

## Challenging wind and waves

Linking hydrodynamic research to the maritime industry

### NAUTISCHE EVALUATIE ZANBRUG

#### Eindrapport

Rapport Nr. : 25180-1-MSCN-rev. 2  
Datum : 26 april 2011

Paraaf Management:



## NAUTISCHE EVALUATIE ZAABRUG

MARIN opdracht nr. : 25180

Opdrachtgever : Oranjewoud  
Postbus 24  
8440 AA HEERENVEEN

Revisienr.	Status	Datum	Auteur	Voor gezien
0	Concept	21 maart 2011	Ir. D. ten Hove	Ir. F.S.H. Verkerk
1	Eindrapport	12 april 2011	Ir. D. ten Hove	
2	Eindrapport	26 april 2011	Ir. D. ten Hove	

**INHOUDSOPGAVE**

	Pag.
1 INLEIDING .....	3
2 DOELSTELLING .....	4
3 METHODIEK.....	5
4 BESCHRIJVING VAN DE BRUG EN DE VAARWEG .....	6
5 EVALUATIE .....	10
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	14
6.1 Conclusies .....	14
6.2 Aanbevelingen .....	14
7 REFERENTIES.....	15



## 2 DOELSTELLING

Het doel van de studie is het toetsen van de veiligheid en vlotheid van de doorvaartopening in de nieuwe Zaanbrug volgens het huidige ontwerp met maximaal CEMT Klasse Va schepen. Mocht het onderzoek uitwijzen dat het huidige ontwerp niet voldoet, dan dient aangegeven te worden op welke punten verbetering noodzakelijk en/of mogelijk is.

### 3 METHODIEK

Aan de hand van de Richtlijnen Vaarwegen [1] en ervaring uit vergelijkbare projecten wordt een karakterisering gemaakt van de vaarweg en de brugdoorvaart met als doel mogelijke knelpunten te identificeren. Hierbij worden de eisen en randvoorwaarden zoals die volgen uit de richtlijnen naast elkaar gezet en vergeleken met het voorliggende ontwerp. Waar mogelijk wordt aangegeven op welke punten verbetering noodzakelijk en/of mogelijk is. Op basis van de inventarisatie wordt ook een schatting gegeven van de benodigde doorvaartijd.

In een eerste oriënterend gesprek zijn mogelijke knelpunten reeds besproken. Hierbij zijn een aantal aandachtspunten aangegeven zoals de ligging in een bocht, de oriëntatie en breedte van de doorvaart en de nabijheid van een tweede krappe bocht aan de westzijde.

Deze rapportage beschrijft de resultaten van het onderzoek.

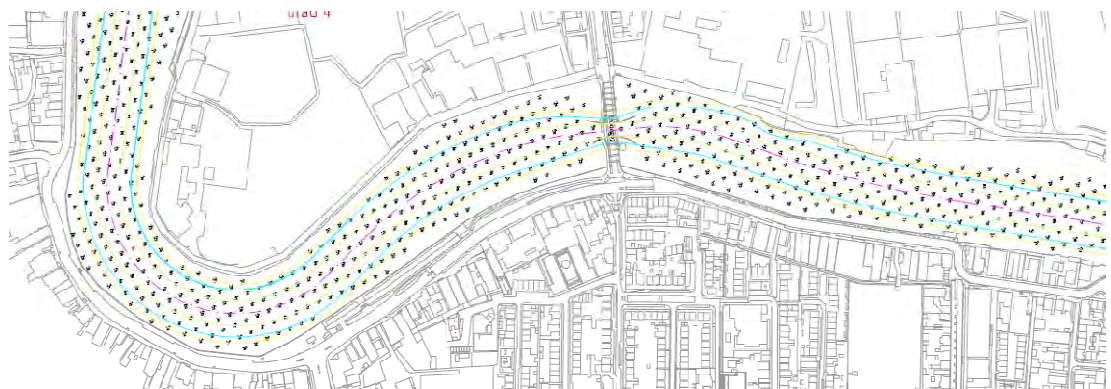
## 4 BESCHRIJVING VAN DE BRUG EN DE VAARWEG

De Zaan ter plekke is een Klasse Va vaarweg. De gemeente Zaanstad is nautisch beheerder van de vaarweg ter plekke van de brug en draagt zorg voor bediening van de brug op afstand [2].

