



Vlaanderen
is wetenschap

VAARGEUL GEO VLAANDEREN

18_120_2
WL rapporten

Advies Scheldebrug

Deelrapport 2 – Nautica

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Advies Scheldebrug

Deelrapport 2 – Nautica

Eloot, K.; Verwilligen, J.; De Maerschallck, B.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/111

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Eloot, K.; Verwilligen, J.; De Maerschallck, B.; Mostaert, F. (2019). Advies Scheldebrug: Deelrapport 2 – Nautica. Versie 5.0. WL Rapporten, 18_120_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Oprachtgever:	De Vlaamse Waterweg NV	Ref.:	WL2019R18_120_2
Keywords (3-5):	Fietsbrug, passage zeeschepen, realtime simulatie, operationaliteit		
Tekst (p.):	25	Bijlagen (p.):	5
Vertrouwelijk	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2025
		Uitzondering:	<input checked="" type="checkbox"/> Vlaamse overheid

Auteur(s):	Eloot, K.
------------	-----------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwilligen, J.	
Projectleider:	De Maerschallck, B.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	--



Abstract

Om de toegankelijkheid van Antwerpen voor fietsers te verhogen en een modal shift in het personenverkeer te ondersteunen voorziet het project “OVER DE RING” in de aanleg van een Scheldebrug voor fietsers ter hoogte van de Kennedytunnel.

In het tweede deelrapport van dit advies wordt de passage van de fietsbrug met zeeschepen onderzocht door middel van verkennend realtime simulatieonderzoek op de scheepsmanoeuvresimulator van het Waterbouwkundig Laboratorium. De doorvaartbreedte van 80 m en de operationele voorwaarden worden geëvalueerd waaruit blijkt dat met het gekozen eerste ontwerpschip de doorvaartbreedte van de brug niet volstaat bij de heersende omgevingscondities.

Kennisdomein: Interactie met constructies

Kennisdomein: Scheepsbeweging -> Ontwerp vaarweg en haven -> Simulaties

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Doel van de studie	2
2 Nautische impact.....	3
2.1 Beschrijving.....	3
2.2 Verdwijnen van de zwaaizone ZZ1/ZZ2	4
2.3 Ontwerprichtlijnen voor bruggen over waterwegen	5
2.3.1 Ontwerprichtlijnen voor zeevaart	5
2.3.2 Ontwerprichtlijnen voor binnenvaart.....	7
3 Simulatiestudie	9
3.1 Voorbereiding.....	9
3.1.1 Ontwerpschip	9
3.1.2 Bathymetrie, wind en stroming.....	10
3.2 Simulatieprogramma	11
3.3 Analyse	12
3.3.1 Groene variant.....	12
3.3.2 Gele variant	14
4 Conclusies en bijkomend onderzoek.....	21
4.1 Conclusies simulatiestudie	21
4.2 Bijkomend onderzoek.....	24
Referenties	25
Bijlage 1: Feedback van de loodsen.....	B1
Bijlage 2: Manual voor de KMZ presentaties.....	B3

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Afmetingen ontwerpschepen voor simulatie	10
Tabel 2 – Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen voor terreinklasse 3	11
Tabel 3 – Overzicht simulaties.....	11

