



BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

MIRT-project Stadsbrug, OV en station Stadionpark, Rotterdam

Kwalitatieve nautische beschouwing stadsbrug

Rapport nr. : 35647-1-MO-rev.1
Datum : 31 oktober 2024
Versie : rev.1
Eindrapport

MIRT-project Stadsbrug, OV en station Stadionpark, Rotterdam

Kwalitatieve nautische beschouwing stadsbrug

Opdrachtgever : MIRT- project Stadsbrug, OV en station Stadionpark Rotterdam
Projectorganisatie
T.a.v. V. Timmermans
Westersingel 12, Rotterdam

Gerapporteerd door : Ir. M. van der Wel
Ir. F.A. Doorn

Paraaf management :



Versie	Datum	Status	Gecontroleerd door
Rev.0	20 augustus 2024	Concept	Ir. D. ten Hove
Rev.1	31 oktober 2024	Definitief	

INHOUD**PAGINA**

TABELLEN EN FIGUREN	III
1 INLEIDING	4
1.1 Probleemstelling	4
1.2 Doel van het onderzoek.....	5
1.3 Leeswijzer	5
2 UITGANGSPUNTEN	6
3 BESCHRIJVING EN BEOORDELING VARIANTEN RECHT EN GEDRAAID	7
3.1 Introductie	7
3.2 Restricties voor maatgevend binnenvaartschip door beweegbaar deel	7
3.3 Restricties voor maatgevend zeeschip door beweegbaar deel.....	9
3.4 Zichtlijnen.....	11
3.5 Beoordeling stromingspatronen.....	13
3.6 Oriëntatie vaste overspanning.....	15
3.7 Samenvatting.....	16
4 GEVOELIGHEID ONTWERPPARAMETERS	17
4.1 Introductie	17
4.2 Gevoeligheid ontwerpparameters	17
4.3 Wachtplaatsvoorzieningen	18
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21
REFERENTIES.....	23

TABELLEN EN FIGUREN

Tabellen

Tabel 3-1:	Naam, oriëntatie en bochtstraal van de varianten.	7
Tabel 3-2:	Factoren voor bochttoeslag conform Richtlijnen Vaarwegen 2020.	8
Tabel 3-3:	Minimaal benodigde doorvaartbreedte [m] voor het maatgevende binnenvaartschip.	8
Tabel 3-4:	Toeslagen vaarbaanbreedte voor het maatgevende zeeschip.	10
Tabel 3-5:	Totaal benodigde doorvaartbreedte in termen van scheepsbreedte.	10
Tabel 3-6:	Totaal benodigde doorvaartbreedte voor het maatgevende zeeschip.	11
Tabel 3-7:	Doorvaartbreedte en restricties maatgevend zeeschip (zonder sleepbootassistentie, uniforme wind en stroming).	11
Tabel 3-8:	Beoordeling varianten Recht en Gedraaid vanuit nautisch perspectief.	16

Figuren

Figuur 1-1:	Principe schetsen van de variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).	4
Figuur 1-2:	Zoekgebied alternatieven.	5
Figuur 3-1:	Bepaling van de zichtlijnen in de bocht van De Esch voor een opvarend en afvarend schip...	12
Figuur 3-2:	Zichtlijnen Variant: Gedraaid.	12
Figuur 3-3:	Zichtlijnen Variant: Recht.	13
Figuur 3-4:	Maximale vloed bovenste 1,5m ($Q=1.019\text{m}^3/\text{s}$) variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).	14
Figuur 3-5:	Maximale ebstroom bovenste 1,5m ($Q=5.162\text{m}^3/\text{s}$) variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).	14
Figuur 3-6:	Dwarsstroming en -gradiënt tijdens vloed voor variant Recht (links) en Gedraaid (rechts). ..	14
Figuur 3-7:	Gradiënt en stroomnaad tijdens eb voor variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).	15
Figuur 3-8:	Oriëntatie doorvaartopening en pijlers voor variant recht (links) en gedraaid (rechts).	15
Figuur 4-1:	Wachtplaats voor beroepsvaart (links) [Ref.1, Richtlijn Vaarwegen 2020] en locatie van de meerpalen zeeschepen conform OCIMF en [Ref. 8] (rechts).	19
Figuur 4-2:	Zoekgebied wachtplaatsvoorziening (links) en locatie wachtplaats afvaart (rechts), ingetekend op ENC met brug bocht A laag/breed, conform eerder onderzoek [Ref. 3].	20
Figuur 4-3:	Zoekgebied wachtplaatsvoorziening (links) en locatie wachtplaats opvaart (rechts), ingetekend op ENC met brug bocht A laag/breed, conform eerder onderzoek [Ref. 3].	20

1 INLEIDING

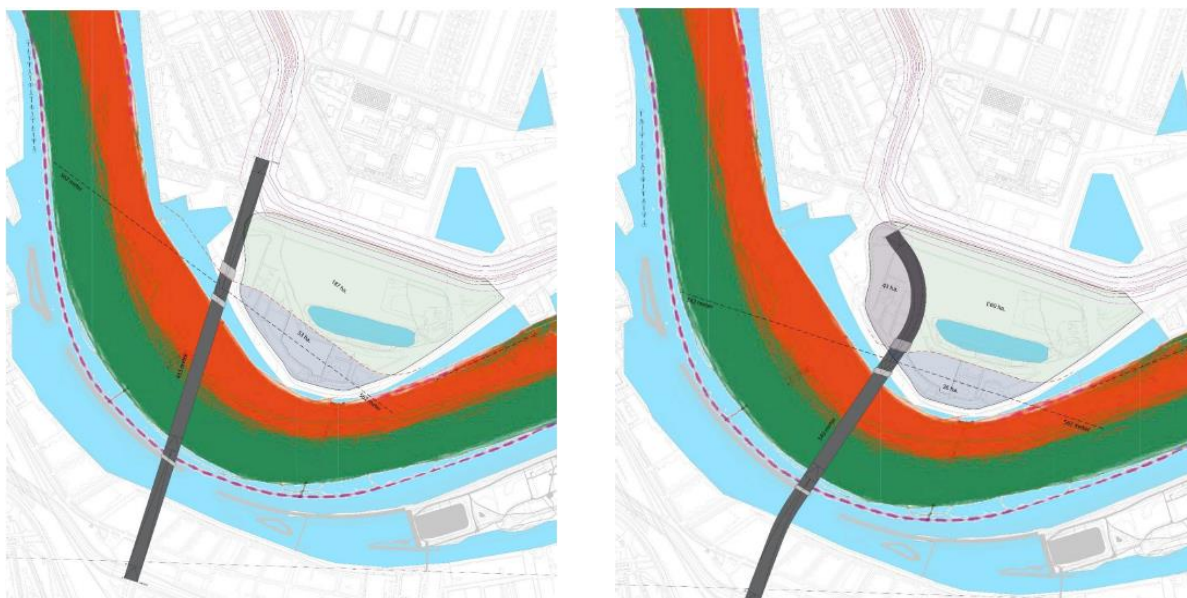
1.1 Probleemstelling

Na de MIRT-verkenningfase van een nieuwe oeververbinding in de regio Rotterdam, uitgevoerd in 2020-2022, is in het Bestuurlijk Overleg van november 2022 besloten om een nieuwe brug op locatie 'Bocht A' vast te stellen als bestuurlijke voorkeur. MARIN heeft in het kader van de MIRT-verkenning bijgedragen aan Zeef 1 en Zeef 2.

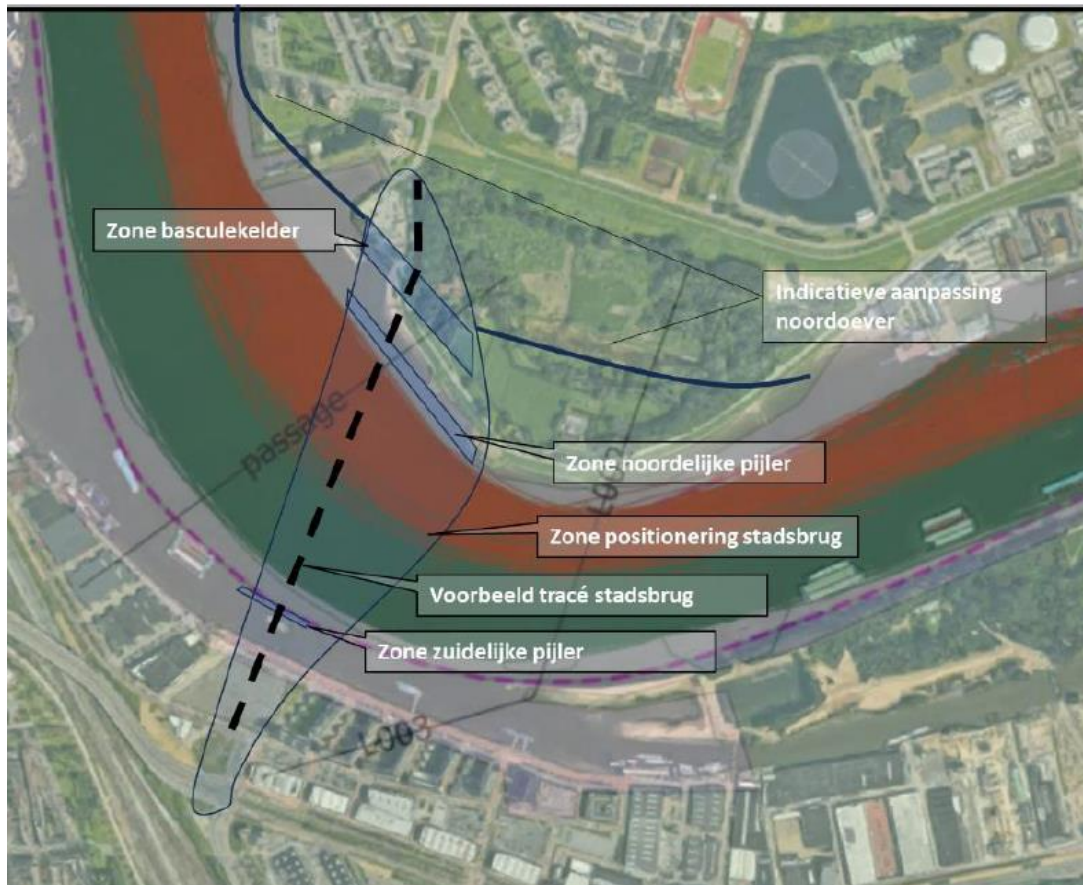
In 2023 is de kwartiermakersfase gestart. Op basis van deze fase zijn er twee schetsen van de stadsbrug tot stand gekomen. Met name de positie van de noordelijke brugpijlers is anders ten opzichte van het voorkeursalternatief (VKA). Uitgangspunt bij deze keus is dat het huidige gebruik van de rivier niet verder beperkt mag worden. Daarom zijn de pijlers in het ontwerp buiten het vaarwater geplaatst. Hierbij bestaat denkrichting één uit een gestrekte brug (variant Recht) langs polder de Esch tussen Olympiaweg-Nesserdijk en denkrichting twee uit een geroteerde brug (variant Gedraaid) door polder de Esch tussen Olympiaweg-Nesserdijk, zie Figuur 1-1.

