoeilijkt een hinderlijke stromingsgradiënt het passeren van het beweegbare brugdeel. De ruimte om koerscorrecties uit te voeren is bij deze variant niet alleen voor het dubbel koppelverband, maar ook voor het maatgevende zeeschip te beperkt. Dit betekent dat er voor zeeschepen vaker sleepbootassistentie ingeschakeld zal moeten worden of dat er nog andere restricties zullen gelden. Voor bijzondere transporten is het bij brug West moeilijk om een balans te vinden in de effecten van stroming en wind. Het vergroten van de bochtstraal door een oeveraanpassing van polder De Esch zal de passage van zeeschepen en bijzondere transporten door het beweegbaar brugdeel van brug West waarschijnlijk verbeteren, waardoor genoemde restricties niet of minder vaak nodig zijn. Of vergroting van de bochtstraal ook noodzakelijk is voor veilige passage van het Rijnmax binnenvaartschip, is niet onderzocht.

Bovenstaande betekent dat het bij geen van de lage brugvarianten mogelijk is een brug in te passen zonder oeveraanpassing van polder De Esch.

Conclusies beweegbaar brugdeel bij hoge bruggen

Het beweegbare brugdeel van de hoge/smalle varianten van bruggen Bocht A en Bocht B is te smal voor alle maatgevende schepen (Rijnmax, binnenvaart, zeevaart en bijzondere transporten). De benodigde doorvaartbreedte is niet rechtstreeks uit het onderzoek af te leiden, maar zal naar verwachting substantieel toenemen.

Bij locatievariant Bocht A geven de schippers aan dat een (verder vergroot) beweegbaar brugdeel op deze locatie eerder haalbaar wordt geacht dan op locatie Bocht B. Het driften is hier minder en de ruimte voor koerscorrecties door het Rijnmax-schip zijn gunstiger.

Bij locatievariant Bocht B is de ruimte voor koerscorrecties door het zeeschip dat door het smalle beweegbare brugdeel vaart te beperkt. Bij brug Bocht B moet daarnaast het terrein van Alpatron worden opgegeven of heringericht. Ook een deel van de

ligplaatsen voor duwbakken aan het Eiland van Brienoord moet vervallen. De woontorens van woonwijk De Esch verhinderen het zicht op de brug in de opvaart. Doordat de brug laat in zicht komt, en vervolgens een lange bocht moet worden gemaakt alvorens de brug te bereiken, is het moeilijk te bepalen of het schip in de juiste strekking ligt om de brug veilig te passeren. Door onregelmatigheden in het verloop van de noordelijke oeverlijn (bij Boskalis) ontbreekt voor schepen in de opvaart ook de mogelijkheid van visuele geleiding door de oever in de richting van het beweegbare brugdeel. Dit kan worden verbeterd door de oever strak te trekken (wat inhoudt dat Boskalis daar moet verdwijnen). Alles overziend lijkt brug Bocht B het moeilijkst inpasbaar.

De late zichtbaarheid van de brug betekent ook dat schippers en loodsen niet zien of de brug geopend is en zij zullen daarom vroegtijdig om een brugopening vragen. Dit leidt tot langduriger brugopeningen.

Bruglocatie West is niet als hoge variant onderzocht.

Conclusies passage vaste brugdeel

De onderzochte ontmoetingen van drie maatgevende binnenvaartschepen onder het vaste brugdeel bij de maatgevende condities⁴ zijn bij geen van de locatievarianten veilig bevonden. Het is niet onderzocht of de ontmoeting van deze drie schepen in de huidige situatie van de bocht rond polder De Esch wel vlot en veilig is onder de maatgevende condities (wind en stroming).

Bij bruglocaties Bocht A en West is sprake van versmalling van het vaarwater ten opzichte van de referentiesituatie (huidige situatie plus aanleg langsdam en getijdenpark bij Feyenoord City), omdat de middelste brugpijler binnen het huidige vaarwater wordt geplaatst. Vanwege deze versmalling betekent de bouw van een brug op deze locaties in principe een afname van het veiligheidsniveau van de scheepvaart door de hoofdvaargeul. De mate waarin de veiligheid afneemt ten opzichte van de huidige situatie is niet onderzocht.

Bij Bocht A is de sterkste afname van het veiligheidsniveau te verwachten, omdat bij deze brugvariant de middenpijler midden in de bocht binnen het huidige vaarwater wordt geplaatst. Uit de uitgevoerde nautische simulaties volgt ook dat de ontmoeting van drie schepen bij Bocht A het meest problematisch is. Voor brug Bocht A doet MARIN de aanbeveling om de doorvaartbreedte van het vaste brugdeel te vergroten met als consequentie een substantieel grotere oeveraanpassing van polder De Esch dan in de onderzochte varianten.

Bij brug Bocht B is geen sprake van versmalling van het vaarwater ten opzichte van de referentiesituatie⁵. Schepen in de afvaart kunnen bij deze variant net als in de huidige situatie de bocht afsnijden (buiten de officiële vaargeul varen), maar deze mogelijkheid was niet in het simulatiemodel ingebouwd. Uit de simulaties volgt toch een negatieve

⁴ Zie begrippenlijst (bijlage 1) voor een toelichting op de maatgevende condities

⁵ huidige situatie plus aanleg langsdam en getijdenpark bij Feyenoord City

beoordeling van de veiligheid, maar onduidelijk is in hoeverre dit het gevolg is van het verschil tussen de werkelijkheid en het simulatiemodel wat deze afsnijding betreft. Uit de ruimtelijke beoordeling blijkt dat bij Bocht B alleen ter plaatse van de middelste brugpijler sprake is van een versmalling van het vaarwater (met 5 a 10 m) ten opzichte van de referentiesituatie³, terwijl wel meer ruimte is gecreëerd door verwijdering van enkele ligplaatsen van duwbakken langs het Eiland van Brienoord, en bovendien overal in de rivierbocht de stroomsnelheden afnemen door de afgraving van polder De Esch. Hierom lijkt het onwaarschijnlijk dat de inpassing van brug Bocht B zal leiden tot een afname van het veiligheidsniveau van de scheepvaart door de hoofdvaargeul (afgezien van eventuele negatieve visuele effecten van de middelste brugpijler). Dit is nog niet door onderzoek bevestigd.

De veiligheid van de vaart onder het beweegbaar brugdeel van de hoge bruggen kan worden vergroot door verder gaande oeveraanpassingen. Echter, ook na optimalisatie van de doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel en van de oevergeometrie blijven mogelijk nog aanvullende maatregelen nodig voor de zeevaart en bijzondere transporten, omdat er voor deze onvoldoende marge is om koerscorrecties uit te kunnen voeren in de aanloop naar het beweegbare brugdeel. Deze maatregelen kunnen bestaan uit (meer) verplichte sleepbootassistentie en/of maximale stroomsnelheden en/of maximale wind voor de brugpassage. Dergelijke restricties leiden voor de betreffende schepen tot een afname van de vlotheid van de doorvaart.

De veiligheid van de ontmoetingen onder het vaste brugdeel kan bij alle varianten ook worden vergroot door restricties (zoals een oploopverbod) aan de scheepvaart op te leggen. Of schepen moeten in de praktijk hun vaargedrag aanpassen (bijvoorbeeld niet oplopen in de bocht om onveilige situatie te voorkomen. Restricties opleggen of in de praktijk niet oplopen leiden tot een afname van de vlotheid van het scheepvaartverkeer, waaraan economische gevolgen zijn verbonden.

Conclusies brughoogte

Zoals uit de conclusies van het beweegbare brugdeel blijkt, is het beweegbare brugdeel niet veilig te passeren door het maatgevend koppelverband. Dat betekent dat dit schip met 5 lagen containers onder het vaste brugdeel door moet kunnen varen.

Uit het onderzoek naar de ontwikkeling van de 5- en 6-laags containervaart volgt dat in 2019 en 2020 circa 75 schepen met 5 en incidenteel 6 lagen containers over de Nieuwe Maas voeren. De prognose is dat dit groeit naar 150 à 300 schepen met 5 lagen containers (waarvan incidenteel op dubbele koppelverbanden, de meeste op Rijnmax-schepen) en ordegrrootte 10 schepen met 6 lagen containers (waarvan geen op dubbele koppelverbanden) in 2050. Een dimensionering van het vaste brugdeel op ten minste 5-laags containervaart heeft als groot voordeel dat de impact op landverkeer en inpassing buiten de vaarweg kleiner is door de kleinere stijghoogte. Tevens is het aantal schepen dat door het opengangende deel van de brug moet varen aanzienlijk kleiner. Dit is niet alleen in nautisch opzicht positief, maar beperkt ook de stremming van het landzijdig

verkeer door brugopeningen. Een vaste brug gedimensioneerd op 5-laags containervaart met overhoogte voor het stuurhuis betekent een doorvaarthoogte van het vaste brugdeel van NAP +18,46 m.

Uit de monitoring van de scheepshoogtes bij de passage van het beweegbaar deel van de Erasmusbrug (periode november 2021 tot maart 2022) volgt dat bij een nieuwe vaste brug die is gedimensioneerd op 4 lagen high-cube containers circa 700 schepen per jaar gebruik zullen moeten maken van het beweegbare brugdeel; bij een brug gedimensioneerd op 5 lagen containers zijn dit 470 schepen per jaar, en bij een brug gedimensioneerd op 6 lagen containers circa 380 schepen per jaar. Ter referentie: het gemiddeld aantal scheepspassages van de het beweegbaar deel van de Erasmusbrug bedroeg 1000 per jaar in de periode 2015-2020.