Lijst van de figuren

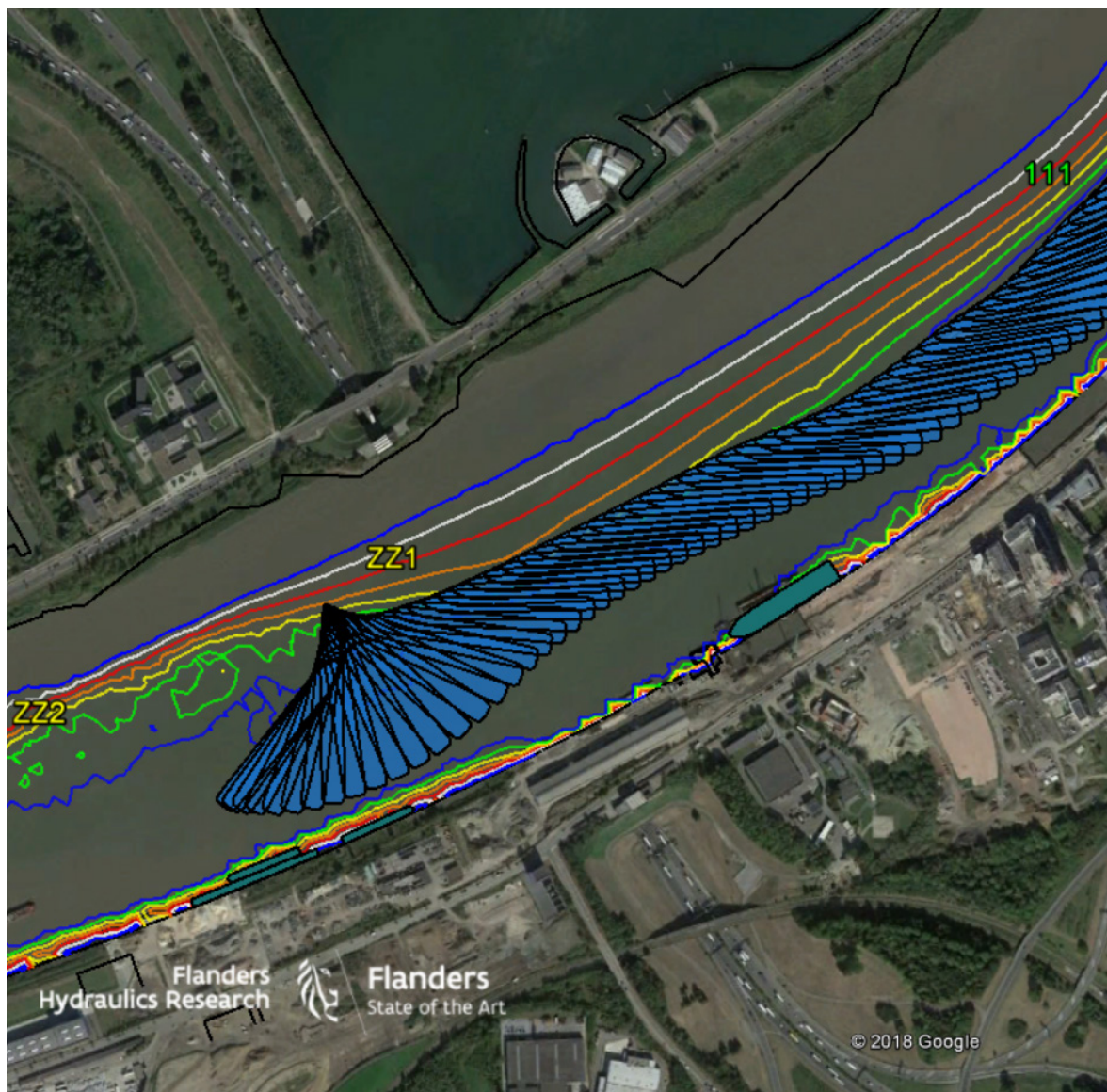
Figuur 1 – Locatie van de zwaazone ZZ1 en ZZ2 met visualisatie van de simulatierun 12_007_006 uit de studie [1].....	1
Figuur 2 – Mogelijke locaties van de Scheldebrug als fietsbrug.....	2
Figuur 3 – Vergelijking van de zwaazones ter hoogte van de Rede (groen) en de boeien ZZ1 en ZZ2 (blauw)	4
Figuur 4 – Variation in air draught clearance as a function of ship loading condition [Takahashi, 2007] [4] ...	7
Figuur 5 – De gele en groene variant met beweegbaar brugdeel in de simulatieomgeving	9
Figuur 6 – Groene variant brug: overzicht runs 000 tot en met 002, schip Stolt Kimberley.....	13
Figuur 7 – Groene variant brug: overzicht runs 003 tot en met 007, schip Rhone	14
Figuur 8 - Gele variant brug in afvaart: overzicht runs 008 en 009, schip Rhone	15
Figuur 9 - Gele variant brug in afvaart: overzicht runs 010 en 012, schip Rhone	16
Figuur 10 - Gele variant brug in afvaart: overzicht runs 010 en 012, schip Rhone, detail	16
Figuur 11 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 011, schip Rhone, minuut 0 tot 6	17
Figuur 12 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 011, schip Rhone, minuut 4.5 tot 13.5: afstoppen van het schip en ter plaatse houden	17
Figuur 13 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 011, schip Rhone, minuut 13.5 tot 25.5: versnellen van het schip vanuit stilstand en passage van de brug	18
Figuur 14 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 013, schip Kapitonas, minuut 0 tot 9: varen tot melding technisch probleem	19
Figuur 15 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 013, schip Kapitonas, minuut 9 tot 19.5: uitvoeren van een zwaaimanoeuvre op de rivier om terug weg te varen van de brug.....	20
Figuur 16 – Samenstelling van beide varianten van de brug en alle tracks bij de simulaties met de Stolt en de Rhone (uitgezonderd run 011 als noodmanoeuvre)	22
Figuur 17 – Illustratie van de toevoeging van lichtpalen bij de gele variant.....	22