Bij denkrichting één resulteert de aangepaste positie van de noordelijke pijler (buiten het feitelijk gebruikte vaarwater), in een gestrekte brug met een langere overspanning dan waar in de MIRT-verkenning mee is gerekend. Dat kan zowel technische als financiële consequenties hebben. De geroteerde brug (denkrichting twee) kan leiden tot een minder lange overspanning dan denkrichting één, maar nog steeds dan waarmee in de MIRT-verkenning is gerekend. Daarnaast lijkt de tweede denkrichting een aantal andere voordelen te hebben, zoals een meer loodrechte positionering t.o.v. de vaarweg en (mogelijk) een minder grote oeveraanpassing door een gewijzigde oriëntatie van het beweegbare deel.

Het zoekgebied voor de positionering van de stadsbrug wordt in Figuur 1-2 aangeduid als "zone positionering stadsbrug". De beschreven denkrichtingen worden gezien als de uiterste varianten die binnen het zoekgebied mogelijk zijn. Een goede kwalitatieve uitwerking en beoordeling van de nautische consequenties van deze uitersten is benodigd.



Figuur 1-1: Principe schetsen van de variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).



Figuur 1-2: Zoekgebied alternatieven.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is:

- Een kwalitatieve beoordeling van de twee varianten op haalbaarheid en risico's vanuit nautisch perspectief, zowel wat betreft het vaste deel van de overspanning als het beweegbare deel.
- Het in kaart brengen van de nautische consequenties van alternatieven die binnen hetzelfde zoekgebied (zone basculekelder, noordelijke pijler en zuidelijke pijler) vallen.
- Bij het in kaart brengen moeten de valkuilen en kansen van een brug bestaand uit zowel een beweegbaar deel als een vast deel worden beschouwd.
- Het adviseren op de vorm van afgraving vanuit nautisch oogpunt aan de hand van beoordeling van stroombeelden.

1.3 Leeswijzer

Het voorliggende rapport beschrijft achtereenvolgens:

- Hoofdstuk 2: Uitgangspunten
- Hoofdstuk 3: Beschrijving en beoordeling varianten Recht en Gedraaid
- Hoofdstuk 4: Gevoeligheid ontwerpparameters
- Hoofdstuk 5: Conclusies en aanbevelingen

2 UITGANGSPUNTEN

De beide ontwerpen (en sub-varianten ertussen) zullen kwalitatief beoordeeld worden, waarbij de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- De doorvaartbreedte van het vaste brugdeel is breder geworden t.o.v. eerder onderzoek, hierbij overspant het vaste deel de gehele (bestaande) vaargeul.
- De vaarwegklasse is VIb, met als maatgevend binnenvaartschip een “dubbel” koppelverband van 185x22,8 meter (Va schip met 3 bakken).
- De doorvaartbreedte in het vaste deel moet geschikt zijn voor een gelijktijdige passage van twee maatgevende binnenvaartschepen en een klasse Va schip van 110x11,4 meter.
- De vrije doorvaarthoogte in het vaste deel moet voldoende zijn voor 4-laags containervaart (met toeslag stuurhuthoogte). De doorvaarthoogte is daarom tenminste +15.56m NAP over de volle breedte van de vaarweg.
- De doorvaartbreedte van het beweegbare brugdeel is 60 meter (enkele bascule).
- Het maatgevende zeeschip, zijnde een container feeder van 149x22,6 meter, wordt begeleid door maximaal 2 sleepboten. De passage van het traject Erasmusbrug – Van Brienenoordbrug dient hierbij in één tij gemaakt te worden.

Op basis van het voortgangsoverleg gehouden op 11 juli 2024 zijn de volgende aanvullende uitgangspunten meegegeven:

- “Dubbele koppelverbanden” (klasse Va schip met drie bakken) en/of Rijnmaxschepen met meer dan 4 lagen containers worden geacht om te varen via de Oude Maas. Daarom is het zeeschip maatgevend voor bepaling van de doorvaartbreedte in het beweegbare brugdeel.
- Voor de wachtplaatsvoorziening is het zeeschip ook maatgevend.

Uit het voorgaande komen de volgende aandachtspunten voor het onderzoek naar voren:

- De doorvaartbreedte in het beweegbare deel resulteert in restricties voor zowel binnenvaart als zeevaart. In deze fase zal met behulp van handberekeningen (aan de hand van de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 1]) in combinatie met voorgaand simulatieonderzoek [Ref 2] en [Ref 3]) de mate van restricties worden ingeschat (zie Hoofdstuk 3).
- De oriëntatie van het vaste brugdeel en beweegbaar brugdeel resulteert in een andere bochtstraal en beschikbare lengte over de vaarweg om op te lijnen.
- De oeverafgraving heeft consequenties op het stromingspatroon voor en na de brug. De stromingspatronen worden vanuit nautisch oogpunt beoordeeld door MARIN. De stromingsberekeningen brengen inzichtelijk wanneer de hoofdstroming loslaat en voor meer dwarsvariatie langs de baan van het schip zorgt. Het stromingspatroon wordt hierbij beïnvloedt door de vormgeving van de oeverafgraving.
- Voor beide varianten worden de zichtlijnen uitgewerkt. De zichtlijnen zijn in Zeef 1 uitgewerkt voor alleen de vaste brug. In dit onderzoek worden de zichtlijnen voor zowel het beweegbare deel als vaste deel beschouwd.
- Indicatief zullen locaties voor wachtplaatsen worden aangegeven. De locaties zullen worden bepaald aan de hand van de richtlijnen vaarwegen. Het nagaan of de locaties voldoen qua diepte etc. vormt geen onderdeel van de beoordeling.

3 BESCHRIJVING EN BEOORDELING VARIANTEN RECHT EN GEDRAAID

3.1 Introductie

De tekeningen van de brugvarianten zijn (na eerste aanpassingen) op 3 juni 2024 aangeleverd in:

- 3e_Stadsbrug_Variant_Verdraaiing_20240524.pdf
- 3e_Stadsbrug_Variant_Recht_20240524.pdf

Deze tekeningen bevatten de zone voor sleepboten (en daardoor aangepaste oeverlijnen) alsmede de contour van het zoekgebied (conform Figuur 1-2). De oriëntatie van het beweegbare en vaste brugdeel van de uiterste varianten, die binnen het zoekgebied mogelijk zijn, zijn opgenomen in Tabel 3-1.

In eerder onderzoek [Ref 2] voor een nieuwe brug op de locatie 'Bocht A' was de oriëntatie van de doorvaartopening 126-306°N met een bijbehorende bochtstraal van 750 meter. Vanwege de langere overspanning van de vaste brug is de bochtstraal op de as van de doorvaartopening van het beweegbare deel nu kleiner.

Tabel 3-1: Naam, oriëntatie en bochtstraal van de varianten.

Variant	Oriëntatie beweegbaar en vast deel	Bochtstraal [m]
Recht	127-307°N	560
Gedraaid	108-288°N	736

In de opkomende paragrafen wordt het volgende besproken:

- Paragraaf 3.2: Restricties voor maatgevend binnenvaartschip door beweegbaar deel
- Paragraaf 3.3: Restricties voor maatgevend zeeschip door beweegbaar deel
- Paragraaf 3.4: Zichtlijnen
- Paragraaf 3.5: Beoordeling stromingspatronen
- Paragraaf 3.6: Oriëntatie vaste overspanning
- Paragraaf 3.7: Samenvatting

3.2 Restricties voor maatgevend binnenvaartschip door beweegbaar deel

Weliswaar is tijdens het voortgangsoverleg op 11 juli 2024 meegegeven dat het zeeschip maatgevend is (aanvullend uitgangspunt, zie Hoofdstuk 2), maar om de consequenties van de keus voor 60 m doorvaartbreedte in het beweegbare deel goed in beeld te brengen worden in deze paragraaf voor de volledigheid ook de restricties voor het maatgevende binnenvaartschip uitgewerkt. De restricties voor het zeeschip worden uitgewerkt in Sectie 3.3.

De methodologie om de doorvaartbreedte te berekenen voor maatgevende binnenvaartschepen is analoog aan de methodiek zoals door MARIN gehanteerd in Zeef 1, zie [Ref 2]. In verband met de manoeuvreereigenschappen van de binnenvaartschepen in combinatie met de relatief grote kielspeling van deze schepen in vergelijking met de zeevaart worden de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 1] gehanteerd. Aan de hand van de Richtlijnen Vaarwegen 2020 is vast te stellen wat de beschikbare doorvaartbreedte zou moeten zijn voor een maatgevend binnenvaartschip. De gevonden waarde kan vervolgens worden vergeleken met de doorvaartbreedte van 60 meter, wat als uitgangspunt voor dit onderzoek is vastgesteld.

Als maatgevend binnenvaartschip is vastgesteld een "dubbel" koppelverband van 185x22,8 meter (Va schip met 3 bakken). De voor een rechte vaarweg voorgeschreven doorvaartbreedte is minimaal 2,2xB, waarbij B de breedte van het schip is. Dat komt voor het "dubbel" koppelverband dus neer op een minimale doorvaartbreedte van 50,2 meter.