Conclusies beschikbaarheid tijpoorten voor bijzondere transporten

Voor de passage van grote zeeschepen en bijzondere transporten door het beweegbare deel van de bestaande bruggen en een nieuwe brug gelden tijbepeningen. Dit betekent dat deze passages moeten plaatsvinden in een tijdperiode – een zogenoemd tijpoort – waarin de (getij)stroomsnelheden een bepaalde maximale waarde niet overschrijden. De tijdsduur van een tijpoort dient voldoende lang te zijn, zodat de passage van alle bruggen (Erasmusbrug, Koninginnebrug, nieuwe brug en Van Brienenoordbrug) binnen één tijpoort, in één doorgaande vaart, kan worden uitgevoerd.

In bijlage 2 is het onderzoek naar de beschikbaarheid van tijpoorten uitgebreid toegelicht. Geconcludeerd wordt dat niet met zekerheid is vastgesteld of bij veel voorkomende gemiddelde rivierafvoeren in combinatie met springtij een voldoende lange tijpoort voor bijzondere transporten kan worden gevonden. Maar bij deze onzekerheid geldt de kanttekening dat het niet voor de hand liggend is om een bijzonder transport te plannen tijdens springtij. Binnen iedere periode van twee weken kan ook worden gekozen voor dagen met gemiddeld getij of doottij, waarbij de vloed snelheden lager zijn en de beschikbare tijpoort in principe langer (vooral bij doottij). Dit heeft dan wel economische consequenties. Verder geldt dat bij de planning van een transport kan worden gekozen voor vloed- óf voor ebstroming, zodat het niet noodzakelijk is dat het transport bij beide stroomrichtingen veilig uitgevoerd kan worden.

Tenslotte moet worden opgemerkt dat niet is onderzocht in welke mate het vinden van een geschikt tijpoort moeilijker wordt door het aanbrengen van een nieuwe brug, omdat niet is onderzocht in welke mate de totale vaartijd van bijzondere transporten tussen de Erasmusbrug en de Van Brienenoordbrug toeneemt door de extra passage van een nieuwe brug.

Integrale conclusie bruglocaties

Met de gehanteerde uitgangspunten ten aanzien van de maatgevende schepen, de dimensionering van de bruggen, en stromings- en windcondities zijn bij geen van de vijf onderzochte varianten beide brugdelen nautisch vlot en veilig te passeren. Deze

conclusie wordt getrokken op basis van zowel de numerieke analyse van de data van de real-time simulaties als het oordeel van de schippers en de loodsen. De schippers en loodsen beoordelen de nautische passage van de vaarweg bij alle varianten als minder veilig dan in de huidige situatie.

De minst ongunstige locatie voor het beweegbare brugdeel is Bocht A. Deze locatie is voor het vaste brugdeel echter het meest ongunstig. De minst ongunstige locatie voor het vaste brugdeel is naar het oordeel van de schippers West, waarbij deze locatie iets gunstiger wordt beoordeeld dan locatie Bocht B⁶. Omdat er geen onderscheid is gemaakt in het belang van een veilige passage van het vaste en beweegbare brugdeel (beide moeten immers veilig zijn), kan daarom vanuit nautisch perspectief niet eenduidig een minst ongunstige locatie voor de gehele brug aan worden gewezen.

Voor alle bruglocaties geldt dat het vaste brugdeel qua hoogte minimaal gedimensioneerd moet zijn op 5-laags containerbinnenvaart, omdat het beweegbare brugdeel niet veilig kan worden gemaakt voor passage door een dubbel koppelverband met 5 lagen containers⁷. Het beweegbare brugdeel van brug Bocht A en Bocht B moet breder zijn dan de onderzochte smalle varianten en waarschijnlijk niet breder dan de onderzochte brede varianten. Bij brug West kan de benodigde doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel zowel kleiner als groter worden dan de onderzochte brede doorvaartopening, maar er is wel een oeveraanpassing nodig om de doorvaart veilig te maken. Wanneer wordt uitgegaan van een onveranderde vlotheid voor de scheepvaart zal bij brug Bocht A de doorvaartbreedte van het vaste brugdeel waarschijnlijk groter moeten worden, en mogelijk geldt dit ook bij brug West. Bij alle varianten zijn dus substantiële extra oeveraanpassingen van polder De Esch noodzakelijk.

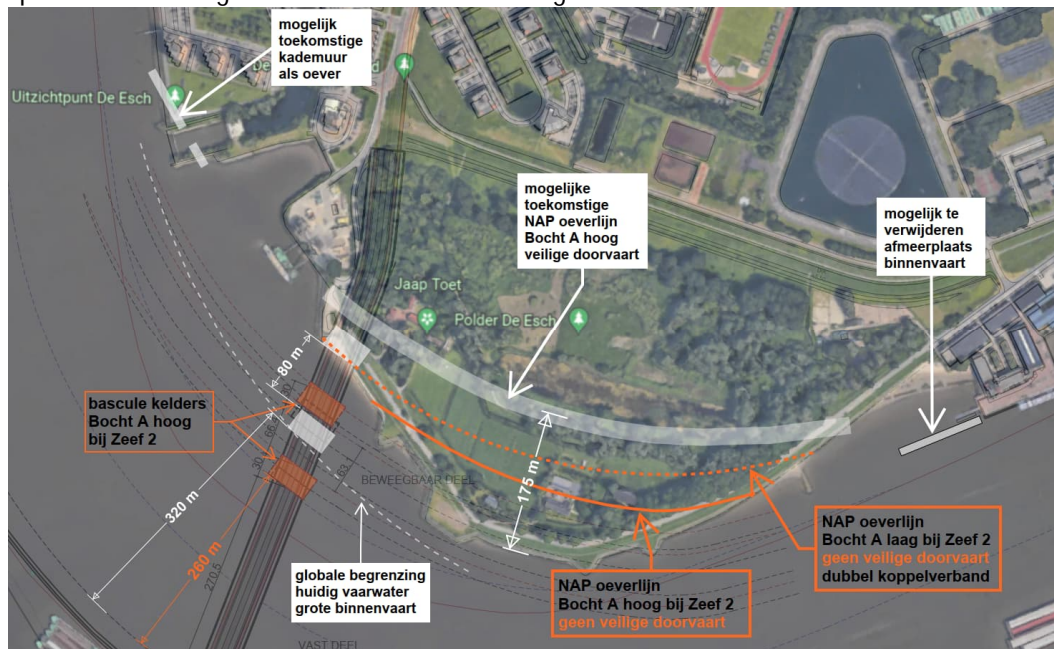
Of de doorvaartbreedte van het vaste brugdeel van Bocht A moet worden vergroot, en zo ja, in welke mate, is nog niet aangetoond. Hierop vooruitlopend toont Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. een impressie van een mogelijk noodzakelijk oeveraanpassing van polder en woonwijk De Esch, indien uit nader onderzoek zou blijken dat voor een veilige doorvaart door beide brugdelen zonder effect op vlotheid (1) de middenpijler (een bascule kelder) globaal buiten het huidige vaarwater moet worden geplaatst en (2) het beweegbare brugdeel een doorvaartbreedte van 80 meter⁸ moet hebben. De doorvaartbreedte van het vaste brugdeel is hierbij globaal 320 meter, terwijl de oeveraanpassing van polder De Esch globaal een breedte heeft van 175 meter en een oppervlak van 8,0 hectare (zie ter vergelijking de onderzochte maten in Tabel 1). Fout!

⁶ De iets ongunstigere beoordeling van Bocht B ten opzichte van West komt waarschijnlijk doordat in de simulaties alle schepen binnen de officiële hoofdvaargeul voeren, terwijl in werkelijkheid afvarende schepen de binnenbocht kunnen afsnijden (zie ook voorgaande).

⁷ Voor brug West geldt dat naar verwachting de lengte langs de vaarweg niet toereikend is voor een veilig passage van het beweegbare brugdeel. "Naar verwachting" betekent dat de mogelijkheid bestaat dat een aanpassing van de oever van polder De Esch wel leidt tot een voldoende veilige passage van een dubbel koppelverband door het beweegbare brugdeel.

⁸ Door MARIN is ingeschat dat bij 80 meter breedte voor het Rijnmax schip mogelijk sprake is van veilige doorvaart.

Verwijzingsbron niet gevonden. betreft een hoge brug waarbij de hoogte van het vaste deel is afgestemd op doorvaart van 5-laags containerbinnenvaart. In de figuur is tevens met oranje lijnen aangegeven bij welke oeverlijnen volgens uitgevoerd onderzoek géén sprake is van veilige doorvaart door beide brugdelen.



Figuur 4 Figuur met mogelijke oeveraanpassing op locatie Bocht A voor een veilige brug, zonder effect op vlotheid

Bij een grotere doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel blijven waarschijnlijk aanvullende maatregelen nodig voor een veilige passage van grote zeeschepen en grote transporten, omdat deze anders onvoldoende koerscorrecties kunnen uitvoeren voor een veilig doorvaart. Deze maatregelen kunnen bestaan uit (extra) ondersteuning door sleepboten of duwbotten en/of uit extra tijd beperkingen gekoppeld aan het getij.