1 Inleiding

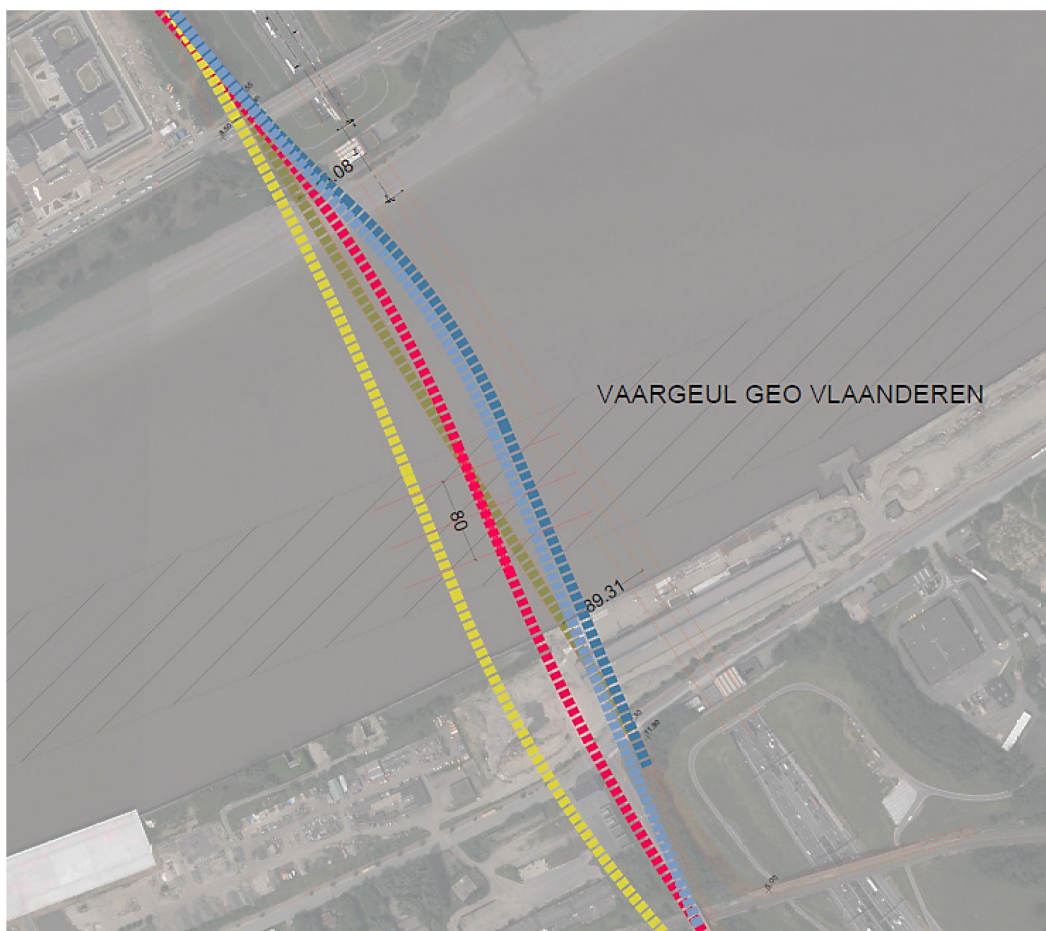
1.1 Situering

De Scheldebrug (fietsbrug) maakt deel uit van de leefbaarheidsprojecten van het project “OVER DE RING” (www.overdering.be) en is gepland opwaarts de Kennedytunnel ter hoogte van een huidige zwaaizone, aangegeven met de boeien ZZ1 en ZZ2, voor cruiseschepen [1], Figuur 1. Deze cruiseschepen met bestemming de Rede van Antwerpen zullen bij hogere waterstanden en rekening houdend met de stroom- en windcondities kunnen uitwijken naar deze (ruimere) zwaaizone. Een andere zwaaizone ligt ter hoogte van de Rede zelf. Door de inplanting van de brug op de zwaaizone ZZ1 en ZZ2 is zwaaien opwaarts de Kennedytunnel niet meer mogelijk (Figuur 2). Hierdoor blijft slechts één zwaaizone voor cruiseschepen over wat de toegankelijkheid vermindert.