De huidige brug is vanaf Amsterdam komend gesitueerd over de Zaan in een bocht naar links ter hoogte van kilometerraai 9,75. De bocht heeft een straal van ca. 375 m. Onderstaande figuren geven een goed beeld van de situering in de vaarweg.



**Figuur 4-1**      **Overzicht**



**Figuur 4-2**      **Locatie huidige en nieuwe brug**



**Figuur 4-3** Inpassing bochtstraal ( $R = 375\text{ m}$ )



**Figuur 4-4** Huidige brug over de Zaan

Komend vanaf Amsterdam maakt de Zaan een flauwe bocht naar rechts (bochtstraal  $R = 1100\text{ m}$ ), die op ca 140 m voor de brugdoorvaart overgaat in een bocht naar links met een straal van 375 m. De bochtstraal is bepaald uit de grootste cirkelboog die raakt aan de midden vaarwaterlijn voor en na de bocht en de doorvaartsas van de brug (zie Figuur 4.3). Ca 250 m na de brugdoorvaart ter hoogte van kilometerraai 10,05 gaat de bocht over in een zeer krappe bocht naar rechts met een straal van 125 m (zie Figuur 4.2).



Tot de Zaanbrug van uit Amsterdam komend is een snelheidsbeperking van kracht van 9 km/u voor geladen schepen en 12 km/u voor lege schepen en recreatievaart. Vanaf de Zaanbrug tot ca. 400 m voorbij de krappe Zaanbocht zijn de volgende verkeersmaatregelen van kracht:

- snelheidsbeperking van 6 km/u voor alle scheepvaart;
- oploopverbod;
- verplichting bijzonder op te letten;
- verplichting de stuuboordszijde van het vaarwater te houden,

Effectief betekent dit dat de schepen pas na passage van de brug voor het passeren van de bocht de snelheid gaan verminderen en in de ander richting varend (naar Amsterdam) na passage van de bocht al weer snelheid op gaan bouwen voor passage van de brug. De grote schepen (vanaf 95 m lengte) zullen daarbij zoveel mogelijk midden vaarwater houden al gevolg van de beperkte ruimte in de bocht.

De breedte op de bodem van de vaarweg is ca. 40. De beschikbare breedte op het wateroppervlak is ca 49 m. Rond de brug is iets meer breedte beschikbaar ( ca. 5 m). De waterdiepte is ca. 5 m.

De doorvaartbreedte van de brug wordt in de nieuwe situatie 16,5 m, waarbij de as van de doorvaartopening in de nieuwe situatie gelijk is aan de bestaande situatie. De as van de doorvaartopening ligt niet in het midden van de vaarweg, maar iets naar de binnenbocht. De doorvaartas staat loodrecht op de brugas en zowel opvarend als afvarend hebben de schepen halverwege de bocht ca. 110 m om het schip wat meer te strekken voor de brugdoorvaart.

De doorvaarthoogte van de nieuwe brug wordt minimaal gelijk aan de oude brug (ca. 2,30 m). De doorvaarthoogte in geopende stand is onbeperkt tussen de gordingen. Bij de brug zijn in de huidige situatie geen wachtplaatsen.



**Figuur 4-5** Detailoverzicht bestaande brug

De Zaan is stromend water, maar exacte gegevens over de stroomsnelheden ontbreken. Over het algemeen zijn de stroomsnelheden zeer laag en worden veroorzaakt door op-/afwaaiing en bemaling door het Zaangemaal bij de Wilhelminasluis te Zaandam.