9. Beperkingen van het onderzoek

- Nautisch real-time simulatieonderzoek is intensief, tijdrovend en kostbaar. Daarom is veel aandacht besteed aan de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij de start van het onderzoek. Het is binnen de gegeven tijd en budgettaire mogelijkheden niet mogelijk om 'even' aanpassingen in uitgangspunten of maatregelen te onderzoeken, zoals simulaties met andere typen schepen, andere brugdimensies, andere condities, wijziging in de oeveraanpassingen of restricties aan de scheepvaart. Het betekent ook dat de effectiviteit van de aanbevelingen die voor elke brugvariant zijn gedaan om de veiligheid van de passage te vergroten niet is onderzocht. Daarom is niet vast te stellen wat de bijdrage van de maatregelen zijn en of ze kunnen leiden tot een haalbare brugvariant.
- De simulaties voor het beweegbare brugdeel zijn uitgevoerd voor alleen één maatgevend schip tegelijk, en de simulaties voor het vaste brugdeel voor de gedefinieerde

drie schepen die de brug gelijktijdig passeren. In werkelijkheid zullen zich vaak meerdere schepen op de vaarweg bevinden. Om de hinder en de risico's voor het overige scheepvaartverkeer in beeld te kunnen brengen zijn onderzoeken nodig naar de invloed van een brug op het totale verkeersbeeld. Concrete situaties die een risico voor de veiligheid van het scheepvaartverkeer vormen zijn;

- Schepen die bij Brug West in de afvaart door het beweegbaar deel komen en naar de Koningshaven moeten, moeten hier een complexe draai maken
 - Wachtende schepen voor het beweegbaar deel, hebben op stromend water in een bocht veel ruimte nodig. Dit geeft complicaties voor doorgaande scheepvaart die het zelf ook al lastig kunnen hebben in de bocht.
 - Schepen die een brugopening nodig hebben moeten altijd de rivier kruisen. Dit geeft overlast voor de doorgaande vaart.
 - Schepen die een brugopening nodig hebben zullen in de opvaart een deel aan de verkeerde wal moeten varen. Dit kan, zeker in een onoverzichtelijke bocht, tot gevaarlijke situaties leiden.
- De veiligheid van de vaarwegpassage in de huidige situatie is niet onderzocht. Het onderzoek is primair gericht op een beoordeling van en het onderscheid tussen de vijf brugvarianten vanuit het oogpunt van een vlotte en veilige scheepvaartpassage. Vergelijkingen met de huidige situatie zijn voornamelijk gebaseerd op het oordeel van de schippers en de loodsen en op geometrische vergelijkingen (breedte vaarwater). Niet is onderzocht of in de huidige situatie de gedefinieerde maatgevende schepen voor de ontmoetingen onder het vaste brugdeel ook gelijktijdig en onder de maatgevende condities⁹ (wind en stroming) door de bocht rond De Esch varen, of dat zij uit zichzelf al meer afstand houden door elkaar bijvoorbeeld in de bocht niet in te halen (ook al is dit niet verboden). De vergelijking tussen de huidige situatie en de gesimuleerde vaart door het vaste brugdeel van brug Bocht B is bovendien niet goed te maken omdat de uitgangspunten in de simulatie niet overeenkomen met de praktijk (niet respectievelijk wel afsnijden van de binnenbocht, buiten de vaargeul). Vast staat dat de vlotheid van de passage van het scheepvaartverkeer af neemt door de aanwezigheid van een vaste brug in de rivierbocht ten opzichte van de huidige situatie. In welke mate dat is kan alleen door het uitvoeren van aanvullend onderzoek worden bepaald. Het is mogelijk dat uit zo'n onderzoek blijkt dat locatievariant Bocht B gunstiger blijkt voor de ontmoetingen onder het vaste brugdeel.
- De monitoring van de scheepshoogtes is uitgevoerd in een periode van circa 4 maanden in de winter van 2021 tot het voorjaar van 2022. Dit is een korte periode en betekent dat recreatievaart grotendeels ontbreekt. De resultaten zijn voorlopig omdat door de korte meetperiode de seizoensinvloeden van recreatievaart nog niet zijn vastgesteld. Het onderzoek zal de komende periode worden voortgezet omdat langduriger monitoring zal betrouwbaarder gegevens opleveren.

⁹ Zie begrippenlijst (bijlage 1) voor een toelichting op de maatgevende condities

10. Maatregelen NKO

In de NKO zijn verschillende maatregelen benoemd die kunnen bijdragen aan een veilige passage van de vaarweg met een nieuwe brug (Tabel 3). In dit hoofdstuk wordt aangegeven of en hoe deze maatregelen een rol hebben gespeeld in de zeef 2 onderzoeken.

Tabel 3 *Beoordeelde maatregelen in zeef 1*

No.	Maatregel	Ruimtelijk inpasbaar en haalbaar	Passend bij bestaande functionaliteit
I. Geometrie rivier			
1	Recht stuk damwand plaatsen	+/-	+
2	Vergroten doorstroomprofiel	+/-	+
3	Vergroten bochtstraal vaarbaan door het beweegbaar brugdeel	+/-	+
4	Stroomlijnen van de noordoever	+/-	+
5	Erosiekuil dempen	+	+
6	Plaatsen van een stuw en sluisen	-	-
7	Beweegbare brug over een kanaal door De Esch leggen	-	+/-
II. Hoogte van het vaste brugdeel			
8	Alleen een hoge vaste brug maken	-	-
9	Hoogte vaste brugdeel dimensioneren op 6-laags containervaart	+/-	+/-
III. Scheepvaart			
10	Dubbel koppelverband als maatgevend schip beschouwen i.p.v. zeeschip BPR	+	+/-
11	Instellen van venstertijden voor maatgevende schepen gekoppeld aan getijden	+	-
12	Omwaren via de Oude Maas voor dubbel koppelverband met 5/6 lagen containers en voor zelfstandig varende grotere zeeschepen	+/-	-

Maatregel 1 is toegepast bij brugvariant West over korte afstand langs woonwijk De Esch, om de afgraving op maaiveldniveau zo veel mogelijk te beperken. Bij bruglocaties Bocht A en Bocht B is een rechtlijnige verticale wand niet toegepast, omdat een rechtlijnig verloop niet inpasbaar is in de kromming van de oeverlijn van polder De Esch.¹⁰

Maatregel 2 is toegepast bij locatievarianten Bocht A en Bocht B: door de oeververlegging is de rivier verbreed en het doorstroomprofiel vergroot. Het betreft dus in feite een neveneffect van een noodzakelijke ingreep om deze brugvarianten ruimtelijk

¹⁰ Het rechtlijnige verloop van een verticale wand heeft als functie om schepen bij het naderen van de brug in een positie recht voor de brugopening te brengen. Deze functie komt het beste tot zijn recht bij een beweegbaar brugdeel in de buitenbocht, wat niet aan de orde is bij de onderzochte brugvarianten.

te kunnen inpassen. De basisgedachte achter brug West was juist dat deze inpasbaar zou zijn zonder oeveraanpassing; daarom is maatregel 2 bij deze variant niet toegepast. Het vergroten van het doorstroomprofiel kan ook worden bereikt door verdieping van de rivier. Dit is een ingrijpende maatregel, waarbij meer kans bestaat op negatieve effecten op de zoutindringing en de morfologie dan bij een verbreding van de rivier. Bij een verdiepte rivierbodem kan met name in de binnenbocht een sedimentatiegebied ontstaan, waar de bodem door baggerwerk op diepte moet worden gehouden. Gezien deze mogelijk negatieve effecten, in combinatie met het onbekend zijn van de noodzaak ervan bij aanvang van zeef 2, is verdieping van de rivier niet onderzocht.

Maatregel 3 is, net als het vergroten van het doorstroomprofiel door oeveraanpassing (maatregel 2) als 'bijvangst' van de inpassing van brug Bocht A en brug Bocht B geïmplementeerd, en om dezelfde reden als maatregel 2 niet bij brug West onderzocht.

Maatregel 4 bestaat uit de opvulling van de inham in de oever voor het bedrijf Boskalis aan de westzijde van polder De Esch. Dit kan twee gunstige effecten hebben: stroomgradiënten verminderen (beoogd effect in de NKO) en/of betere visuele geleiding geven aan schippers en loodsen om het beweegbare brugdeel langs een goede vaarbaan te benaderen (parallel aan een doorlopende oeverlijn).

Opvulling van de inham in de oever is niet toegepast, omdat bedrijfsverwijdering van Boskalis niet als initieel uitgangspunt is genomen. Bij brug West is wel de punt van woonwijk De Esch afgegraven om de brug in te kunnen passen; een neveneffect daarvan is dat de oever iets gestroomlijnder wordt.

Betere visuele geleiding door opvulling van de inham in de oever kan met name bij brug Bocht B bijdragen aan een betere doorvaarbaarheid van het beweegbare brugdeel. Dit gunstige effect was vooraf niet voorzien.

Bij brug Bocht A heeft stroomlijning van de oever waarschijnlijk weinig invloed op de doorvaarbaarheid, maar een gunstige invloed voor de opvaart is mogelijk.

Maatregel 5 is wel onderzocht door middel van een stromingsberekening door Svašek. Demping leidt tot een afname van dwarsstromingen (nautisch gunstig), maar ook tot een toename van de langsstroming in de binnenbocht (nautisch ongunstig). Of demping netto een gunstig effect heeft op nautiek is onzeker. Gezien de uitkomsten van de stromingsberekening is een sterk gunstig nautisch effect niet te verwachten.

Maatregelen 6, 7 en 8 zijn niet onderzocht. Ze 'zijn bijzonder moeilijk inpasbaar (en kostbaar) en/of dusdanig in strijd met de huidige functionaliteit en huidig vaarwegbeleid dat deze niet nader worden onderzocht in het kader van deze MIRT-verkenning' (NKO).

Maatregel 9 is onderzocht in de hoge/smalle varianten van brug Bocht A en brug Bocht B. Bovendien is de ontwikkeling van de 5- en 6-laags containervaart onderzocht om nut en noodzaak van deze maatregel in beeld te krijgen.

Maatregel 10 is toegepast in de lage/brede varianten.

Maatregel 11 is verkennend onderzocht voor het maatgevende zeeschip. Door middel van fast-time simulaties is inzicht verkregen met welke restricties qua sleepbootassistentie, stroming en wind het zeeschip door het beweegbare brugdeel kan varen.