Omdat schepen door hun opstuurhoek in een bocht een grotere breedte innemen, is voor de vlote en veilig vaart in bochten een grotere vaarwegbreedte nodig dan in rechte vaarwegvakken. Bij een booghoek β groter dan 30 graden (zoals in de bocht van De Esch) geldt als bochttoeslag op de vaarwegbreedte in het kielvlak van het schip:

$$\Delta B_1 = C_1 \cdot L^2 / R \quad \text{en} \quad \Delta B_2 = C_2 \cdot L^2 / R$$

Waarbij:

- L = Lengte van het beschouwde schip of samenstel
- R = Bochtstraal
- C_1 = Factor voor bochtverbreding voor het geladen schip
- C_2 = Factor voor bochtverbreding voor het lege schip
- ΔB_1 = Bochttoeslag voor het geladen schip
- ΔB_2 = Bochttoeslag voor het lege schip

De factoren C_1 en C_2 zijn, conform Tabel 26 en Tabel 27 uit de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 1], voor een CEMT-klasse VIb schip gelijk aan de in Tabel 3-2 opgenomen waarden. Tussen de stromingsklassen mag voor C_1 en C_2 lineair geïnterpoleerd worden.

Tabel 3-2: Factoren voor bochttoeslag conform Richtlijnen Vaarwegen 2020.

CEMT-klasse VIb	Opvarend of geen langsstroom	Langsstroom 1,0 m/s	Langsstroom 2,0 m/s
C_1 (geladen schip)	0,30	0,35	0,40
C_2 (leeg schip)	0,45	0,60	0,85

De minimale benodigde doorvaartbreedte (met als restrictie opvarend dan wel geen stroming) voor beide varianten en voor zowel het lege als geladen koppilverband, is gegeven in Tabel 3-3. De minimaal benodigde doorvaartbreedte is voor alle combinaties breder dan 60 meter, wat de maximale overspanning is voor een enkele bascule. Opgemerkt wordt dat het windeffect niet is meegenomen in de berekening, waardoor de minimale doorvaartbreedte groter wordt.

Tabel 3-3: Minimaal benodigde doorvaartbreedte [m] voor het maatgevende binnenvaartschip.

Variant		Recht		Gedraaid	
Beladingsgraad schip		Leeg	Geladen	Leeg	Geladen
Rechtstand (2.2xB)	[m]	50,2	50,2	50,2	50,2
Minimale bochttoeslag (geen stroming / tegenstroom)	[m]	27,5	18,3	20,9	14,0
Benodigde doorvaartbreedte	[m]	77,7	68,5	71,1	64,2

Het maatgevende geladen en lege koppilverband kunnen beide onder geen enkele voorwaarde veilig door het beweegbare brugdeel varen. Een doorvaartbreedte van 60 meter (enkele bascule) is ontoereikend voor het maatgevende binnenschip.

3.3 Restricties voor maatgevend zeeschip door beweegbaar deel

Voor het vaststellen van de benodigde doorvaartbreedte voor het maatgevende zeeschip wordt de methodiek van de PIANC-richtlijnen [Ref 5] gevolgd. De benodigde vaarbaanbreedte (W_M) wordt door PIANC opgebouwd uit een basis manoeuvreerbreedte (W_{BM}) die karakteristiek is voor het schip en een aantal toeslagen afhankelijk van de lokale omstandigheden. Om vervolgens tot een benodigde doorvaartbreedte te komen, wordt een veiligheidsmarge voor de brugpijlers hierbij opgeteld.

Voor het bepalen van de basis manoeuvreerbreedte is uitgegaan van $1,0 \times B$ (scheepsbreedte). Deze breedte is kleiner dan wat PIANC voorschrijft. Omdat de PIANC-richtlijnen bedoeld zijn voor het ontwerpen van vaarwegen wordt in de basis manoeuvreerbaan de vetergang van het schip verdisconteerd. Omdat de brug een korte lengte heeft, wordt de vetergang niet meegenomen in de breedte van de basis manoeuvreerbaan.

Het maatgevende zeeschip is een container feeder van 149x22,6x5,8 meter, waarvoor de volgende toeslagen worden meegenomen (e.e.a. wordt samengevat in Tabel 3-4):

- *Vaarsnelheid:*

Voor de vaarsnelheid (door het water) wordt verondersteld dat er langzaam gevaren wordt, i.e. tussen de 5 tot 8 knopen. Hiervoor dient geen breedtetoeslag te worden opgenomen;

- *Wind:*

Wat betreft representatieve windomstandigheden wordt uitgegaan van Beaufort 4 – 7 (“moderate” windklimaat). Boven op de variatie die al in de basis manoeuvreerbreedte verwerkt is, betekent dit een extra breedtebeslag van $0,6B$ ten gevolge van wind bij genoemde vaarsnelheden;

- *Dwarsstroom:*

Er hoeft geen rekening gehouden te worden met een dwarsstroomcomponent, aangezien deze klein zal zijn ($< 0,2$ kn) [Ref 6];

- *Langsstroom:*

Er wordt een toeslag toegepast van $0,2B$ bij een langstroom tussen 1,5 en 3 knopen horend bij een vaarsnelheid door het water van minder dan 8 kn [Ref 6];

- *Golven:*

In maatgevende omstandigheden hebben golven geen significante invloed, dus geen toeslag nodig;

- *Navigatiehulpmiddelen:*

De navigatiehulpmiddelen, zowel de vaarwegmarkering als de instrumentatie aan boord, maar ook de lokale kennis van de schippers en kapiteins zijn goed. Volgens de PIANC-richtlijnen is geen toeslag nodig;

- *Bodem:*

Bij een waterdiepte/diepgang verhouding van meer dan 1,5 is de toeslag $0,0B$. Over het algemeen zal het zeeschip met een kleinere waterdiepte/diepgang verhouding passeren. Bij een kleinere waterdiepte/diepgang verhouding is de toeslag bij een bodem bestaande uit zand en slib $0,1B$;

- *Diepte:*

De diepgang van de container feeder is voor dit onderzoek vastgesteld op 5,8m zodat er minimaal 10% kielspeling beschikbaar is voor alle condities. Bij deze waterdiepte/diepgangsverhouding hoort een toeslag van $0,4B$;

- *Gevaarlijke lading:*

Niet van toepassing;

- **Bochttoeslag:**

Alle bovengenoemde toeslagen gelden voor rechte geulen. In bochten komt daar nog een extra padbreedte bij voor het bochtvaren, veroorzaakt door de drifthoek van het schip. De bochttoeslag conform PIANC geldt voor een constante bochtstraal, waarbij de bocht wordt gemaakt met een constante roerhoek en dus constante giersnelheid. De toeslag is afhankelijk van de bochtstraal en de lengte van het schip:

$$\Delta W_{\text{bocht}} = \frac{L_{oa}^2}{aR_c}$$

Waarbij:

- L_{oa} = Lengte van het beschouwde schip
- R_c = Bochtstraal
- a = Factor afhankelijk van type schip ($a = 8$)

De factor a die gehanteerd wordt in de formule is afhankelijk van het type schip. Voor slanke schepen zoals de container feeder is de bochttoeslag kleiner ($a = 8$) dan voor volle schepen zoals bulkcarriers ($a = 4,5$).

De totale bochttoeslag is 0,22B voor de variant Recht en 0,17B voor de variant Gedraaid.

Tabel 3-4: Toeslagen vaarbaanbreedte voor het maatgevende zeeschip.

Variant	Recht Toeslag [B]	Gedraaid Toeslag [B]
Basis manoeuvreerbreedte (W_{BM})	1,0	1,0
Vaarsnelheid	0,0	0,0
Wind	0,6	0,6
Dwarsstroom	0,0	0,0
Langsstroom	0,2	0,2
Golven	0,0	0,0
Navigatiehulpmiddelen	0,0	0,0
Bodem	0,1	0,1
Waterdiepte/diepgang verhouding	0,4	0,4
Gevaarlijke lading	0,0	0,0
Bochttoeslag	0,22	0,17
Basis vaarbaanbreedte (W_M)	2,52	2,47

De basis vaarbaanbreedte (W_M) is opgebouwd uit de som van de toeslagen (Tabel 3-4) vermenigvuldigd met de scheepsbreedte van 22,6 meter. Om tot de totaal benodigde doorvaartbreedte te komen, wordt bovendien een veiligheidsmarge van 0,5B meegenomen voor de brugpijlers (zie ook Tabel 3-5):

$$W_{\text{totaal}} = W_M + W_{\text{pijlers}}$$

Tabel 3-5: Totaal benodigde doorvaartbreedte in termen van scheepsbreedte.

Variant	Recht Toeslag [B]	Gedraaid Toeslag [B]
Basis vaarbaanbreedte (W_M)	2,52	2,47
Veiligheidsmarge pijlers	0,5	0,5
Totale doorvaartbreedte	3,02	2,97

Bij het bepalen van de totale doorvaartbreedte is rekening gehouden met de tijpoortregeling. De totaal benodigde doorvaartbreedte voor de varianten Recht en Gedraaid zijn opgenomen Tabel 3-6.

Tabel 3-6: Totaal benodigde doorvaartbreedte voor het maatgevende zeeschip.

Variant	Recht	Gedraaid
Totale doorvaartbreedte	68,3 m	67,1 m

Het maatgevende zeeschip kan onder de huidige tijpoortregeling niet veilig door het beweegbare brugdeel varen. Een doorvaartbreedte van 60 meter (enkele bascule) is ontoereikend. Hierbij wordt opgemerkt dat de berekening is uitgevoerd zonder sleepbootassistentie (kleinere opstuurhoek, minder doorvaartbreedte) en zonder variatie in stroming en wind (grotere opstuurhoek, meer doorvaartbreedte).

Wanneer een strikter tijpoort wordt gehanteerd, van geen langsstroming, dan is de benodigde doorvaartbreedte nog steeds groter dan 60 meter, namelijk 62,5m voor de variant Recht en 63,7m voor Gedraaid. Alleen wanneer de restrictie 0 knopen langsstroming gecombineerd met minder dan 4 Bft. dwarswind wordt opgelegd, is een doorvaartbreedte van 60 meter toereikend, zie Tabel 3-7. Deze situatie komt in de praktijk amper voor, want het moment waarop de langsstroom verwaarloosbaar is, i.e. tijdens de kentering van het tij, is maar van korte duur.