Tellingen van het aantal scheepsbewegingen door de Zaanbrug zijn beperkt beschikbaar voor de jaren 2005 en 2007 (bron IVS). Uit de tellingen valt af te leiden dat er op dit moment ca. 11.500 passages beroepsvaart zijn en ca. 7000 passages recreatievaart.

De beroepsvaart passeert het hele jaar door. Rekening houdend met de normale werktijden komt dit neer op een maximum intensiteit van 3 á 4 passages beroepsvaart per uur voor beide richtingen. Van de beroepsvaart behoort het grootste deel (94%) tot de CEMT Klasse III en kleiner. 5% bestaat uit CEMT Klasse IV schepen en 1% uit Klasse Va schepen. Anders gezegd er passeert ongeveer eens in de twee dagen een Klasse Va schip en 2 maal per dag een Klasse IV schip.

De verwachting is dat er in 2040 ca. 13.900 schepen (beroepsvaart) passeren op jaarbasis [3]. Welke schaalvergroting er in die periode plaats vindt is niet bekend.

De recreatievaart passeert vooral in de maanden april tot en met september. De recreatievaart kent een piek in juli en augustus met ca. 1300 passages per maand. Dit kan gedurende de zomermaanden leiden tot een verkeersintensiteit van de recreatievaart van 5 - 10 passages per uur.

## 5 EVALUATIE

Vervanging van de Zaanbrug is zoals in de inleiding al aangegeven onderdeel van de opwaardering van de vaarweg van bevaarbaarheidsklasse IV naar klasse Va. Om de verschillen te illustreren worden voor de evaluatie van de brug de eisen aan de brug voor zowel klasse IV als voor klasse Va uitgewerkt. Met betrekking tot de inrichting en dimensionering van de vaarweg kunnen de Richtlijnen Vaarwegen [1] gebruikt worden voor de evaluatie. Met op dit moment 11.500 beroepsvaartuigen per jaar en naar verwachting niet meer dan 13.900 beroepsvaartuigen per jaar in 2040 is de verkeersintensiteit op de vaarweg beperkt en kan volgens de Richtlijnen Vaarwegen [1] als ontwerpeis een normaal profiel gehanteerd worden, waarbij over korte gedeelten een krap profiel toegestaan is. Omdat het aantal recreatievaartuigen veel kleiner is dan 30.000 (grens in de richtlijnen) hoeven geen extra voorzieningen getroffen te worden voor de situatie met gemengd verkeer. De dimensionering kan volledig gebaseerd worden op de eisen voor de beroepsvaart. We gaan er daarbij van uit dat het acceptabel is om het gedeelte rond de Zaanbrug te beoordelen op basis van het krappe profiel.<sup>1</sup>

De scheepsafmetingen behorend bij de vaarklassen zijn:

- CEMT Klasse IV (LxBxT) 105 x 9,50 x 3,0 m
- CEMT Klasse Va (LxBxT) 110 x 11,40 x 3,5 m

De richtlijnen adviseren bij een krap profiel een brug met twee doorvaartopeningen, waarvan er één een beweegbaar brugdeel heeft. Aangezien de verkeersintensiteit relatief laag is het acceptabel om in dit geval uit te gaan van een beweegbare brug met één doorvaartopening, waarbij de doorvaartwijdte wel moet voldoen aan de eisen voor een krap profiel. Dit omdat schepen in verband met tegemoetkomend verkeer niet vanzelfsprekend de ideale lijn (midden vaarwater) kunnen volgen. Dit betekent ook dat schepen eventueel moeten wachten voor tegemoetkomend verkeer. Verder geven de richtlijnen aan dat een brug bij voorkeur gesitueerd wordt in een recht vaarwegvak met een loodrechte kruising. Is dit niet mogelijk dan dient de voorgeschreven doorvaartwijdte vermeerderd te worden met een breedtetoeslag voor bochten. De richtlijnen voor een krap profiel zijn samengevat in de onderstaande tabel, waarbij er gekozen is voor een beweegbare brug met één doorvaartopening.