Maatregel 12 is niet onderzocht. 'Verantwoordelijke partijen (vaarwegbeheerder, havenmeester, beleid) geven aan dat deze [maatregelen 11 en 12] in strijd zijn met de randvoorwaarde voor functionaliteit en geven aan het geen bespreekbare denkrichting te vinden' (NKO).

Nb. Maatregelen 11 en 12 zijn geïnterpreteerd als mogelijke oplossingsrichting voor een veilige passage van het beweegbaar brugdeel. In zeef 1 leken maatregelen voor een vlotte en veilige doorvaart onder het vaste brugdeel niet nodig, maar uit het simulatieonderzoek blijkt dat dit onder de gegeven uitgangspunten tóch problematisch is. Maatregelen 11 en 12 zijn niet direct toepasbaar voor het verbeteren van de passage van het vaste brugdeel. Naast verder gaande oeveraanspassingen komt dit waarschijnlijk neer op andere vormen van restricties die kunnen leiden tot een afname van de vlotheid. De vaarwegbeheerders stellen zich hier op hetzelfde standpunt als in de NKO is verwoord voor maatregelen 11 en 12: 'geen bespreekbare denkrichting', omdat ze niet passen niet bij de functionaliteit van de vaarweg.

De uitkomsten van het nautisch onderzoek tot nu toe kunnen aanleiding zijn om bepaalde maatregelen toch wel of nog nader te onderzoeken. Binnen de werkgroep nautiek kunnen hiervoor geen keuzes worden gemaakt, omdat dit te zeer raakt aan belangen van verschillende partijen. De werkgroep richt zich op een juiste uitvoering van nautisch onderzoek maar kan geen belangenafwegingen maken.

Toelichtende begrippenlijst

1. Maatgevende wind- en stromingcondities.
Voor de maximale windsnelheid is de 2% overschrijdingswaarde per windsector van 30 graden gehanteerd.
Als maatgevende windrichtingen zijn de dwarse windrichtingen ter hoogte van de nieuwe brug gekozen. De te simuleren windsnelheid bij een bepaalde dwarsrichting is bepaald als het maximum over drie windrichting sectoren, namelijk de dwarse windrichting +/- de naastgelegen sector. Voor de maximale stroming is de maximale eb- en/of vloed-stroming gehanteerd die optreedt tijdens een gemiddeld springtij in combinatie met een respectievelijk 2,7% van de tijd overschreden en een 2,7% van de tijd onderschreden rivierafvoer. (2,7% van de tijd is 10 dagen per jaar, welke afvoerconditie uit andere onderzoeken beschikbaar was). De maximale eb- of vloedstroomsnelheid bij deze rivierafvoeren treedt aanzienlijk minder dan 2,7% van de tijd op, omdat de maximale getijsnelheid slechts gedurende enkele uren van de dag optreedt en omdat het globaal slechts 1/3 deel van de tijd springtij is.

Als algemene regel is de maximale 2% windconditie gecombineerd met een gematigde rivierafvoer die 25% van de tijd wordt over- of onderschreden, terwijl de maximale stromingsconditie is gecombineerd met een gematigde windsnelheid die een factor 0,77 lager is de maximale 2% windsnelheid. Echter de nautische simulaties voor de het vaste brugdeel zijn uitgevoerd met de combinatie van 2% windconditie én 2,7% rivierafvoer conditie.
2. De Vaargeul is het gedeelte van het vaarwater dat voor de doorgaande scheepvaart wordt onderhouden op gegarandeerde diepte en breedte (waartoe zo nodig onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd).
3. Het Vaarwater is het gedeelte van een vaarweg dat feitelijk door de doorgaande scheepvaart kan worden gebruikt (omdat de feitelijke waterdiepte voldoende is en er geen andere doorvaart belemmeringen aanwezig zijn).
4. Een vaarweg is elk voor het openbaar verkeer openstaand water.

Bronnen

- ¹ Werkgroep nautiek MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, 30 maart 2021, *Eindrapport nautiek zeef 1*.
- ² Projectteam MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, juli 2021. *Notitie Kansrijke Oplossingsrichtingen*.
- ³ Brief van de minister van Infrastructuur en waterstaat d.d. 6 juni 2019. *Vervolg Kosten-batenanalyse brughogtes (4 kansrijke vaarwegcorridors)*.
- ⁴ Koedijk, O.C. (red.) (Rijkswaterstaat), 2020. *Richtlijnen Vaarwegen 2020*.
- ⁵ Svašek Hydraulics, Sam Bom, 9 maart 2022. *Stromingssimulaties MIRT-verkenning Nieuwe Oeververbindingen regio Rotterdam: Datalevering voor nautische simulaties bij de rivierbocht van De Esch*. Referentie 2083/U22007/C/SBom.
- ⁶ RoyalHaskoningDHV, Frank van Gool, 27 september 2021. *Windklimaat nieuwe oeververbinding Rotterdam: CFD onderzoek rondom "de Esch"*. Referentie BI2767IBRP2109271700.
- ⁷ MARIN, M. van der Wel, 7 juni 2022. *MIRT Oeververkenning zeef 2: Nautisch onderzoek. Fast-time manoeuvreersimulaties ten behoeve van drie locatie varianten*. Rapport nr. 33652-1-MO-rev.0.4.
MARIN, M. van der Wel, 10 juni 2022. *MIRT Oeververkenning zeef 2: Nautisch onderzoek. Real-time manoeuvreersimulaties ten behoeve van drie locatie varianten*. Rapport nr. 33652-2-MO-rev.0.5.
- ⁸ Panteia, Wouter van der Geest en Judith Mol, 17 mei 2022. *Onderzoek ontwikkelig 5/6 laags containervaart op de vaarwegcorridors: Inschatting van de toekomstige passages op de Nieuwe Maas*.
- ⁹ Werkgroep nautiek MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, Jaco Reusink, 17 mei 2022. *Hoogtemetingen hoge scheepvaart Erasmusbrug*.
- ¹⁰ Werkgroep nautiek MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, 14 september 2021. *Uitgangspunten bruggen t.b.v. nautische onderzoeken zeef 2 MIRT-verkenning*.
- ¹¹ Werkgroep nautiek MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, Jaco Reusink, 12 november 2021. *Windbelasting scheepvaartpassage beweegbare bruggen: NEN6786-1*.
Werkgroep nautiek MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, Teus Blokland, 18 november 2021. *Reductiefactoren stroomsnelheden bij simulatie scenario's C en D*.
- ¹² Werkgroep nautiek MIRT-verkenning Oeververbindingen regio Rotterdam, Jaco Reusink, 15 oktober 2021. *Bewegingstijd en cyclustijd bruggen*.

Bijlage 1 Inpassingstekeningen van brugvarianten

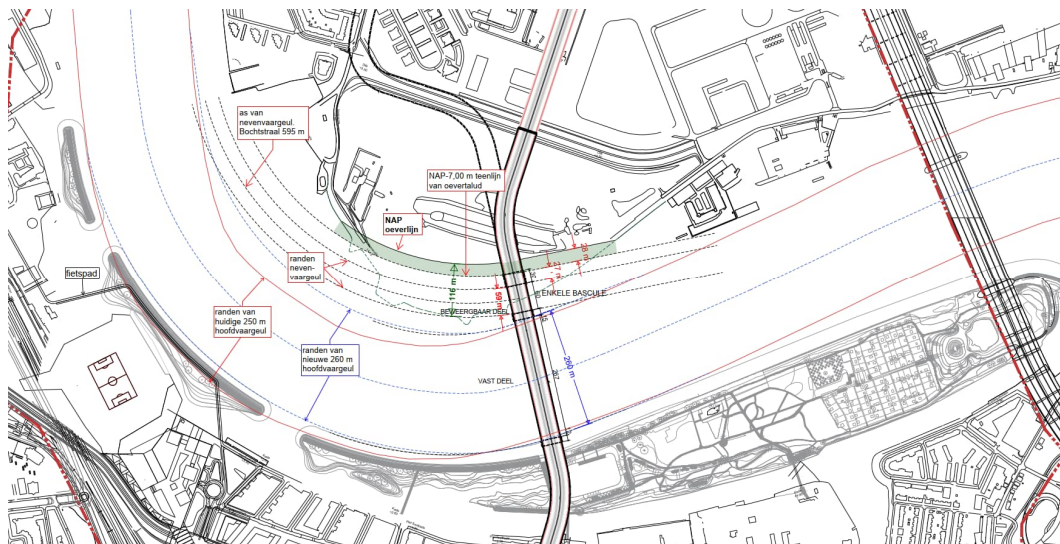
Toelichting

De navolgende figuren tonen inpassingstekeningen van vijf brugvarianten. Bij alle varianten met uitzondering van Bocht B hoog is de doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel geoptimaliseerd tussen de fast-time en de real-time simulaties. Bij Bocht A hoog is hierbij de 15 meter brede middenpijler vervangen door een 30 meter brede (tweede) basculekelder. Tevens zijn de randen van de nevenvaargeul en de oeverlijnen aangepast conform de optimalisatie van het beweegbare brugdeel.