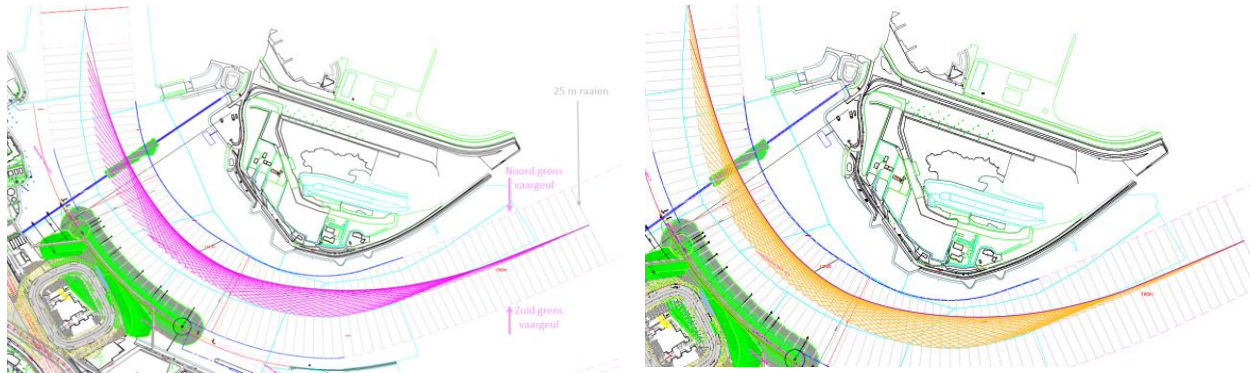
Aanbevolen wordt om op basis van simulatieonderzoek de effecten van sleepbootassistentie en onregelmatigheid in wind en stroming verder te kwantificeren. Hierbij kunnen de mate van restrictie (stroming en/of windlimiet) behorende bij een vaste doorvaartbreedte verder worden onderzocht. Op basis van de mate van restrictie kan vervolgens worden bepaald of een passage van de diverse bruggen op het traject (Koningshaven – Van Brienenoordbrug) binnen één tijpoort mogelijk is.

Tabel 3-7: Doorvaartbreedte en restricties maatgevend zeeschip (zonder sleepbootassistentie, uniforme wind en stroming).

Variant	Recht	Gedraaid
2 knopen langsstroom met 4 – 7 Bft. dwarswind	68,3m	67,1m
0 knopen langsstroom met 4 – 7 Bft. dwarswind	62,5m	63,7m
2 knopen langsstroom met < 4 Bft. dwarswind	60,3m	61,5m
0 knopen langsstroom met < 4 Bft. dwarswind	55,8m	56,9m

3.4 Zichtlijnen

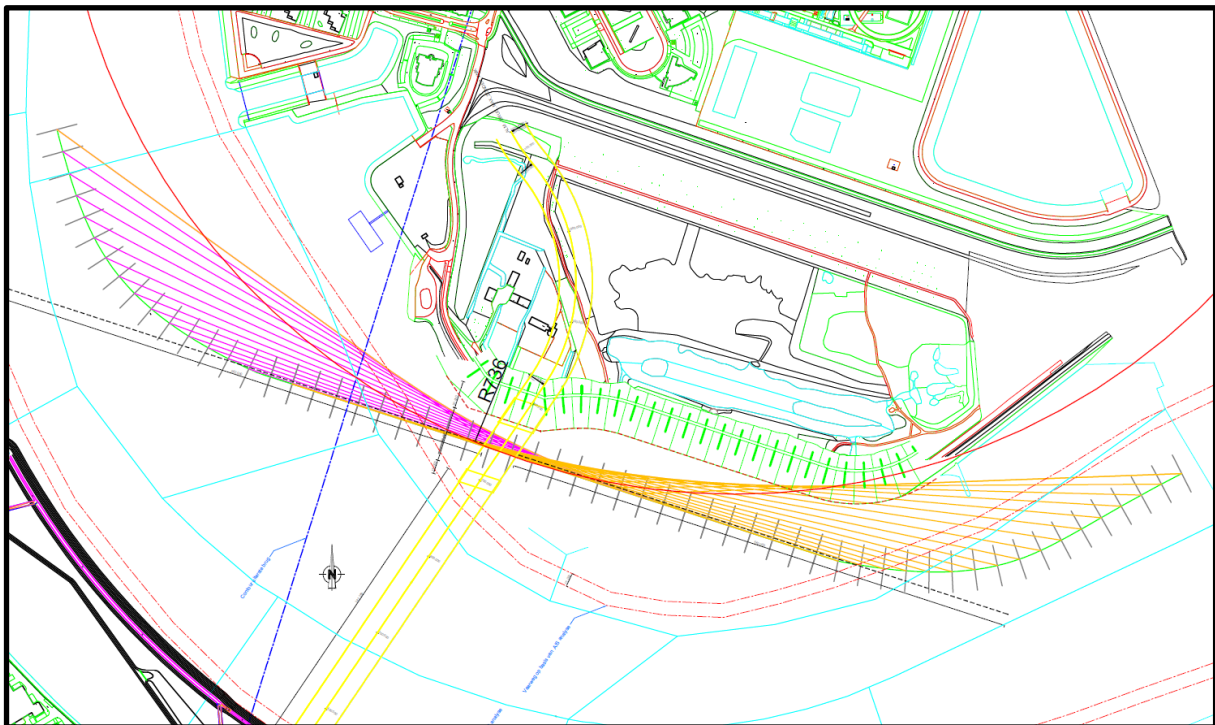
De zichtlijnen voor passage van het vaste deel, conform de definitie zoals gehanteerd in de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 1], zijn reeds uitgewerkt in eerdere onderzoeken [Ref 2]. De minimaal benodigde zichtlijnen voor passage van het vaste deel worden niet beïnvloed door de varianten en zijn in het gehele zoekgebied hetzelfde, zie [Ref 2]. De in [Ref 2] bepaalde zichtlijnen zijn opgenomen in Figuur 3-1.



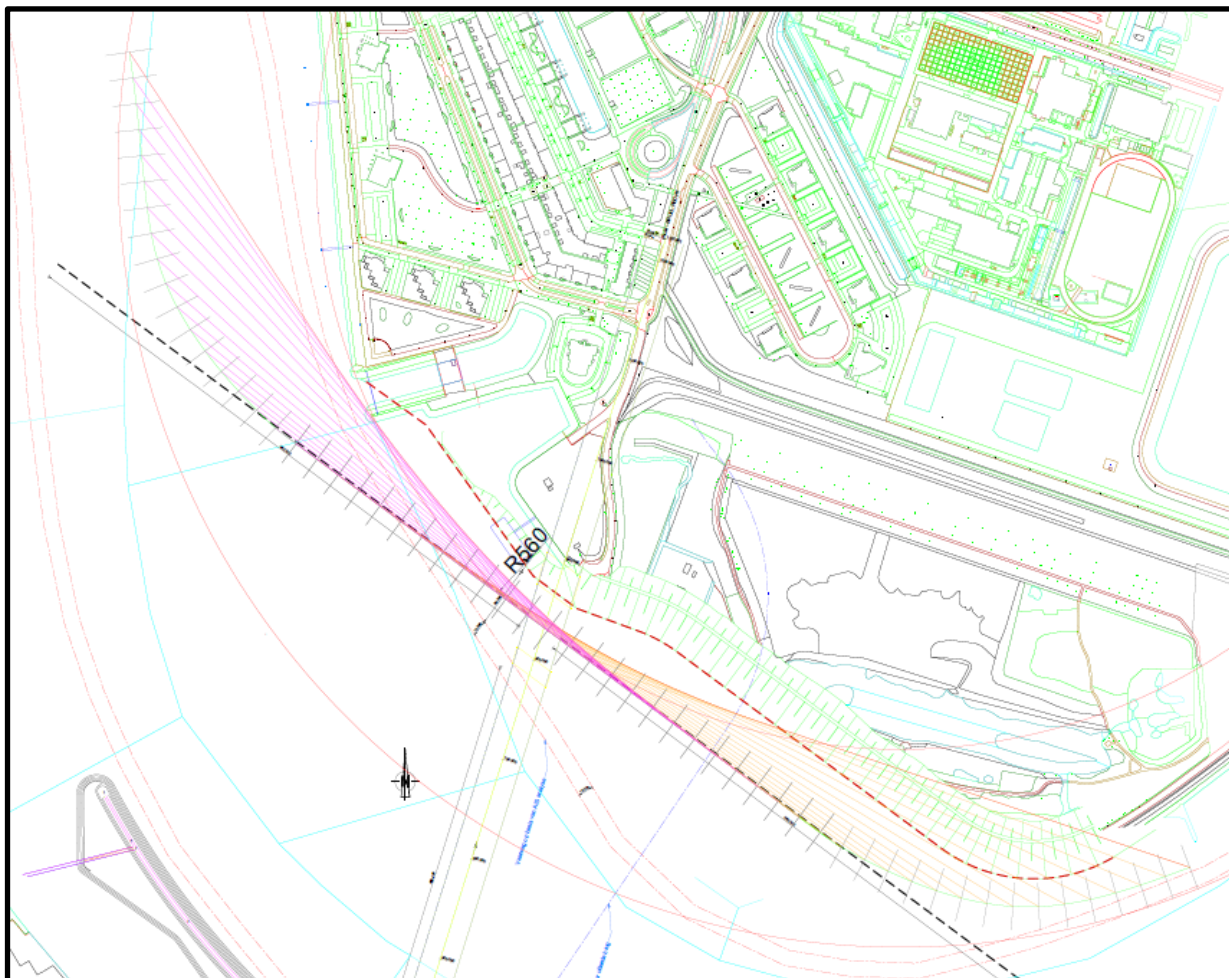
Figuur 3-1: Bepaling van de zichtlijnen in de bocht van De Esch voor een opvarend en afvarend schip.

De zichtlijnen voor passage van het beweegbare deel van de brug voor de varianten Gedraaid en Recht zijn opgenomen in respectievelijk, Figuur 3-2 en Figuur 3-3. Voor het oplijnen naar de brug is een inschatting gemaakt van de vaarbaan van het schip, op basis van eerder simulatieonderzoek. Langs de vaarbaan is de zichtlijn van 600meter uitgezet (zie Richtlijn Vaarwegen 2020 [Ref 1]).

Op basis van de zichtlijnen wordt zichtbaar, dat de oeveraanpassing voor de variant Gedraaid voldoende zicht biedt, terwijl in de afvaart bij de variant Recht (oranje zichtlijnen) de brug laat in zicht komt en dat bij deze vorm van de oeveraanpassing begroeiing aan de wal laag gehouden moet worden. In het algemeen kan worden gesteld dat qua zichtlijnen de variant Gedraaid de voorkeur heeft, omdat de brug eerder in zicht komt.