---

<sup>1</sup> De direct aansluitende vaarwegdelen voldoen wel aan het normale profiel.

	CEMT Klasse IV	CEMT Klasse Va
<b>Brug</b>		
doorvaartwijdte zonder bochttoeslag	14,0 m	16,5 m
Bochttoeslag (leeg schip)	14,7 m	16,1 m
doorvaartwijdte incl. bochttoeslag	28,7 m	32,6 m
doorvaarthoogte	6,4 m	7,4 m
<b>Bochten</b>		
minimum bochtstraal $R = 4L$ (L is de scheepslengte)	420 m	440 m
bochttoeslag vaarwegbreedte bij $R = 375$ m	22,0 m	24,2 m
bochttoeslag vaarwegbreedte bij $R = 125$ m	66,1 m	72,6 m
<b>Vaarwegvakken</b>		
bodembreedte	19,0 m	22,8 m
bevaarbare breedte geladen schip	28,5 m	34,0 m
windtoeslag	15 m	15 m
breedte incl. windtoeslag, excl. bochttoeslag	43,5 m	49 m

**Tabel 5.1 Richtlijnen vaarwegen Klasse IV en Va – krap profiel**

We zien uit de tabel dat de bochtstraal ( $R = 375$  m) zowel voor de Klasse IV schepen als voor de Klasse Va schepen te klein is en dat de bevaarbare breedte krap is, zelfs als de bochttoeslag niet meegerekend wordt. De vereiste breedte van het vaarwegvak op basis van de richtlijnen gaat er overigens van uit dat er tweestrooks verkeer (tegelijkertijd verkeer in twee richtingen) plaats vindt. Zowel de brug als de krappe Zaanbocht laten dit niet toe. Ontmoeten is voor de grotere schepen op dit gedeelte van de vaarweg dus niet mogelijk en moet vermeden worden. In de linkerbocht met de brug is er dan wel voldoende breedte beschikbaar. De grotere schepen (Klasse IV en Va) zullen in de zeer krappe Zaanbocht de snelheid aanpassen en drijvend de bocht doorgaan ( gemiddelde vaarsnelheid ca. 3 km/u).

De richtlijnen gaan er bij het vaststellen van de benodigde doorvaartwijdte van de brug van uit dat een schip normaal de bocht moet kunnen varen zonder daarbij beperkt te worden door de brug. Een leeg Klasse Va schip zal daarbij varende in een bocht met een straal van 375 m een 'opstuurhoek' van ca.  $10^\circ$  ten opzichte van de vaarwegas hebben. In praktijk heeft een schip echter de mogelijkheid om even te strekken (opstuurhoek kleiner maken) bij het passeren van de brug, maar dan is er na passage van de brug een grotere opstuurhoek nodig om de bocht verder goed door te komen. Aan beide zijden van de brug is daar in dit geval voldoende ruimte voor. De snelheid moet daarbij wel beperkt worden tot 6 km/u, zodat indien nodig de boegschroef gebruikt kan worden. De ervaring leert dat in dat geval de bochttoeslag beperkt zou kunnen worden tot ca. 6 m voor Klasse Va schepen en 4 m voor Klasse IV schepen. De vereiste doorvaartwijdte komt dan uit op respectievelijk 22,5 m voor Klasse Va en 18 m voor Klasse IV.

De richtlijnen adviseren een vrije doorvaarthoogte van respectievelijk 6,4 m voor Klasse IV en 7,4 m voor Klasse Va. Bij deze doorvaarthoogtes moet de brug alleen voor ca. 25% van de lege beroepsvaart, hoge vaart en bijzondere transporten worden geopend. Een minimale doorvaarthoogte van 2,3 m, zoals nu het uitgangspunt is, betekent dat voor vrijwel alle passerende beroepsvaart de brug geopend moet worden. Aangezien de bestaande situatie niet anders is, lijkt dit geen bezwaar. De doorvaartwijdte (16,5 m) voldoet wel aan de eisen voor een rechte vaarweg, maar houdt geen rekening met de

ligging in een bocht. Dit betekent dat een groot schip alleen langzaam varende de brug kan passeren: een schip nadert de brug langzaam, strekt zich voor de brug voldoende om de brug door te varen/drijven. Door de ligging vlak bij de Zaanbocht zal een Klasse Va schip over het hele gedeelte van de vaarweg inclusief de krappe Zaanbocht zeer langzaam moeten varen.