Figuur 1 – Locatie van de zwaaizone ZZ1 en ZZ2 met visualisatie van de simulatierun 12_007_006 uit de studie [1]



Figuur 2 – Mogelijke locaties van de Scheldebrug als fietsbrug



De locaties aangegeven met een blauwe (donker of licht) stippellijn zijn niet realistisch omdat deze te dicht bij de Kennedytunnel liggen.

De Vlaamse Waterweg heeft de opdracht gekregen om de fietsersbrug te realiseren. Op het ogenblik van dit advies staat het ontwerp van de brug nog niet vast. Enkele randvoorwaarden werden wel gedefinieerd tijdens de uitvoering van het project “OVER DE RING” met onder andere een doorvaartbreedte van 80 m voor het beweegbare deel van de brug voor passages van zeeschepen en een openingstijd van de brug van 10 minuten. Deze randvoorwaarden werden echter nautisch niet afgetoetst zodat door de Vlaamse Waterweg een studiebureau werd aangesteld om de randvoorwaarden waarbinnen het ontwerp moet passen te onderbouwen en uit te werken. Na deze studie met randvoorwaarden zal een internationale ontwerpwedstrijd uitgeschreven worden om een architectenbureau te werven.

1.2 Doel van de studie

Met betrekking tot het bepalen van de randvoorwaarden voor het ontwerp, is het Waterbouwkundig Laboratorium gevraagd advies te geven over de impact van de brugpijlers op stroming, morfologie en nautische impact. In het eerste deelrapport [2] wordt een overzicht gegeven van de lokale stroming, bodem en morfologie op de locatie van de Scheldebrug. In dit tweede deelrapport wordt een verkennende nautische studie van de randvoorwaarden voor het ontwerp voor een veilige en vlotte passage van de Scheldebrug voor zee- en binnenvaart behandeld.

2 Nautische impact

2.1 Beschrijving

De nautische impact van een brug over een snelstromende rivier voor binnenvaart en zeevaart, en specifiek voor de fietsersbrug over de Schelde, is velerlei:

- De fietsersbrug zal samengesteld zijn uit een brugdek met een vereiste hoogte steunend op pijlers met een bepaalde dikte (boven- en onderwater). Omdat de vereiste hoogte nooit de noodzakelijke air draft (vrije hoogte boven het water) van de schepen die moeten passeren zal omvatten, moet de brug een gedeelte hebben dat open kan zodat een doorvaartbreedte ontstaat zonder hoogtebeperking. De doorvaartbreedtes van de brugdelen tussen de pijlers die niet opengaan, moeten ook oordeelkundig gekozen worden.
- De fietsersbrug wordt geplaatst in de Schelde waarbij men de bathymetrie van de Schelde minimaal wil wijzigen. Hierdoor zullen de doorvaarbare delen van de fietsbrug (onder andere het open gedeelte) oordeelkundig moeten gekozen worden om een maximale waterdiepte te garanderen ter hoogte van deze doorvaarbare delen. Omdat zowel zee- als binnenschepen zullen passeren, kan de diepgang van deze schepen sterk variëren tussen 3 m en 11 m. Het open gedeelte moet zich over het diepste gedeelte van de Schelde uitstrekken.
- De positie van de fietsersbrug werd vastgelegd opwaarts de Kennedytunnel waarbij nog enkele beperkte wijzigingen (zie variatie in Figuur 2) mogelijk zijn. De fietsersbrug kan omwille van de impact van de pijlers echter niet te dicht bij de Kennedytunnel komen en mag ook niet meer opwaarts geplaatst worden omdat er gekozen is voor een aansluiting op de fietssnelwegen die langs de Kennedytunnel komen. Bij de keuze van deze positie heeft men enkel rekening gehouden met bouwtechnische voorwaarden en niet met nautische voorwaarden. De zwaaizone ZZ1 en ZZ2 voor de cruiseschepen komt volledig te vervallen. Rekening houdend met het pad van het cruiseschip in Figuur 1 is het onmogelijk om een cruiseschip eerst een open bruggedeelte met een beperkte doorvaartbreedte te laten doorvaren en dan nog een zone te voorzien waar het schip met de invloed van stroom en wind veilig kan zwaaien zonder in de buurt van de brug te komen of aan de grond te lopen in te smalle secties van de Schelde.
- Bij het doorvaren van zowel open als gesloten brugdelen moet men rekening houden met de invloed van wind en stroming. De oriëntatie van de vaargeul doorheen de brug is eerder oost-noordoost tegenover west-zuidwest. Dit betekent dat de overheersende windrichtingen (tussen west en zuidzuidwest) gedeeltelijk dwars op de vaargeul werken. Noordwestelijke winden treden echter ook op en met hoge Beaufortklassen zodat bij een onbeperkte toegankelijkheid van de brug onder invloed van wind hiermee rekening moet gehouden worden. Deze noordwestelijke winden staan dwars op de vaargeul. De snelheid over de grond bij het doorvaren van de brug moet voldoende groot zijn (bijvoorbeeld ongeveer 8 knopen). Hoe groter de sloopssnelheid immers hoe kleiner de relatieve impact van de wind op de bovenbouw van het schip bij dwarse winden. Een grotere snelheid over de grond is ook noodzakelijk om voldoende manoeuvreerbaarheid van het schip te verkrijgen bij het voorstrooms varen. Wanneer een schip met een snelheid over de grond (Speed over Ground; SOG) van 8 knopen vaart, maar de stroomsnelheid is volgens de richting van de sloopssnelheid en heeft bij maximale stroom waarden tussen de 3 en de 3.5 knopen, dan bedraagt de snelheid door het water (Speed through Water, STW) slechts 5 à 4.5 knopen. De manoeuvreerbaarheid van het schip wordt met deze snelheid bepaald (bijvoorbeeld aanstroming van schroef en roer).
Voor wind en stroming (voorstroom) is het aangewezen dat de snelheid voldoende hoog is. Anderzijds moet de brug bestand zijn tegen een impactsnelheid (snelheid over de grond) van bijvoorbeeld 8 knopen indien bij het doorvaren het schip toch in contact met de brug zou komen.

- Voor het in op- en afvaart naderen van de brug voor de passage is het belangrijk dat het schip voldoende waterdiepte beschikbaar heeft en niet te dicht bij oevers moet varen. De gekozen positie van de fietsersbrug is in een bocht van de Schelde. Bovendien bevindt zich afwaarts van de brug een brede, ondiepe zone aan de linkeroever. Ook aan de rechteroever moet men een bepaalde afstand tot de kades respecteren.
- Loodsen werken voor de passage van kunstwerken zoals bruggen met een laatste interventiepunt (LIP). Dit punt geeft aan dat wanneer het schip zich ter hoogte van het LIP bevindt, de brug moet open zijn en indien nodig ook ontruimd. Indien de brug niet open is, kan de loods tot dit LIP nog actie ondernemen om het schip op tijd gestopt te krijgen voor de brug.