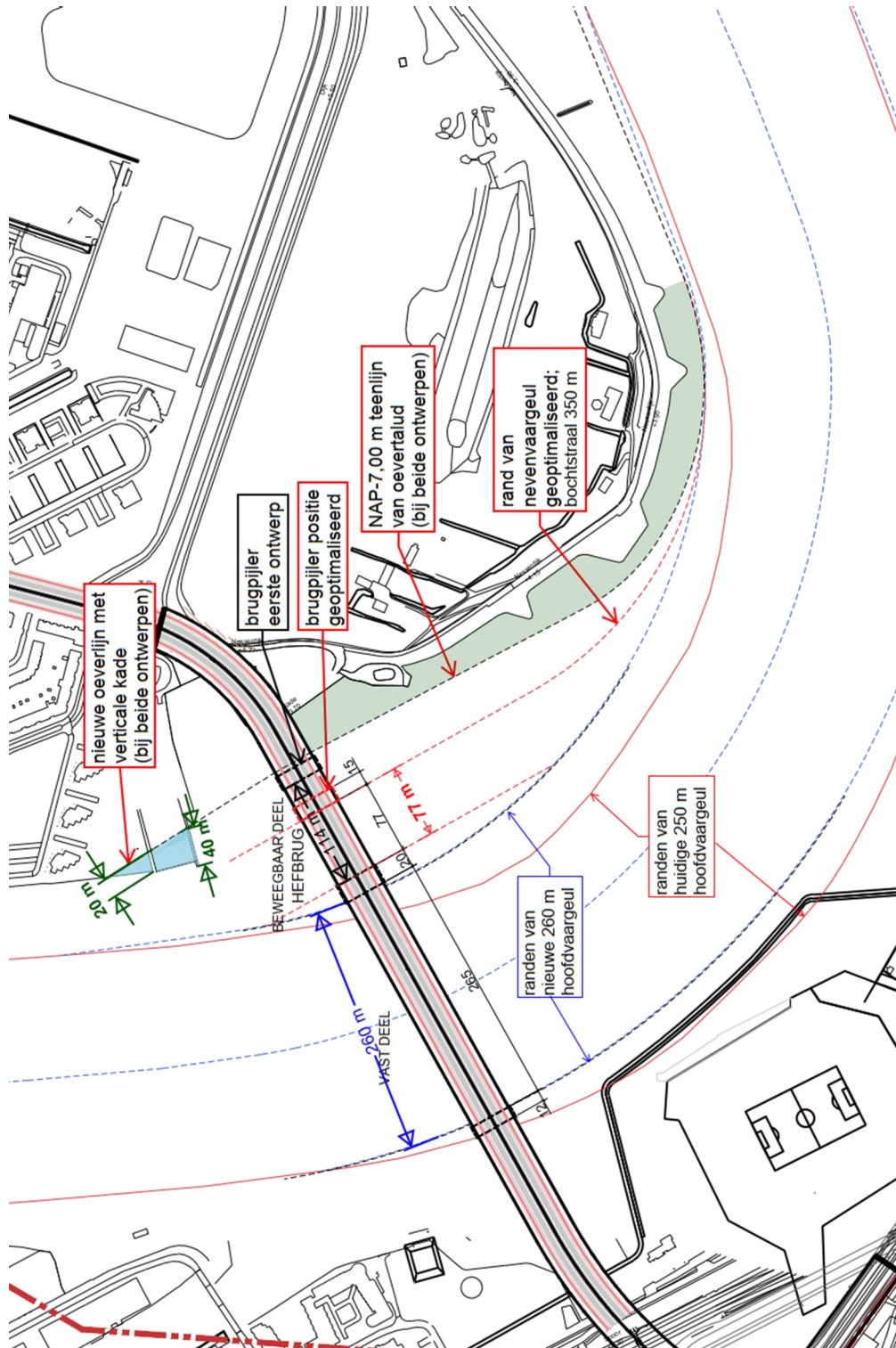
In de figuren tonen de zwarte lijnen het eerste ontwerp (gebruikt in de fast-time simulaties) en de rode lijnen het geoptimaliseerde ontwerp (gebruikt in de real-time simulaties). De randen van de huidige hoofdvaargeul zijn ook met rode (ononderbroken) lijnen weergegeven. De randen van de nieuwe hoofdvaargeul in de situatie met een brug zijn met blauwe stippellijnen weergegeven.

Bij de aangepaste oever van polder De Esch is alleen het ónder NAP gelegen oevertalud in de tekeningen opgenomen. Dit is een talud van 1:4 tussen NAP en de teenlijn op NAP-7,00 m. Aan de rivierzijde van de teenlijn bevindt de nieuwe rivierbodem zich overal op NAP-7,00 m of dieper; overal waar de huidige bodem dieper ligt dan NAP-7,00 m blijft het huidige bodemniveau geldig. Het nieuwe dijklichaam bóven NAP is niet opgenomen in de tekeningen. In het stromingsmodel is uitgegaan van een 1:3 talud tot NAP+4,00 m. (Mogelijk kan voor geotechnische stabiliteit een flauwer talud nodig zijn). Naast de gekozen oever geometrie met een talud bestaat ook de mogelijkheid om een verticale kadeconstructie te maken.

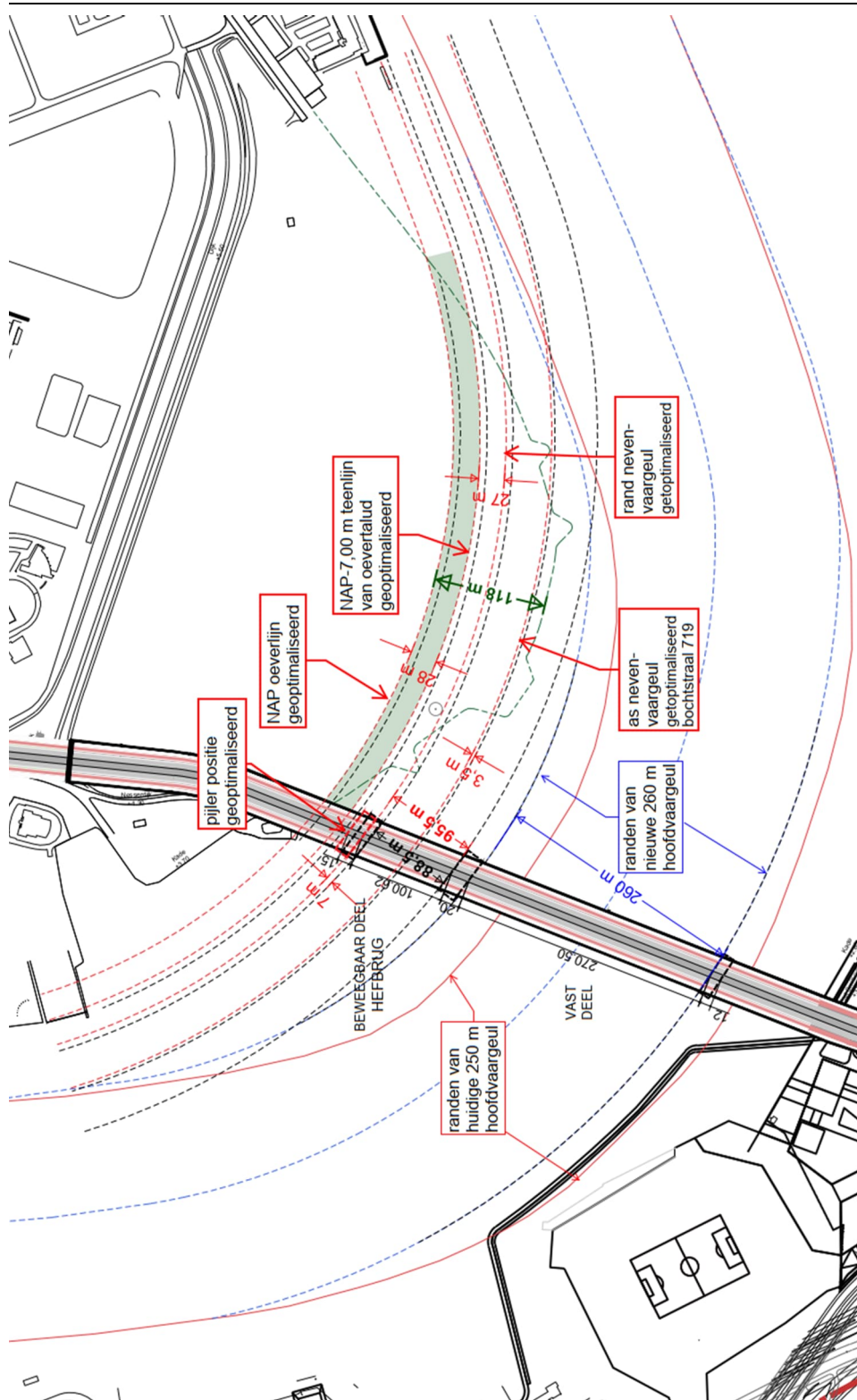
De geometrie van de zuidelijke rivieroever is alleen in de tekeningen van brug Bocht B compleet weergegeven (zie figuren B.1, B.5 en B.6). Bij de andere bruggen ontbreken het Eiland van Brienenoord, de nieuwe langsdammen en het nieuwe getijdenpark.