De ligging van de doorvaartopening ten opzichte van het midden van de vaarweg is goed. Gezien de beperkte breedte van de vaarweg gaan we er van uit dat de schepen zoveel mogelijk het midden van het vaarwater volgen. De excentrische ligging van de doorvaartopening heeft dan tot gevolg dat de bochtstraal maximaal is. Een ligging verder naar buiten zou betekenen dat de bochtstraal kleiner wordt<sup>2</sup> en er dus nog meer doorvaartwijdte vereist is. Aan de westkant wordt de ruimte dan te beperkt om het schip nog voldoende te strekken voor de brugdoorvaart. Bij de huidige ligging van de doorvaartas heeft een schip van 110 m nog net voldoende ruimte om gesterkt voor de brug te liggen. Verder naar binnen kan niet, omdat de vaarweg daar onvoldoende diepte heeft en tevens de afstand tot de oever te klein wordt. Een asymmetrische ligging is in een bocht ook beter, omdat een schip in een bocht meer ruimte aan de buitenzijde nodig heeft om zowel voor als na de brug het achterschip uit te kunnen laten zwaaien naar de buitenbocht.

De remmingwerken dienen de ligging in de bocht wel te faciliteren. Dit betekent dat de remmingwerken zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde van de bocht de mogelijkheid moeten geven om net als in de huidige situatie al bij een gedeeltelijk passage van de brug weer met een grotere drifthoek te kunnen gaan varen.

De richtlijnen zijn zo opgesteld dat een schip vlot en veilig een brug kan passeren. Wat betreft vaarsnelheid bij het passeren van een beweegbare brug is daarin rekening gehouden met vaarsnelheden van ca. 9-10 km/u. Als, zoals in dit geval door de ligging in een bocht, de beoogde doorvaartwijdte van 16,5 m onvoldoende is, moet, om een veilige passage mogelijk te maken, door de grotere schepen de snelheid aangepast worden. Uit een vergelijking met de bestaande situatie volgt ruwweg een schatting van de volgende passeersnelheden die bij een doorvaartwijdte van 16,5 m een veilige passage nog mogelijk maken:

- CEMT Klasse III en kleiner 9 km/u;
- CEMT Klasse IV 6 km/u;
- CEMT Klasse Va 3 km/u.

De vaarsnelheid van 3 km/u moet gezien worden als een gemiddelde vaarsnelheid<sup>3</sup> waarbij zo nu en dan een toerenstoot gegeven wordt om bij te sturen. Het schip zal daarbij snelheid oppakken om vervolgens weer door te drijven tot de volgende toerenstoot.

---

<sup>2</sup> Als de doorvaartas verder naar de buitenkant van de bocht komt (in Figuur 4.3 naar boven) dan wordt de straal van ingeschreven cirkel die raakt aan de midden vaarwaterlijn voor en na de bocht en de doorvaartas kleiner.

<sup>3</sup> in tegenstelling tot een maximum vaarsnelheid.

De afstand waarover langzamer gevaren wordt voor het passeren van de brug bedraagt ca. 4L (met L de scheepslengte). Hierbij is er wel van uitgegaan dat de schepen in verband met de krappe Zaanbocht de snelheid al aangepast hebben. De doorvaarttijd van de brug komt daarmee uit op:

- CEMT klasse III en kleiner 2 á 3 minuten;
- CEMT Klasse IV 4 á 5 minuten;
- CEMT Klasse Va 8 á 9 minuten.