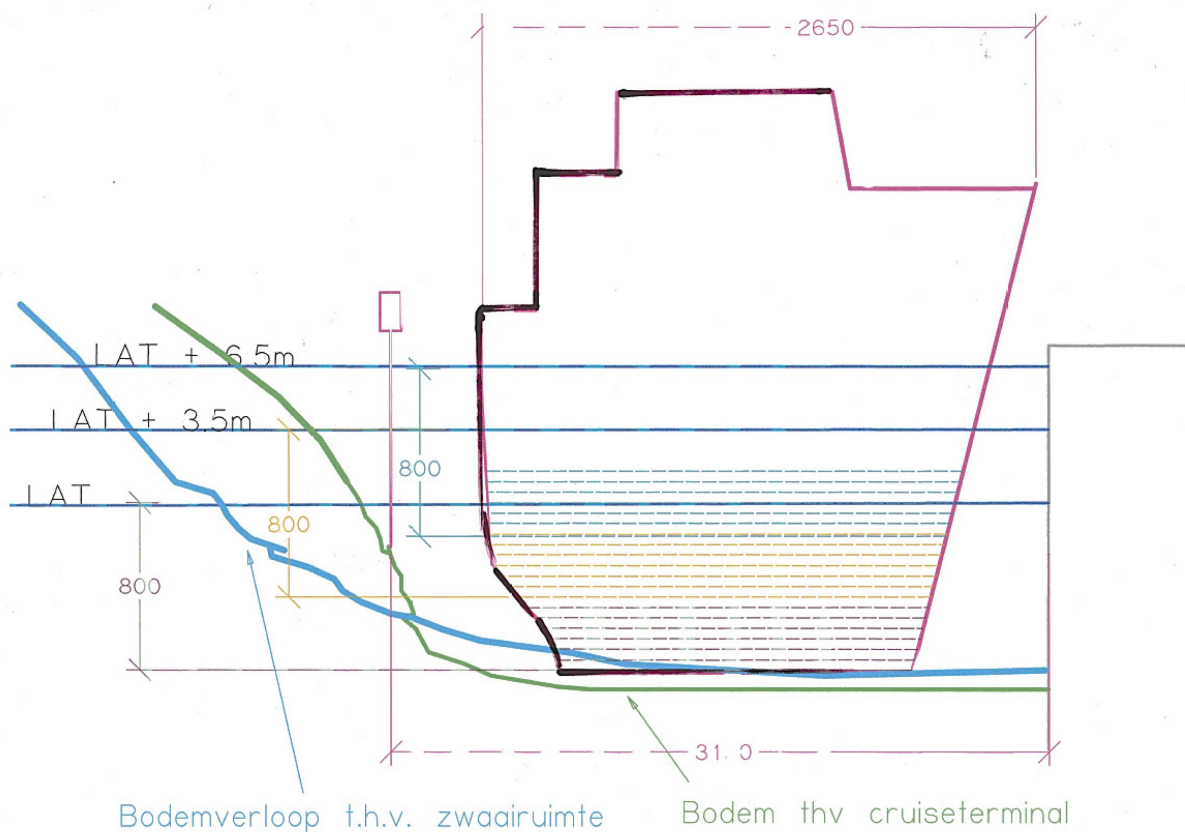
2.2 Verdwijnen van de zwaaizone ZZ1/ZZ2

In [1] werd de toegankelijkheid onderzocht voor cruiseschepen met een maximale scheepslengte van 265 m tot de Rede van Antwerpen. Deze simulatiestudie van 2012 heeft geleid tot de Gezamenlijke Bekendmaking met bestemming Scheldekaaien:

<http://www.kustcodex.be/kustcodex-consult/plainWettekstServlet?wettekstId=66325&lang=nl>.

Hoewel de cruiseschepen die actueel Antwerpen aanlopen eerder beperkt zijn tot een maximale lengte van 247 m (zie <http://cruiseshipsinantwerp.be/>) kan men uit Figuur 3 vaststellen dat door het verdwijnen van de zwaaizone aan de Kennedytunnel na het plaatsen van de fietsersbrug de maximale scheepslengte van de cruiseschepen zal moeten beperkt worden.

Figuur 3 – Vergelijking van de zwaaizones ter hoogte van de Rede (groen) en de boeien ZZ1 en ZZ2 (blauw)



[Bron: P. Coveliers]

In Figuur 3 wordt een vergelijking gemaakt tussen het dwarsprofiel aan de zwaazone ZZ1 en ZZ2 (blauw) en de zwaazone aan de cruiseterminal (groen). Deze laatste zwaazone heeft aan beide oevers een steil profiel (enerzijds de Scheldekaaien en anderzijds het steile oeverprofiel aan de linkeroever). Hierdoor mist men op deze locatie het voordeel van de verbredende vaarwegbreedte naar gelang de toenemende waterstand van de zwaazone ZZ1 en ZZ2. Bijkomend zal door de bouw van de nieuwe cruiseterminal over een belangrijke lengte waar de cruiseschepen opereren, de beschikbare vaarbreedte globaal afnemen. De combinatie van de nieuwe cruiseterminal, waardoor de uitbreidingsmogelijkheden voor een grotere zwaazone niet meer realistisch zijn, en de bouw van de fietsersbrug zorgen er dus voor dat de toegankelijkheid van cruiseschepen tot een lengte van 265 m niet meer te allen tijden kan gegarandeerd worden. Om de cruiserederijen nog de vrijheid te laten het aankomst- en vertrekkur te kiezen onafhankelijk van de getijconditie (waterstand en stroming) zal daarom de maximale scheepslengte moeten afnemen. Hierbij wordt uitgegaan van een maximale scheepslengte van 220 tot 230 m zonder bijkomende beperkingen. Enkel bij een oordeelkundige verificatie van de getijcondities (windcondities kunnen niet op voorhand voorspeld worden) kunnen eventueel grotere cruiseschepen nog toegelaten worden. Voor 2019 (vanaf april 2019) en op basis van de website cruiseshipsinontwerp.be betekent dit dat 7¹ van de 33 (of 21%) geplande aanlopen niet meer kunnen doorgaan zonder hogere risico's voor het zwaaimanoeuvre.