Figuur 3-2: Zichtlijnen Variant: Gedraaid.



Figuur 3-3: Zichtlijnen Variant: Recht.

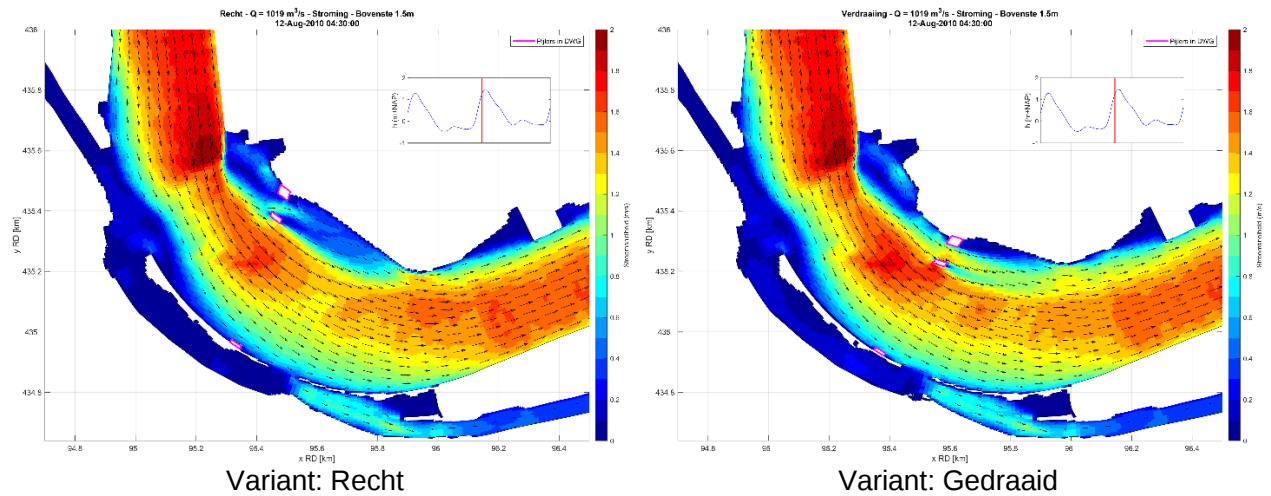
3.5 Beoordeling stromingspatronen

Door Svašek Hydraulics zijn stromingsberekeningen gemaakt voor de varianten Recht en Gedraaid inclusief bijbehorende oeverafgravingen. De berekeningen zijn vastgelegd in [Ref 6]. Morfologische bodemveranderingen vormen hierbij geen onderdeel van de berekeningen. De uitgevoerde berekeningen zijn, onder dezelfde uitgangspunten als in eerder onderzoek, gemaakt voor:

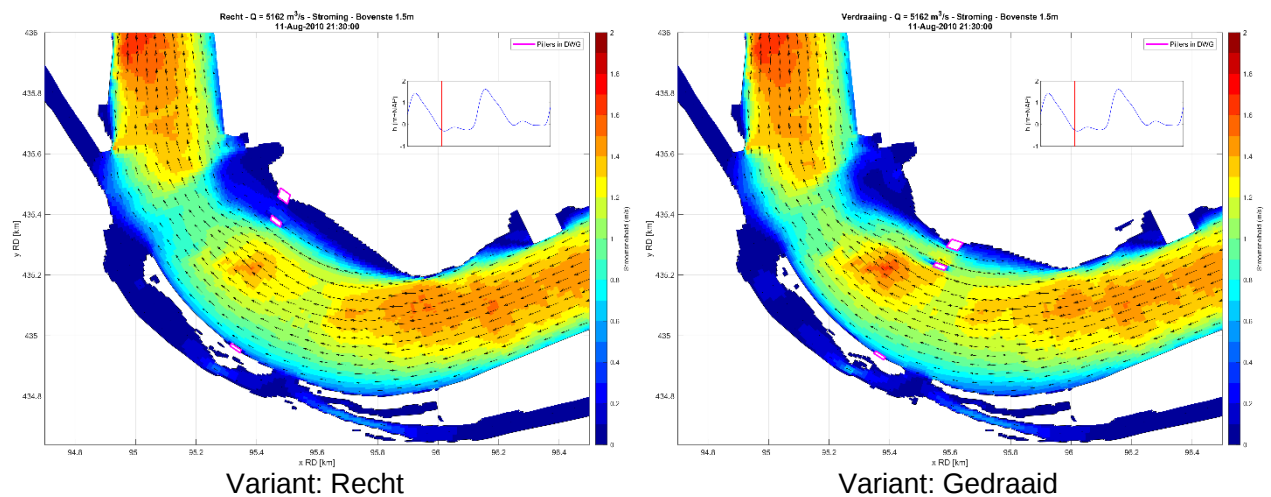
- Extreme vloedstroming: Gemiddeld springtij met een lage rivierafvoer die 10 dagen per jaar (2,3% van de tijd) wordt overschreden (afvoer van 1019 m³/s bij Lobith).
- Extreme ebstroming: Gemiddeld springtij met een hoge rivierafvoer die 10 dagen per jaar (2,3% van de tijd) wordt overschreden (afvoer van 5162 m³/s bij Lobith).

De uitvoer bestaat uit stroombeelden per uur over één dag. In Figuur 3-4 en Figuur 3-5 zijn de momenten van respectievelijk maximale vloedstroming en ebstroming opgenomen, voor beide varianten. Op basis van de berekende stromingspatronen in de bovenste 1,5 meter en de laag op 4 meter wordt geconcludeerd dat het stromingspatroon door de variant Recht meer egaal is in vergelijking met de variant Gedraaid. In de opvaart over de vloed staat er meer dwarsstroom tussen de brugpijlers, zie Figuur 3-6. Het onregelmatige stromingspatroon voor en na de brug, zal resulteren in continue opsturen en corrigeren (door een variërend giermoment). Over de eb is te zien dat er een stroomnaad voor het beweegbare deel van de Rechte variant loopt, zie Figuur 3-7. Bij de variant Gedraaid is de stroming meer continue. Net als bij de vloed, zal de variatie in de stroming resulteren in continue corrigeren en bijsturen, waardoor het oplijnen naar het beweegbare deel wordt bemoeilijkt. De stromingsneer (luwte met wisselende richtingen), zal ook zorgen voor een variabel giermoment, waardoor het veilig uit de wal varen bemoeilijkt wordt.

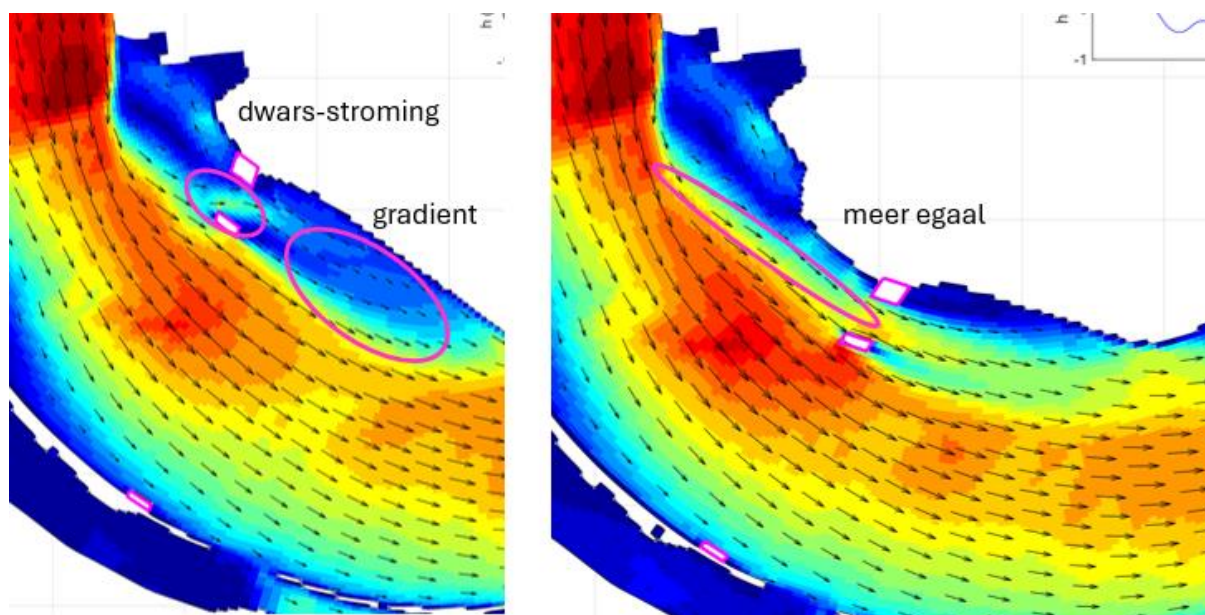
Bij de variant Gedraaid is het ophouden van het schip voor het beweegbare deel van de brug lastiger in vergelijking met de variant Recht. Het ophouden van het schip is alleen van belang tijdens storing aan de brug en daarom niet maatgevend. De variant Gedraaid is nautisch daarmee gunstiger.



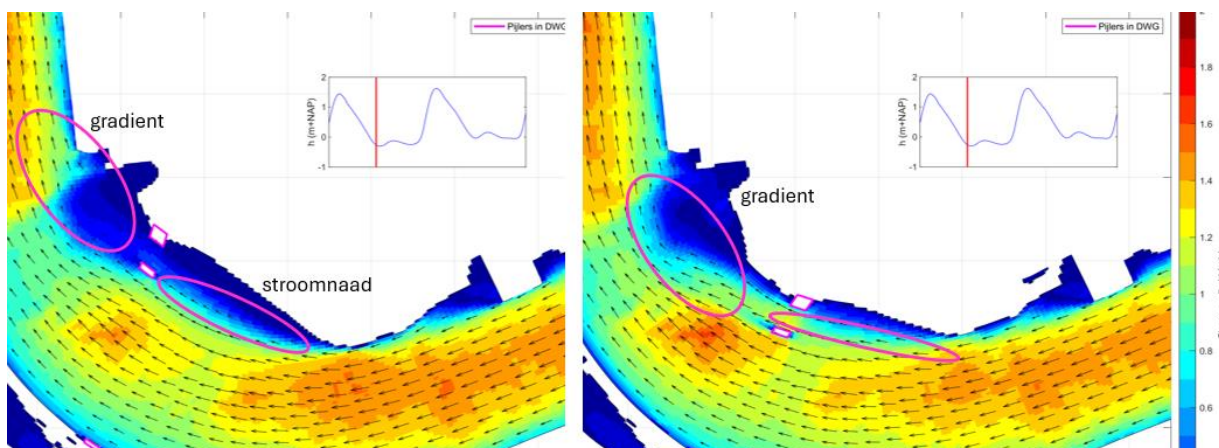
Figuur 3-4: Maximale vloed bovenste 1,5m ($Q=1.019\text{m}^3/\text{s}$) variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).