De openingstijd van de brug zal voor schepen tot Klasse IV ongeveer gelijk zijn aan de doorvaarttijd. Voor Klasse Va schepen zal de openingstijd iets korter zijn: 7 á 8 minuten.

## 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de studie kunnen de onderstaande conclusies en aanbevelingen geformuleerd worden.

### 6.1 Conclusies

- De ontwerp doorvaartwijdte van de nieuwe brug (16,5 m) voldoet door de situering in een bocht niet aan de Richtlijnen Vaarwegen [1]. De richtlijnen geven aan dat een brug bij voorkeur gesitueerd wordt in een recht vaarwegvak met een loodrechte kruising. Is dit niet mogelijk dan dient de voorgeschreven doorvaartwijdte vermeerderd te worden met een breedtetoeslag voor bochten. In het voorliggende ontwerp is geen rekening gehouden met de breedtetoeslag in bochten. Veilige passage bij een doorvaartwijdte van 16,5 m is alleen mogelijk als de grotere schepen hun snelheid aanpassen. Een ruwe schatting van acceptabele vaarsnelheden en bijbehorende doorvaartijden van de brug komt uit op:
  - CEMT Klasse III en kleiner 9 km/u en 2 á 3 minuten doorvaartijd;
  - CEMT Klasse IV 6 km/u en 4 á 5 minuten doorvaartijd;
  - CEMT Klasse Va 3 km/u en 8 á 9 minuten doorvaartijd.
- De openingstijd van de brug zal voor schepen tot Klasse IV ongeveer gelijk zijn aan de doorvaartijd. Voor Klasse Va schepen zal de openingstijd iets korter zijn: 7 á 8 minuten.
- De vlotheid in de toekomstige situatie zal vergelijkbaar zijn met de huidige situatie onder voorwaarde dat het totaal aantal Klasse Va vaartuigen in de toekomst beperkt blijft tot maximaal 5% van de totale beroepsvaart dat de brug passeert
- De ligging van de as van doorvaartopening ten opzichte van het midden van de vaarweg in het voorliggende ontwerp is goed. Een asymmetrische ligging is in een bocht beter, omdat een schip in een bocht meer ruimte aan de buitenzijde nodig heeft om zowel voor als na de brug het achterschip uit te kunnen laten zwaaien naar de buitenbocht. Een ligging verder naar het midden zal het voor de grotere schepen moeilijker maken om de brug vlot te passeren. Een ligging verder naar de zuidelijke oever heeft tot gevolg dat de afstand tot de oever te klein wordt.
- Een minimale doorvaarthoogte van 2.3 m, zoals nu het uitgangspunt is, betekent dat voor vrijwel alle passerende beroepsvaart de brug geopend moet worden. Aangezien de bestaande situatie niet anders is, lijkt dit geen bezwaar.

### 6.2 Aanbevelingen

- Om de situatie nautisch acceptabel te maken wordt aanbevolen om de bestaande snelheidsbeperking van 6 km/u uit te breiden tot ca. 300 m oostelijk van de brug.
- De remmingwerken dienen de ligging in de bocht te faciliteren. Dit betekent met name dat de remmingwerken aan de binnenzijde van de bocht de mogelijkheid moeten geven om net als in de huidige situatie al bij een gedeeltelijk passage van de brug weer met een grotere drifhoek te kunnen gaan varen.

Samenvattend kan gesteld worden dat met een beweegbare brug met doorvaartbreedte van 16,5 m op de huidige locatie ondanks de ligging in een bocht voor de scheepvaart een veilige situatie kan worden gecreëerd, mits de grotere schepen hun snelheid aanpassen. Door de ligging in de bocht is daardoor voor de scheepvaart de vlotheid niet optimaal.

## 7 REFERENTIES

- [1] Richtlijnen Vaarwegen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, oktober 2006.
- [2] ViN (Vaarwegkenmerken in Nederland – raadpleegapplicatie van Rijkswaterstaat).
- [3] Planstudie de Zaan, actualisering 2009, Buck Consultants International.