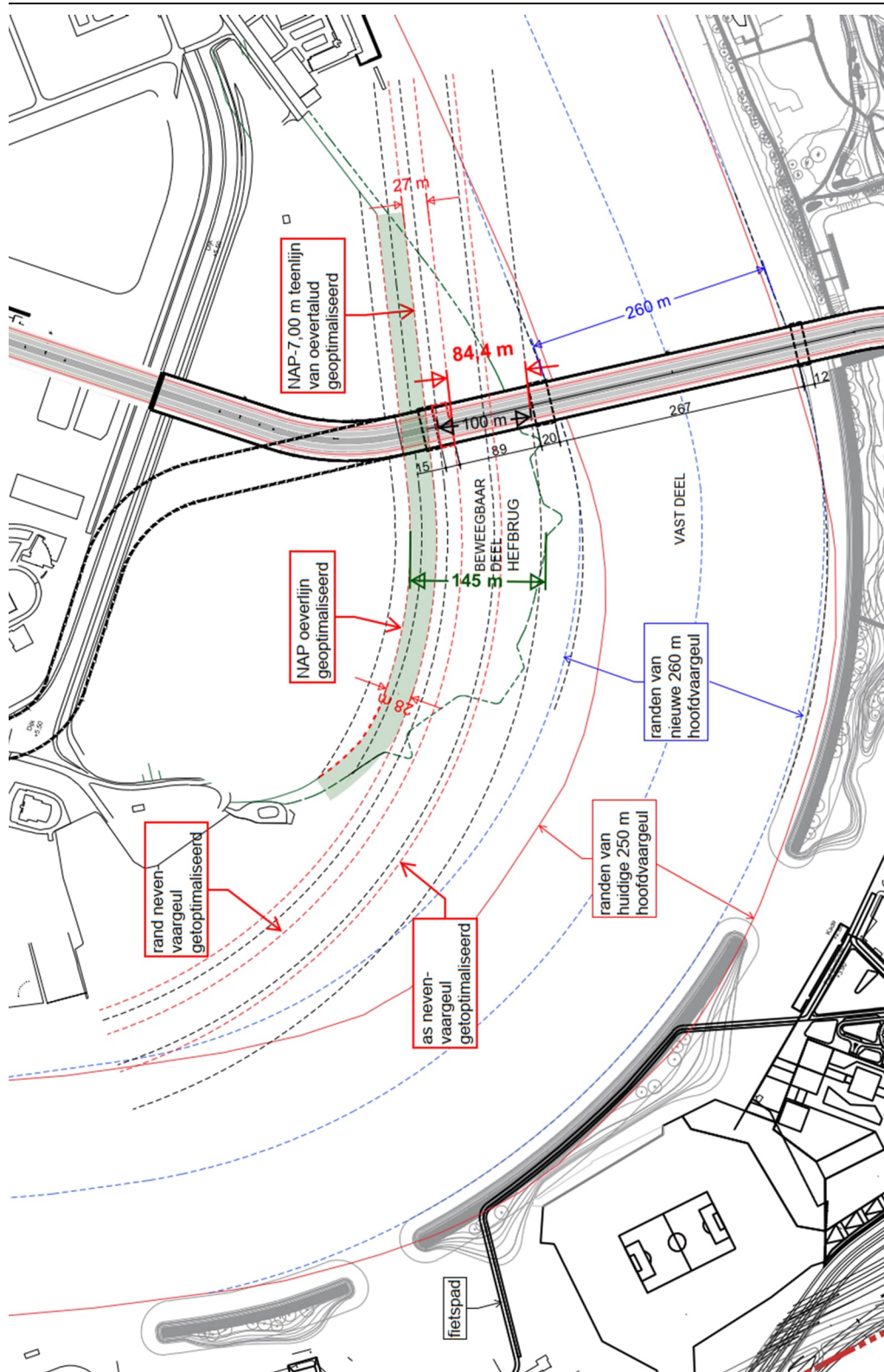
Figuur B.1 Complete geometrie rivierbocht tot Brienoordbrug met brug Bocht B hoog



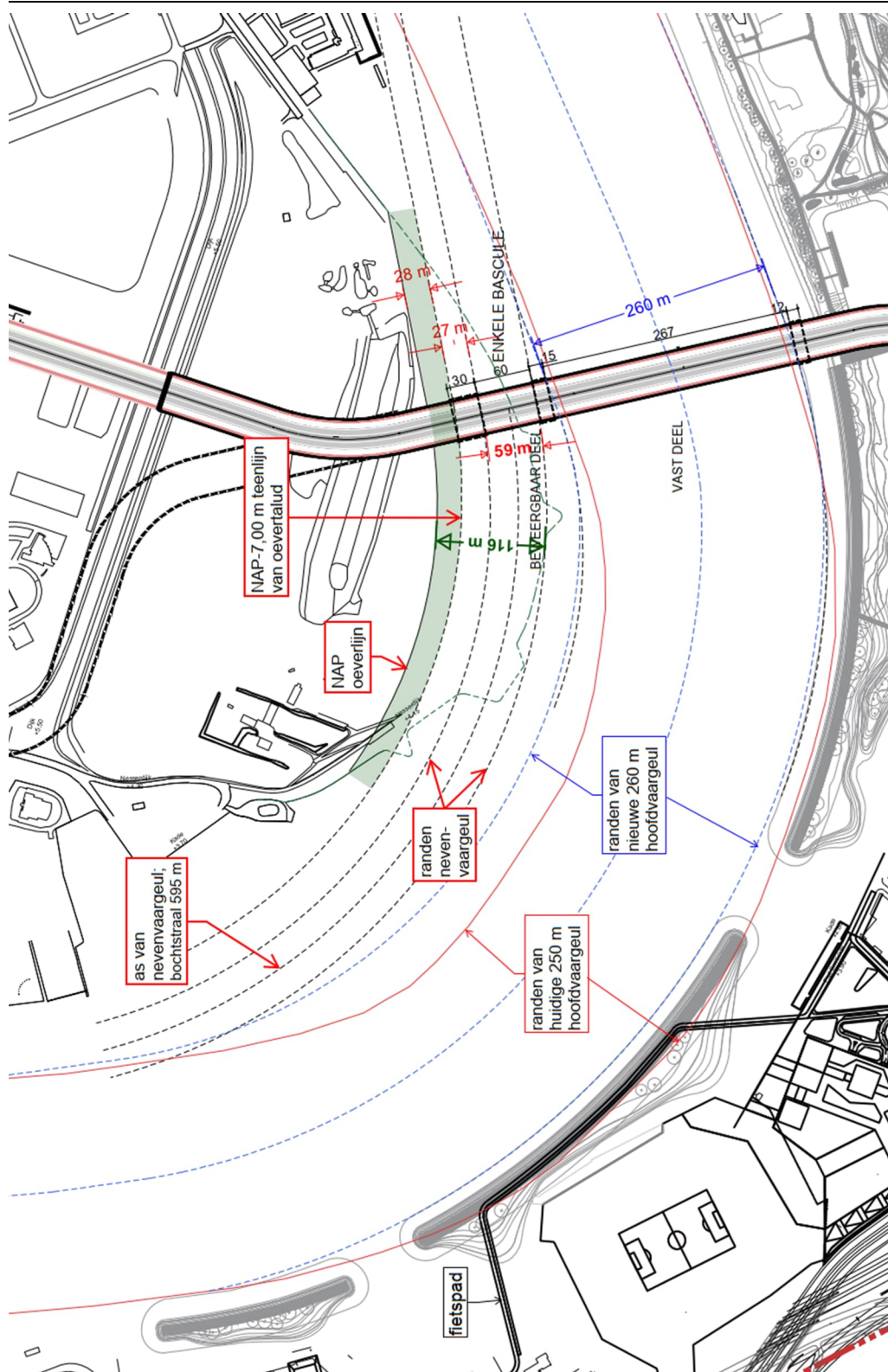
Figuur B.2 Inpassingstekening van brug West laag



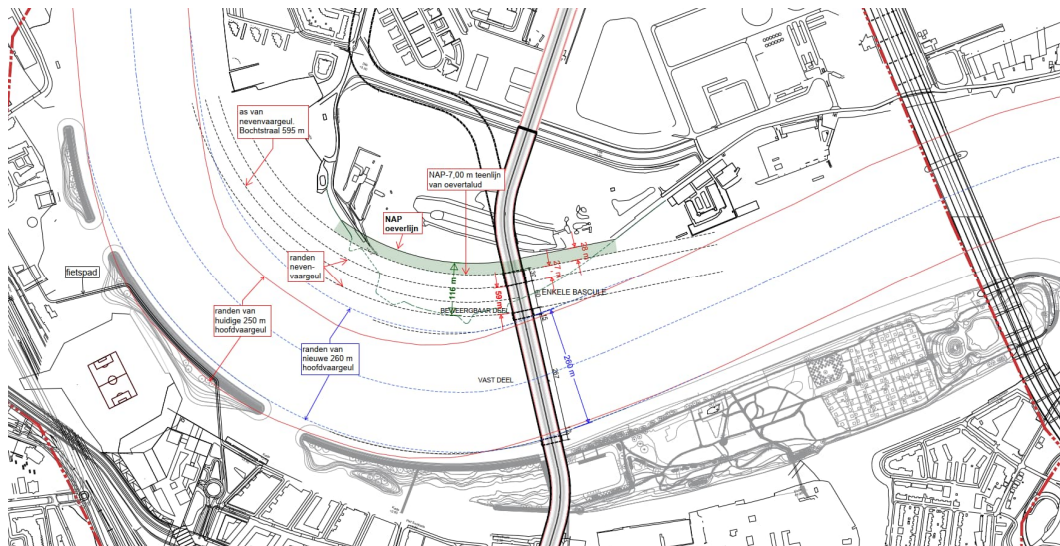
Figuur B.3 Inpassingstekening van brug Bocht A laag