Figuur 3-5: Maximale ebstroom bovenste 1,5m ($Q=5.162\text{m}^3/\text{s}$) variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).



Figuur 3-6: Dwarsstroming en -gradiënt tijdens vloed voor variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).



Figuur 3-7: Gradiënt en stroomnaad tijdens eb voor variant Recht (links) en Gedraaid (rechts).

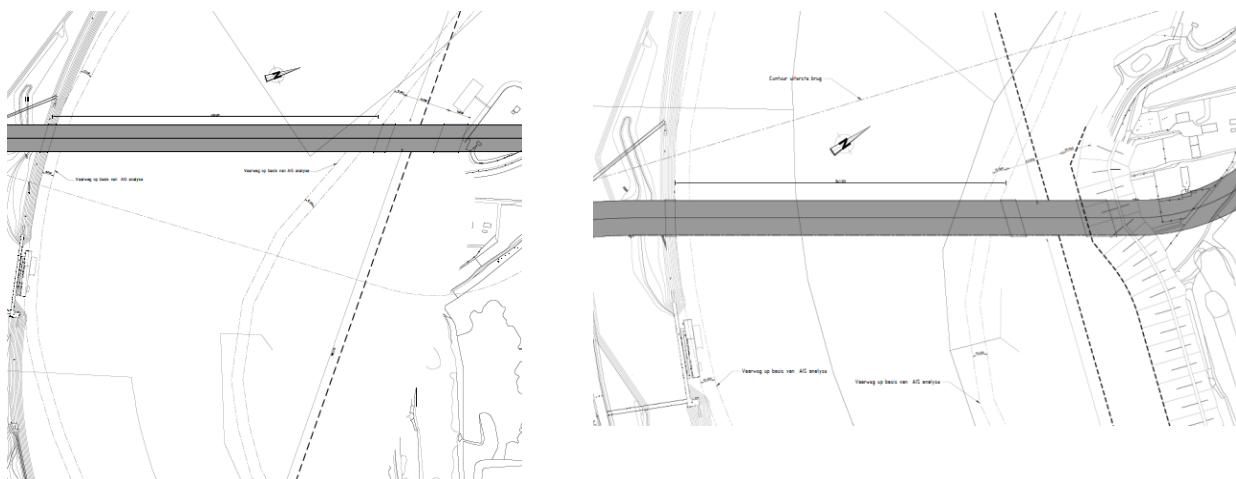
3.6 Oriëntatie vaste overspanning

De vaste overspanning in de variant Gedraaid staat meer loodrecht op de middenas van de vaarweg in vergelijking met de variant Recht. Hierbij is de vaarweg gedefinieerd als zijnde het ruimtegebruik uit de AIS-analyse. De meer loodrechte oriëntatie van de variant Gedraaid is dus nautisch gunstiger.

Conform Paragraaf 5.2.2 van de Richtlijnen Vaarwegen 2020 is het bezwaarlijk als de as van de doorvaartopening (beweegbaar brugdeel) en de as van de vaarweg niet evenwijdig lopen. Dit is vanwege ongelijkmatige hydrodynamische krachten (zuiging) en een misleidende visuele geleiding.

De midden doorvaartopening in de bocht van De Esch ligt ver uit de midden as van de vaarweg. Daarom is het bezwaar uit de Richtlijnen Vaarwegen 2020 minder bezwaarlijk. Vanwege de locatie van de brug in een bocht is er sowieso sprake van een misleidende visuele geleiding. Een deel van de visuele geleiding zal moeten komen uit de vormgeving van het remmingwerk en aanvaarbescherming van de noordelijke brugpijler en basculekelder. De vormgeving van het remmingwerk en aanvaarbescherming vormen geen onderdeel van de voorliggende studie noch van het voorgaande onderzoek. De vormgeving van het remmingwerk en aanvaarbescherming vormen een aandachtspunt bij verdere uitwerking.

De pijlers moeten bij voorkeur evenwijdig aan de midden doorvaart opening van het beweegbare brugdeel worden geplaatst. Hieraan wordt, conform de ontwerptekeningen, bij beide varianten voldaan (en daarop is de oeverafgraving afgestemd), zie Figuur 3-8.



Figuur 3-8: Oriëntatie doorvaartopening en pijlers voor variant recht (links) en gedraaid (rechts).

De vaste overspanning gaat over de gehele vaarweg (vaarweg gebaseerd op 1 jaar AIS-analyse). Conform de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 1] voldoet de vaste brug daarmee aan het uitgangspunt dat de vaste brug de gehele vaarweg moet overspannen. Ook aan de aanvullende eisen van de CCR wordt voldaan, omdat de vaarweg breder is dan de vaargeul. In eerder nautisch onderzoek [Ref 3] en [Ref 4] overspande de vaste brug alleen de vaargeul. Uit dit onderzoek bleek dat de vaste overspanning van 260-265 meter (over de vaargeul) te klein is, bij een ontmoeting van twee maatgevende binnenvaartschepen en een schip van een CEMT-klasse lager. De lengte van de vaste overspanning over de vaarweg is bij de variant Gedraaid 340 meter en variant Recht 425 meter. Naar verwachting geeft de vaste overspanning voldoende ruimte voor een maatgevende ontmoeting van twee maatgevende binnenvaartschepen en een CEMT Klasse va schip van 110x11,4 m.

3.7 Samenvatting

De beoordeling van de kwalitatieve beschouwing van de varianten Recht en Gedraaid is samenvattend opgenomen in Tabel 3-8. De variant Gedraaid scoort op alle aspecten beter of gelijkwaardig aan de variant Recht. De variant Gedraaid heeft daarom vanuit nautisch perspectief de voorkeur.

Tabel 3-8: Beoordeling varianten Recht en Gedraaid vanuit nautisch perspectief.

Variant	Recht	Gedraaid
Oriëntatie vaste overspanning	0	+
Stroming vast deel	0	0
Zichtlijnen vast deel	0	0
Doorvaartbreedte beweegbaar deel	-	0
Zichtlijnen beweegbaar deel	0	+
Stroming beweegbaar deel	-	0
Totaal	-/0	+/0

4 GEVOELIGHEID ONTWERPPARAMETERS

4.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden een gevoeligheidsanalyse van de ontwerpparameters van de brug (Paragraaf 4.2) en de wachtplaatsvoorzieningen in kaart gebracht (Paragraaf 4.3). De gevoeligheid van de ontwerpparameters gaat in op twee aspecten:

- Het in kaart brengen van de nautische consequenties van alternatieven die binnen hetzelfde zoekgebied (zone bascule kelder, noordelijke pijler en zuidelijke pijler) vallen.
- Bij het in kaart brengen moeten de valkuilen en kansen van een integrale brug (beweegbaar en vast) worden beschouwd.

4.2 Gevoeligheid ontwerpparameters

Zuidelijke pijler

De zuidelijke pijler vormt een ankerpunt van de vaste brug. De zuidelijke pijler dient hierbij loodrecht op de vaarweg as te staan. Uit de analyse van de oriëntatie van de vaste overspanning (Paragraaf 3.6) volgt dat de variant Gedraaid de voorkeur heeft. Hieruit volgt indirect dat de zuidelijke pijler in cohesie met de noordelijke pijler zoveel mogelijk oostelijk wordt geplaatst. De zuidelijke pijler heeft geen invloed op de oeveraanpassingen in de binnenbocht. De zuidelijke pijler heeft alleen invloed op het vaste brugdeel en geen grote invloed op het geheel. De locatie en oriëntatie van de zuidelijke pijler zijn in de variant Gedraaid geoptimaliseerd. Veranderingen ten opzichte van deze locatie en rotatie zijn nautisch gezien ongunstig.

Noordelijke pijler

De noordelijke pijler vormt samen met de zuidelijke pijler de steunpunten voor het vaste brugdeel. De noordelijke pijler vormt samen met de basculekelder het beweegbare brugdeel. De noordelijke pijler is samen met de basculekelder qua locatie en oriëntatie van belang voor de oeverafgraving.

De noordelijke pijler dient buiten de vaarweg te staan, omdat anders afbreuk wordt gedaan aan het veiligheidsniveau van de vaste brug. Op basis van de zichtlijnen volgt dat een noordelijke pijler oostelijk in het zoekgebied de voorkeur heeft, omdat de brug in de afvaart dan eerder in zicht komt. Het oplijnen naar de brug wordt dan makkelijker. In de opvaart zijn de zichtlijnen minder van belang.

De oriëntatie van de noordelijke pijler is met name van belang voor de vormgeving van de oeveraanpassing. De oeveraanpassing bij de variant Gedraaid resulteert in een meer egaal stromingspatroon. Dit suggereert dat een oriëntatie 108-288°N (Variant Gedraaid) gunstiger is ten opzichte van een oriëntatie van 127-307°N (Variant Recht). Zie ook Figuur 3-6 en Figuur 3-7. Wat betreft gevoeligheid is de oriëntatie hierbij meer van belang dan de locatie, omdat de keus voor de oriëntatie van de brugpijler meer invloed heeft op de vormgeving van de oeveraanpassing dan de locatie.

Basculekelder

De basculekelder hoort direct bij de noordelijke pijler. De oriëntatie van de basculekelder dient hetzelfde te zijn als de noordelijke pijler, omdat er anders asymmetrische zuigingskrachten op het schip ontstaan (nautisch ongunstig). Hoe verder de noordelijke pijler en de basculekelder uit elkaar staan, hoe meer mogelijkheden er zijn tot passage van het beweegbaar brugdeel (het tijpoort wordt ruimer en er kunnen grotere schepen doorheen). De gevoeligheid van de voor de keus van locatie en oriëntatie van de basculekelder is minder groot dan de gevoeligheid voor de keus van locatie en oriëntatie van de noordelijke pijler. De keus voor de basculekelder heeft alleen invloed op het beweegbare brugdeel beïnvloedt. De keus voor de noordelijke pijler heeft invloed op zowel de vaste brug als het beweegbare brugdeel en is daarom vanuit een integraal oogpunt belangrijker.