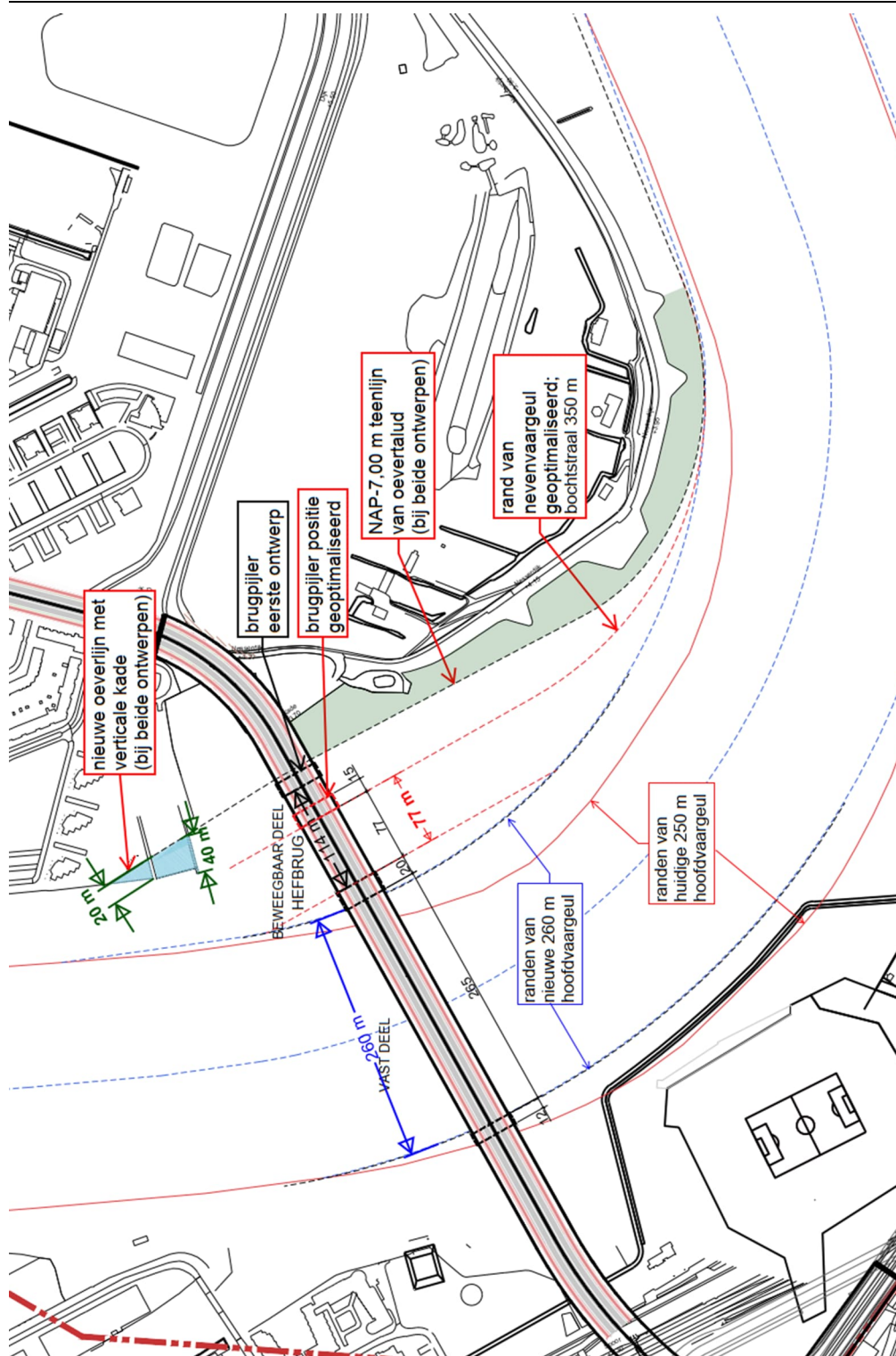
Figuur B.5 Inpassingstekening van brug Bocht B laag



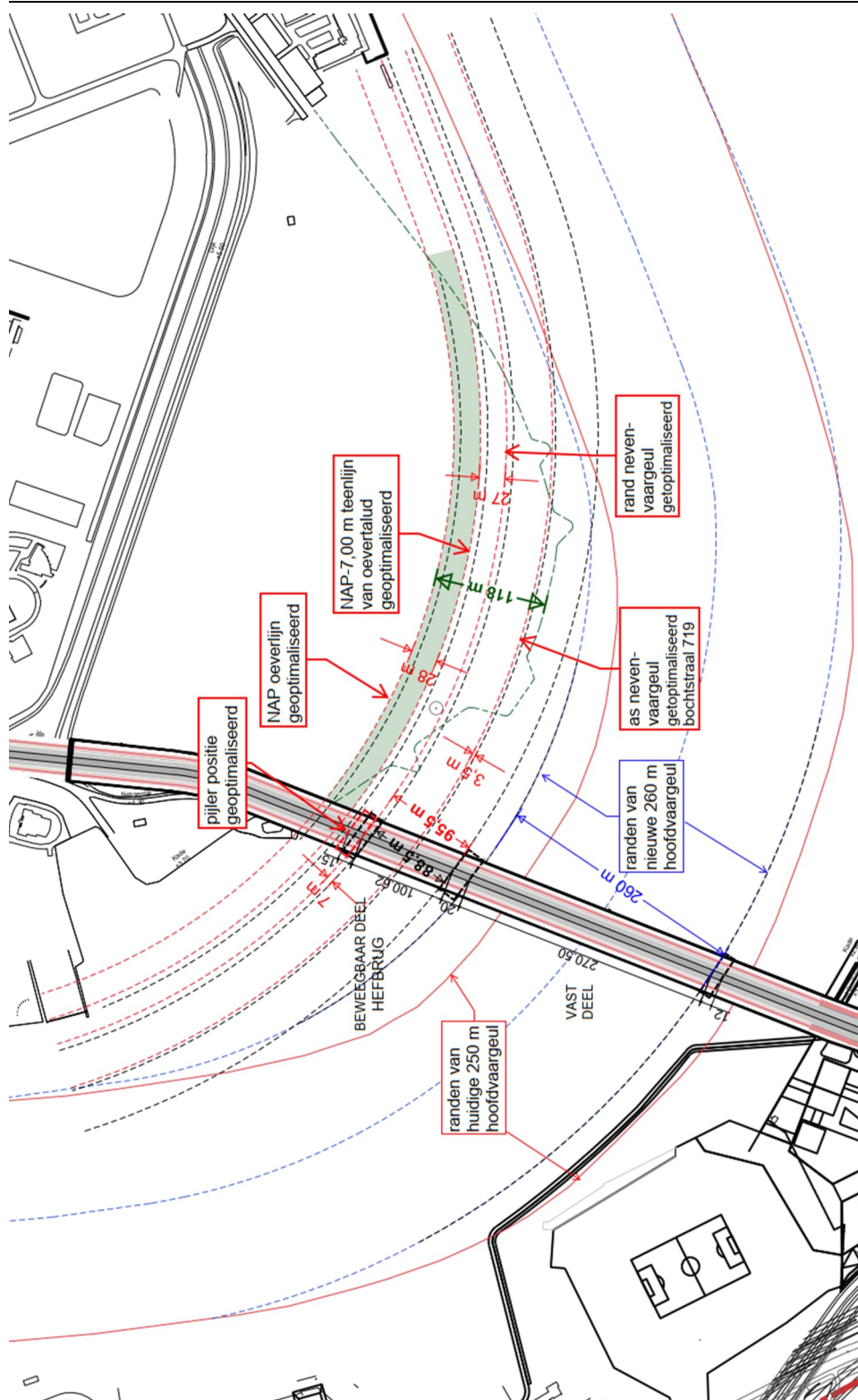
Figuur B.6 Inpassingstekening van brug Bocht B hoog



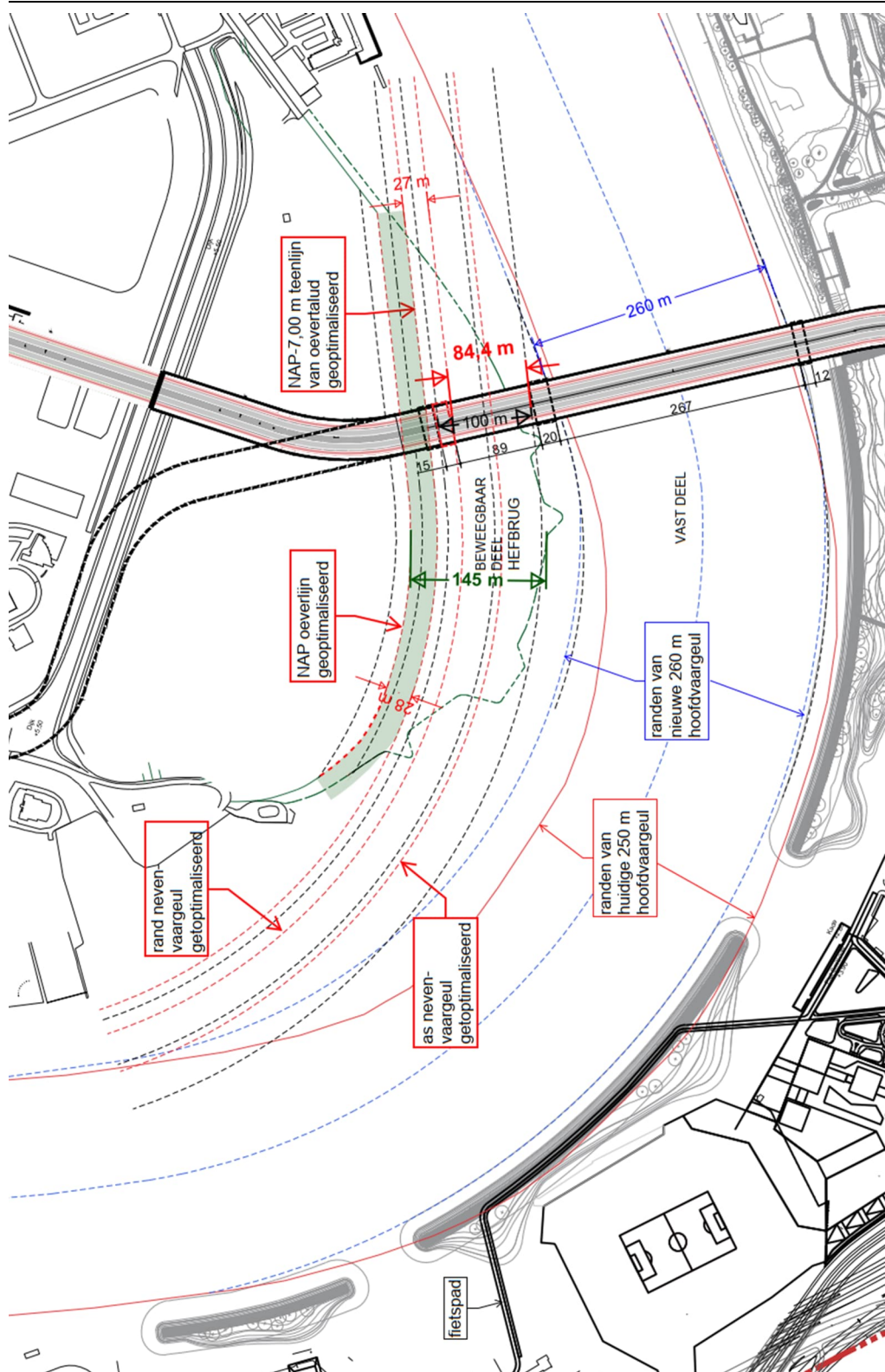
Figuur B.1 Complete geometrie rivierbocht tot Brienoordbrug met brug Bocht B hoog



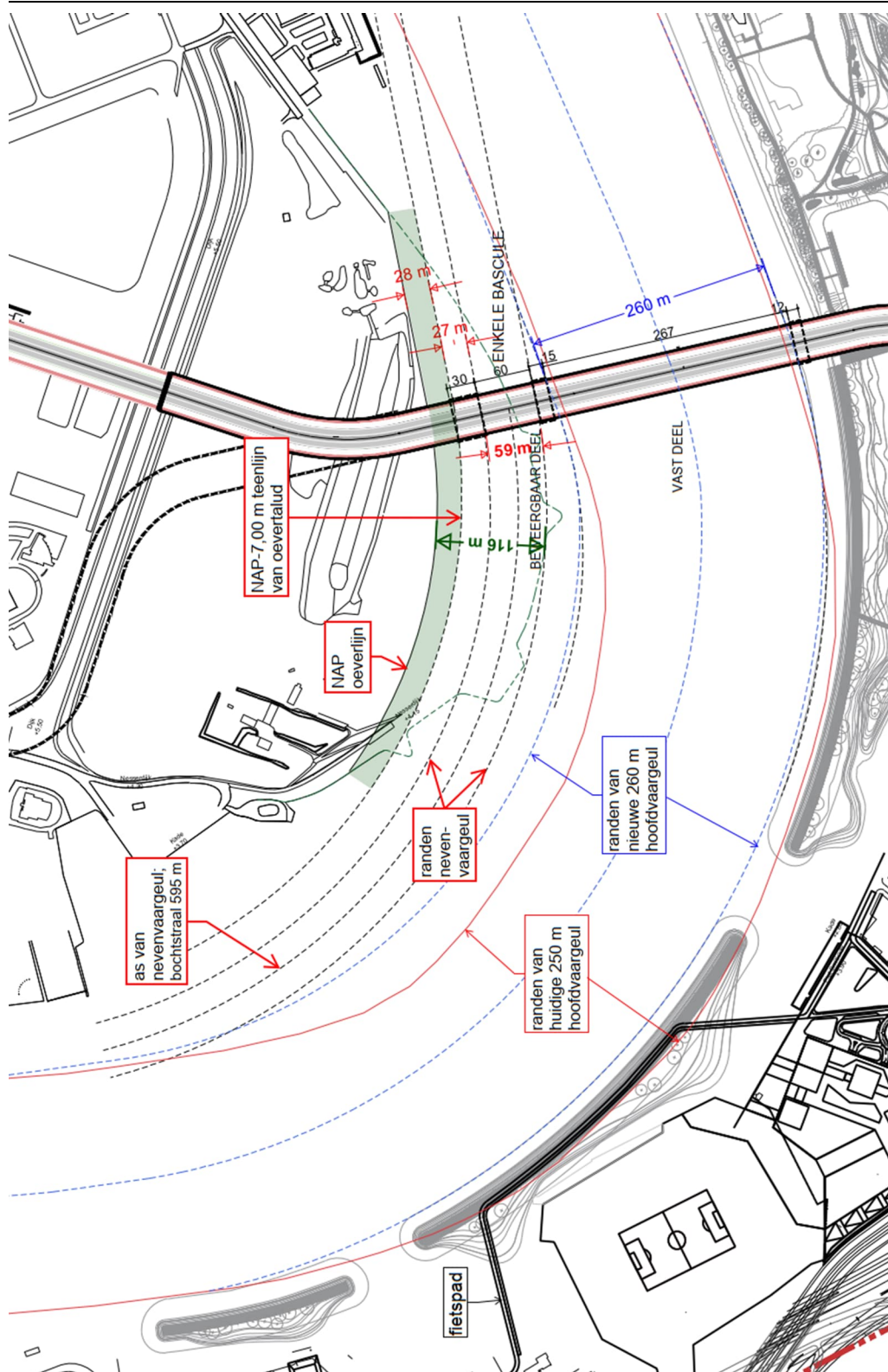
Figuur B.2 Inpassingstekening van brug West laag



Figuur B.3 Inpassingstekening van brug Bocht A laag



Figuur B.5 Inpassingstekening van brug Bocht B laag



Figuur B.6 Inpassingstekening van brug Bocht B hoog

Bijlage 2 Beschikbaarheid van tijpoorten

Deze bijlage is een aanvulling op paragraaf 8, conclusies beschikbaarheid tijpoorten.

Volgens de geldende praktijk en richtlijnen zijn er tijpoorten met een maximum stroomsnelheid van 2 knoop (1 m/s) meestrooms, geldend voor zelfstandig varende zeeschepen tot 149 meter lengte, en zijn er tijpoorten met een maximum stroomsnelheid van 0,5 knoop (0,25 m/s) meestrooms of tegenstrooms voor grotere zeeschepen en voor bijzondere transporten (van bijvoorbeeld een casco van een groot zeeschip). De tijpoorten van 0,5 knoop bevinden zich nabij of rond de kentering van vloed naar eb of van eb naar vloed. Deze periodes met maximaal 0,5 knoop stroming hebben een betrekkelijk korte duur, die afhankelijk is van de hydraulische condities van het getij en de rivierafvoer (en de windconditie op zee). Het is op voorhand niet zeker dat voldoende lange tijpoorten met maximaal 0,5 knoop stroming gevonden kunnen worden zijn.

De algemene conclusie van MARIN met betrekking tot de beschikbaarheid van tijpoorten met maximaal 0,5 knoop voorstrooms voor het gesimuleerde casco transport luidt [Ref. 7]: “Een passage van de Van Brienoordbrug, nieuwe brug en de Koningshaven gedurende één enkel tij is mogelijk, mits de hydraulische condities (rivierafvoer en getij) zo zijn dat er een tijpoort te vinden is die lang genoeg is voor deze vaart en mits de bedieningsregimes (openingstijden) van de bruggen onderling op elkaar afgestemd zijn”.

De beschikbaarheid van tijpoorten is door MARIN feitelijk alleen beoordeeld voor de hydraulische condities waarvoor nautische simulaties zijn uitgevoerd. Deze condities zijn (gemiddeld) springtij in combinatie met een (extreem) hoge of een (extreem) lage rivierafvoer (die 2,7% van de tijd wordt over- of onderschreden). Bij de simulaties is de hoge rivierafvoer als regel toegepast bij van afvarende scheepvaart met ebstroming, en de lage rivierafvoer bij opvarende scheepvaart met vloedstroming. De als regel toegepaste extreme afvoer resulteert in verhoogde maximale stroomsnelheden tijdens respectievelijk eb en vloed.

De beschikbaarheid van tijpoorten met maximaal 0,5 knoop voorstrooms voor het casco transport is door MARIN als volgt beoordeeld:

- a) Voor transport in de afvaart tijdens ebstroming is er bij de (als regel toegepaste) extreem hoge rivierafvoer geen voldoende lange tijpoort gevonden. Er is wel een voldoende lange tijpoort gevonden bij extreem lage rivierafvoer.
- b) Voor een transport in de opvaart tijdens vloedstroming is er bij de (als regel toegepaste) extreem lage rivier wel een voldoende lange tijpoort gevonden.

Deze conclusies geven nog geen zekerheid over de beschikbaarheid van 0,5 knoop tijpoorten bij veel vaker voorkomende gemiddelde rivierafvoeren:

ad a) Bij gemiddelde rivierafvoer zijn de maximale ebsnelheden groter dan bij extreem lage rivierafvoer, zodat de beschikbare tijdpoort waarschijnlijk korter is dan bij beoordeelde extreem lage rivierafvoer.

ad b) Bij gemiddelde rivierafvoer zijn de maximale vloednelheden lager dan bij extreem lage afvoer, op grond waarvan in eerste instantie een langere beschikbare tijdpoort wordt verwacht dan bij beoordeelde extreem lage afvoer. Echter dit is niet vanzelfsprekend, want uit vergelijking van de stroomsnelheidsgrafieken bij hoge en bij lage rivierafvoer blijkt dat deze grafieken rond de vloed-eb kentering een verschillende vorm hebben, waardoor bij hoge rivierafvoer tegen de verwachting in de beschikbare tijdpoort korter is dan bij de lage rivierafvoer.