Oeveraanpassing

De noordelijke pijler en de bascule kelder zijn bepalend voor de oeverafgraving. Hierbij is met name de oriëntatie van de pijlers van belang, omdat die resulteren in een dwarsstroming vlak voor de brug. De oeverafgraving zelf is van belang voor het globale stromingspatroon en waar de stroomnaad over de eb gaat lopen. Hierbij is, zoals eerder ook al benoemd, een oriëntatie 108-288°N (Gedraaid) gunstiger ten opzichte van een oriëntatie 127-307°N (Recht), omdat de stroomnaad dan niet voor het beweegbare brugdeel loopt. De locatie van de stroomnaad is met name van belang voor de doorvaarbaarheid van het beweegbare deel. De oeveraanpassing heeft een minder grotere invloed op de hoofdstroming door het vaste brugdeel.

Oriëntatie van de vaste overspanning

Een loodrechte kruising met de middenas van de vaarweg heeft de voorkeur. De meer loodrechte oriëntatie van de variant Gedraaid is daarmee nautisch gunstiger.

4.3 Wachtplaatsvoorzieningen

Bij een beweegbare brug horen ter weerszijden van de brug wachtplaatsen (Paragraaf 5.9.1, Richtlijnen Vaarwegen 2020, [Ref 1]). De vaarwegbeheerders mogen hierbij zelf bepalen met hoeveel wachtende schepen rekening gehouden dient te worden.

Door de vaarwegbeheerders is tijdens het voortgangsoverleg op 11 juli jl. aangegeven dat het maatgevende schip voor de wachtplaatsvoorziening een zeeschip is. De binnenvaartschepen passeren de vaste brug. Het maatgevende zeeschip betreft hierbij geen bijzonder transport, omdat wordt verondersteld dat deze zich (gecontroleerd) met sleepboten op kan houden.

De locatie van een wachtplaats is in principe aan stuurboordzijde (rechts) van het beweegbare brugdeel [Ref 1]. Hierbij is de optimale locatie aangegeven conform Figuur 4-1. Omdat het beweegbare brugdeel in de binnenbocht is gesitueerd op stromend water, is het aan de benedenstroomse zijde (centrumzijde, west van de brug), niet evident om de wachtplaats aan stuurboordzijde te plaatsen. De eisen gesteld aan een wachtplaats [Ref 1] zijn strikter en schrijven voor:

- Een schip moet vlot kunnen aanleggen en slaags komen voor de brug
- De wachtplaats mag geen hinder geven voor de doorgaande vaart
- De hoogte en de afstand van de meerpalen en de hoogte van de bolders moeten afgestemd zijn op de vaarwegklasse
- De bodem- en oeververdediging moet voldoende erosiebestendig zijn
- Voor kegelschepen gelden aanvullende afstandseisen

Op basis van de eerste eis is de voorkeurslocatie benedenstrooms van de brug aan de noordoever. Het scheepvaartverkeer wat gebruik moet maken van een wachtplaats aan de zuidoever, dient eerst de vaarweg te kruisen (over te steken) voordat ze kan oplijnen voor de doorvaartopening. Vanwege het kruisen en oplijnen naar het beweegbare brugdeel is het dus nautisch veiliger om de wachtplaats aan de benedenstroomse kant aan noordoever te plaatsen. Het wachtende schip kan dan makkelijker slaags komen voor de brug.

Opgemerkt wordt dat de beschikbare literatuur aangaande wachtplaatsen voor een brug gelimiteerd is. Een uitwerking voor binnenvaartschepen is gegeven in de Richtlijnen Rivieren 2020, [Ref 1]. Algemene PIANC-richtlijnen zijn valide voor binnenvaartschepen en stroomsnelheden tot 0,5m/s [Ref 7] en verwijzen hierbij onder andere door naar [Ref 1].

Voor richtlijnen ten aanzien van wachtplaatsen voor zeeschepen wordt gebruik gemaakt van [Ref 1], omdat hierbij het effect van stromend water wordt verdisconteerd. Deze richtlijnen gelden voor binnenvaartschepen, terwijl zeeschepen een langere vaarweglengte nodig zouden kunnen hebben om op te lijnen voor de brugdoorvaart. De hierna gevonden waarden worden daarom als ondergrens beschouwd en dienen aanvullend te worden getoetst middels simulatieonderzoek.

Omdat er een langsstroming staat van meer dan 0,5 m/s dienen de afstanden gecorrigeerd te worden. De relatieve afstand tot de brug (d/L) dient opgeschaald te worden met een factor k :

$$k = 1 + (v_c - 0,5)/v_s$$

Waarbij:

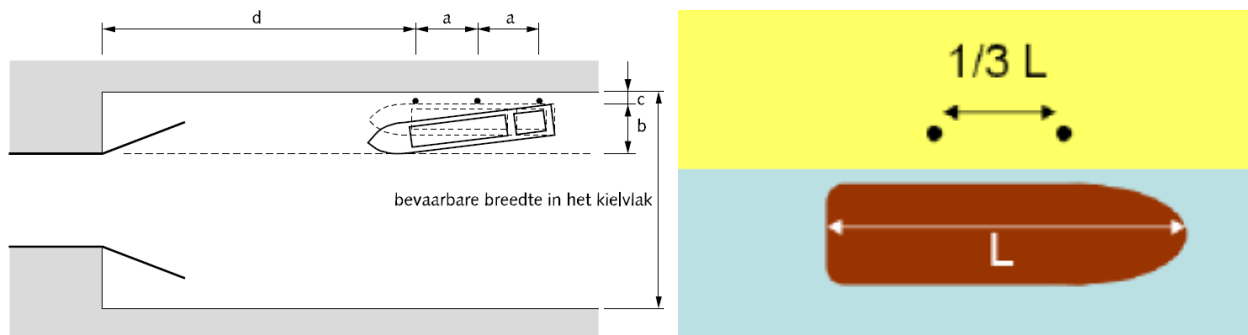
- V_c = maatgevende stroomsnelheid [m/s]
- V_s = maatgevende vaarsnelheid door het water bij de passage van de brug [m/s]

Op basis van voorgaand simulatieonderzoek [Ref 3] volgt voor het maatgevende zeeschip een snelheid van 4,5 knopen over de grond en 2,5 knopen door het water (over de vloed in de opvaart en over de eb in de afvaart). De stroomsnelheid is 2 knopen (conform tijpoortregeling). Hieruit volgt factor $k = 1,41$.

De relatieve afstand van wachtplaats tot brug is – zonder correctie met factor k – voor deze klasse vaarweg (VIb) gelijk aan 1,5 [Ref 1]. Een correctie met factor k resulteert in de relatieve afstand: $d/L = 1,41 \times 1,5 = 2,12 L$. De lengte van het maatgevend zeeschip is 150 meter, zie [Ref 3] en [Ref 4].

Hiermee wordt de minimale afstand tussen de brugpijlers (en basculekelder) en de eerste meerpaal van de wachtplaatsvoorziening 318 meter. De wachtplaatsvoorziening wordt bij voorkeur buiten de rode en groene lijn in Figuur 4-2 (links) geplaatst. De meest optimale plek voor de wachtplaats in de afvaart is hierbij westelijk van Alphonse, rond bolders 119-120, zie Figuur 4-2 (rechts). Dit is op meer dan 400 meter van het zoekgebied van de brug.

Op basis van DHMR [Ref 8] kan een minimale afstand tussen de meerpalen worden bepaald. De meerpalen van de wachtplaats (breasting dolphins) dienen op een onderlinge afstand van circa 1/3 van de totale lengte van het schip te staan. Hierbij mag een spreiding tussen de 0,25 en 0,40 L (scheepslengte) aangehouden worden. Deze spreiding is zodanig dat ook kleinere schepen veilig kunnen afmeren. De afstand tussen de fender palen dient daarom tussen 37,5 – 60 meter te zijn. Een prognose van de verkeersontwikkeling helpt in een definitieve keuze van de optimale afstand.

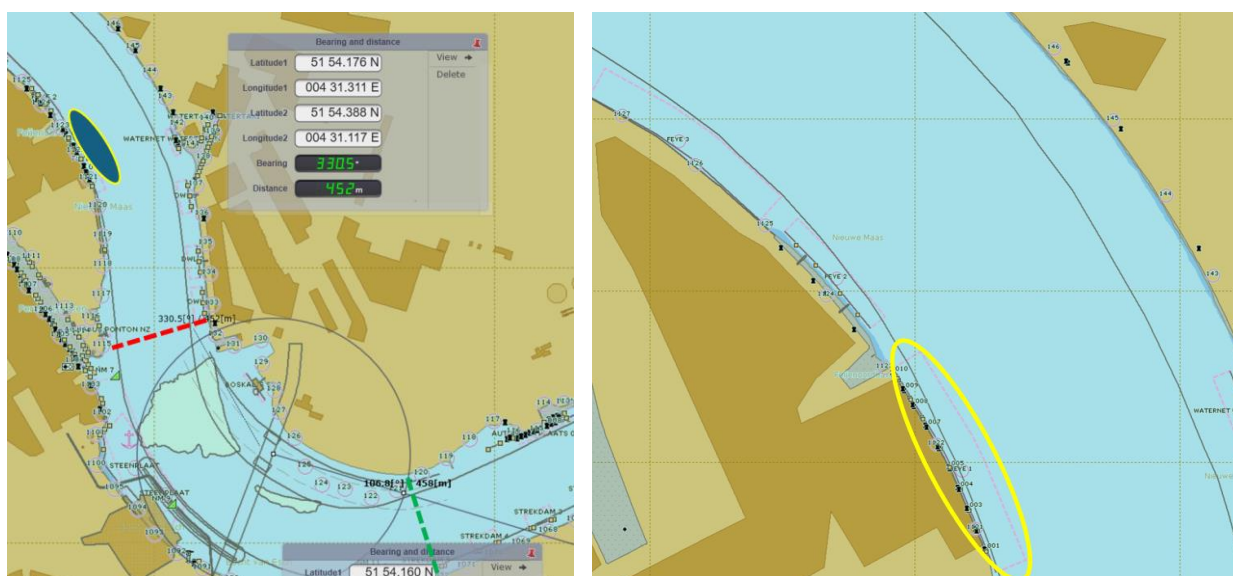


Figuur 4-1: Wachtplaats voor beroepsvaart (links) [Ref.1, Richtlijn Vaarwegen 2020] en locatie van de meerpalen zeeschepen conform OCIMF en [Ref. 8] (rechts).



Figuur 4-2: Zoekgebied wachtplaatsvoorziening (links) en locatie wachtplaats afvaart (rechts), ingetekend op ENC met brug bocht A laag/breed, conform eerder onderzoek [Ref. 3].

In tegenstelling tot wat eerder is opgemerkt, lijkt de meest geschikte plek voor een wachtplaatsvoorziening voor zeeschepen in de opvaart aan stuurboordzijde van het vaarwater te zijn. Aan bakboordzijde (rechteroever) zijn er veel wachtplaatsen voor binnenvaartschepen. Rond de Feyenoord kade aan de linkeroever, rond bolder 1121-1123, is de meest geschikte plek voor een wachtplaatsvoorziening, zie Figuur 4-2. Het baggervak is hierbij ruim langer dan 150 meter en op circa 1000 meter van het zoekgebied voor de brug. Deze afstand is voldoende om slaags te geraken, de vaarweg over te steken en op te lijnen voor het beweegbare brugdeel.



Figuur 4-3: Zoekgebied wachtplaatsvoorziening (links) en locatie wachtplaats opvaart (rechts), ingetekend op ENC met brug bocht A laag/breed, conform eerder onderzoek [Ref. 3].

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Inleiding

Na de MIRT-verkenningfase van een nieuwe oeververbinding in de regio Rotterdam, uitgevoerd in 2020-2022, is in het Bestuurlijk Overleg van november 2022 besloten om een nieuwe stadsbrug op locatie 'Bocht A' vast te stellen als bestuurlijke voorkeur.

In 2023 is de kwartiermakersfase gestart. Op basis van deze fase zijn er twee schetsen van de brug tot stand gekomen. Met name de positie van de noordelijke brugpijlers is anders ten opzichte van het voorkeursalternatief (VKA). Hierbij bestaat denkrichting één uit een gestrekte brug (variant Recht) langs polder de Esch tussen Olympiaweg-Nesserdijk en denkrichting twee uit een geroteerde brug (variant Gedraaid) door polder de Esch tussen Olympiaweg-Nesserdijk.

MARIN is gevraagd een kwalitatieve analyse uit te voeren. Het doel van de analyse is hierbij:

- Het kwalitatief beoordelen van de twee varianten op haalbaarheid en risico's vanuit nautisch perspectief.
- Het in kaart brengen van de nautische consequenties van alternatieven die binnen hetzelfde zoekgebied (zone basculekelder, noordelijke pijler en zuidelijke pijler) vallen.
- Het in kaart brengen van de valkuilen en kansen van een integrale brug (beweegbaar en vast).
- Het adviseren op de vorm van afgraving vanuit nautisch oogpunt aan de hand van beoordeling van stroombeelden.

In de kader van het onderzoek zijn er stromingsberekeningen uitgevoerd en de varianten beoordeeld. Op basis van het onderzoek worden de volgende conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven. De conclusies en aanbevelingen worden gegeven onder de genomen uitgangspunten zoals opgenomen in Hoofdstuk 2.

Conclusies

- Het maatgevende zeeschip kan onder de huidige bestaande tijpoortregeling niet veilig door het beweegbare brugdeel varen. Een doorvaartbreedte van 60 meter (enkele basculebrug) is daarvoor ontoereikend. Een oplossing is om de tijpoortregeling hier op aan te passen en strengere restricties aan de combinatie van stroom en wind op te leggen:
 - Wanneer voor het maatgevend zeeschip de restrictie 0 knopen langsstroming (en/of tegenstroming) in combinatie met minder dan 4 Bft. dwarswind wordt opgelegd, dan is een doorvaartbreedte van 60 meter wel toereikend. Hierbij wordt opgemerkt dat het effect van sleepbootassistentie (minder doorvaartbreedte) en onregelmatigheden in stroming en wind (meer doorvaartbreedte), niet meegenomen zijn in de berekeningen. Hiervoor is nader onderzoek nodig (zie de aanbevelingen).
- De variant Gedraaid heeft ten opzichte van de variant Recht nautisch de voorkeur. Het beweegbare brugdeel komt eerder in zicht (gunstigere zichtlijnen). Bij de variant Gedraaid horen gunstigere oeveraanpassingen. Deze oeveraanpassing resulteert in een gelijkmatiger stromingspatroon waardoor het oplijnen naar de brug makkelijker gaat (minder wisselingen in de stroming, waar continue voor opgestuurd moet worden).
- De variant Recht en bijbehorende oeveraanpassingen resulteren in een stroomnaad die precies voor het beweegbare deel van de brug staat. Dit is nautisch erg ongunstig, omdat het schip vlak voor de brug wordt weggezet.

- De vaste overspanning gaat over de gehele vaarweg (vaarweg gebaseerd op 1 jaar AIS-analyse). Conform de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 1] voldoet de vaste brug daarmee aan het uitgangspunt dat de vaste brug de gehele vaarweg moet overspannen. Ook aan de aanvullende eis van de CCR, dat de vaargeul vrij dient te zijn van obstakels die de vlotte en veilige vaart belemmeren, wordt voldaan, omdat de vaarweg breder is dan de vaargeul. In eerder nautisch onderzoek [Ref 3] en [Ref 4] overspande de vaste brug alleen de vaargeul. Uit dit onderzoek bleek dat de vaste overspanning van 260-265 meter (over de vaargeul) te klein is, bij een ontmoeting van twee maatgevende binnenvaartschepen en een schip van een CEMT-klasse lager. De lengte van de vaste overspanning over de vaarweg is bij de variant Gedraaid 340 meter en variant Recht 425 meter. Naar verwachting geeft de vaste overspanning voldoende ruimte voor dit type ontmoeting.
- De nautische beoordeling van de varianten Recht en Gedraaid zijn samenvattend opgenomen in onderstaande tabel:

Variant	Recht	Gedraaid
Oriëntatie vaste overspanning	0	+
Stroming vast deel	0	0
Zichtlijnen vast deel	0	0
Doorvaartbreedte beweegbaar deel	-	0
Zichtlijnen beweegbaar deel	0	+
Stroming beweegbaar deel	-	0
Totaal	-/0	+/0

- Uit een gevoeligheidsanalyse van ontwerpparameters blijkt dat met name de oriëntatie van de noordelijke pijler van belang is, wanneer de brug vanuit een integraal oogpunt wordt bekeken (vast deel en beweegbaar deel tezamen). De locatie van de bascule kelder volgt uit de oriëntatie van de noordelijke pijler. De oeverafgraving en daarmee stroming volgen uit de oriëntatie van de noordelijke pijler. De locatie en oriëntatie van de variant gedraaid zijn geoptimaliseerd.
- De optimale locatie voor een wachtplaatsvoorziening in de afvaart is westelijk van Alphontrou (noordelijke oever), rond huidige bolders 119-120. Hierbij is er voldoende ophoudlengte voor het zeeschip geassisteerd met sleepboten om slaags te komen voor passage van het beweegbare brugdeel.
- In de opvaart lijkt de meest geschikte plek voor een wachtplaatsvoorziening aan stuurboord kant van het vaarwater te zijn. Aan bakboord kant (rechteroever) zijn er veel wachtplaatsen voor binnenvaartschepen. Rond de Feyenoord kade aan de linkeroever, rond bolder 1121-1123, is de meest geschikte plek voor een wachtplaatsvoorziening.

Aanbevelingen

- De effecten van onregelmatigheid in wind en stroming op het maatgevende zeeschip dienen verder te worden onderzocht op basis van simulatieonderzoek. Hierbij kunnen de mate van restrictie (stroming en/of windlimiet) behorende bij een vaste doorvaartbreedte verder worden gekwantificeerd. Op basis van de mate van restrictie kan vervolgens worden bepaald onder welke voorwaarden een passage van de diverse bruggen op het traject (Koningshaven – Van Brienenoordbrug) binnen één tijpoort mogelijk is.
- In het simulatieonderzoek dienen ook bijzondere transporten en de effecten van sleepbootassistentie meegenomen te worden.
- In het simulatieonderzoek dient de vormgeving van het remmingwerk en aanvaarbescherming van het beweegbare brugdeel meegenomen te worden, omdat deze van belang zijn voor de visuele geleiding.
- Ook de locatie van de wachtplaatsen dienen te worden getoetst aan de hand van simulatieonderzoek.
- Onderzoek welke mogelijkheden er binnen de ontwerpruimte zijn om de stromingspatronen in gunstige zijn aan te beïnvloeden.

REFERENTIES

- [Ref 1] Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Richtlijnen Vaarwegen 2020, juni 2020.
- [Ref 2] MARIN: rapport 33023-3-MO.rev.1.0 MIRT Oeververkenning Nautisch Onderzoek: Vaststellen nautische uitgangspunten en vertaling naar doorvaart afmetingen en inpasbaarheid. D.d. 09 februari 2021.
- [Ref 3] MARIN: rapport 33652-2-MO.rev.1.0 MIRT Oeververkenning Zeef 2: Nautisch onderzoek. Real-time manoeuvreersimulaties ten behoeve van drie locatievarianten. D.d. 20 oktober 2022.
- [Ref 4] MARIN: rapport 33652-1-MO.rev.1.0 MIRT Oeververkenning Zeef 2: Nautisch onderzoek. Fast-time manoeuvreersimulaties ten behoeve van drie locatievarianten. D.d. 20 oktober 2022.
- [Ref 5] PIANC, Rapport werkgroep 121, Harbour approach channel design guidelines, 2014.
- [Ref 6] Svašek Hydraulics: MEMO: Stromingssimulaties Nieuwe Oeververbinding Bocht van de Esch. D.d. 19 juni 2024.
- [Ref 7] PIANC, Rapport werkgroep 141, Design guidelines for inland waterway dimensions, 2019.
- [Ref 8] DHMR, Ontwerprichtlijnen Havens en Vaarwegen, april 2020.