Tussen de bocht van de Rijnkaai en de geplande locatie van de fietsersbrug laat het profiel van de Schelde ook niet toe om een grotere zwaazone te voorzien. De keuze voor de fietsersbrug doet dus de zwaazone ZZ1 en ZZ2 verdwijnen zonder een realistisch alternatief.

2.3 Ontwerprichtlijnen voor bruggen over waterwegen

Alvorens de resultaten van de simulatiestudie te bespreken wordt er nagegaan wat er qua ontwerprichtlijnen gegeven wordt voor bruggen over waterwegen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen een brug voor zeevaart en een brug voor binnenvaart. De fietsersbrug zal immers secties bevatten die ofwel enkel voor de binnenvaart ofwel voor zee- en binnenvaart toegankelijk zijn.

2.3.1 Ontwerprichtlijnen voor zeevaart

Er zijn verschillende nationale en internationale ontwerprichtlijnhandboeken voor zeevaart. Een aantal van deze richtlijnen, specifiek voor bruggen, wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

ROM Guidelines [3]

In deze Spaanse ontwerprichtlijnen schrijft men:

“Narrow sections (bridges, mouths, etc.) will be passed in well beacon marked, straight fairway stretches, keeping the alignment straight over a minimum distance of 5 lengths (L) of the maximum vessel, on either side of the narrow sections.”

Aangezien de fietsersbrug geplaatst wordt in een bocht van de Schelde, voldoet de passage van deze brug voor zeeschepen niet aan de bepaling uit de Spaanse richtlijnen.

¹ 1 van de 7 schepen heeft een lengte kleiner dan 230 m. Voor de zes andere aanlopen gaat het over twee schepen, de Artania (231 m) en de Columbus (247 m met ook een diepgang groter dan 8 m).

PIANC report 121 [4]

In het rapport 121 van de Internationale organisatie PIANC wordt in verschillende hoofdstukken verwezen naar het ontwerp van bruggen en welke methodiek (namelijk detailed design) men kan toepassen voor dit ontwerp. In §1.4.1.2 Detailed design wordt toegelicht dat indien men de voorgestelde ontwerprichtlijnen niet kan volgen men moet overgaan tot detailed design met bijvoorbeeld simulatieonderzoek.

“Other aspects of Detailed Design include the number, type and positioning of aids to navigation, consideration of detailed navigational aspects (such as navigation through bridges) or localised channel problems for which the recommended width or alignment requirements cannot be satisfied.”

Verder behandelt men in §2.2 en §2.3.3 Air draught clearance. Aangezien voor de passage van de zeevaart gekozen wordt voor beweegbare brug is de speling tussen het bovenste gedeelte van het schip en het onderste gedeelte van het brugdek minder bepalend maar anderzijds zal gekozen worden voor een specifieke air draught in gesloten toestand zodat ook dit moet beschouwd worden.

Specifiek in §2.3.3 Air draught clearance (ADC) wordt het volgende geschreven:

“So far we have been concerned with the vertical clearance under the ship. In this case, the deepest draught ship usually presents the worst-case scenario. For concept design of overhead structures, however, the light-loaded ship presents the worst-case scenario since it will have the largest air draught to pass safely under a fixed overhead structure (i.e. an operational issue). Thus, the design ship for air draught is probably different from the design ship for channel depth. A simple estimate of the required air draught clearance ADC to cover uncertainties in ship draught and vertical movements during passage under bridges, power lines and near airports is:

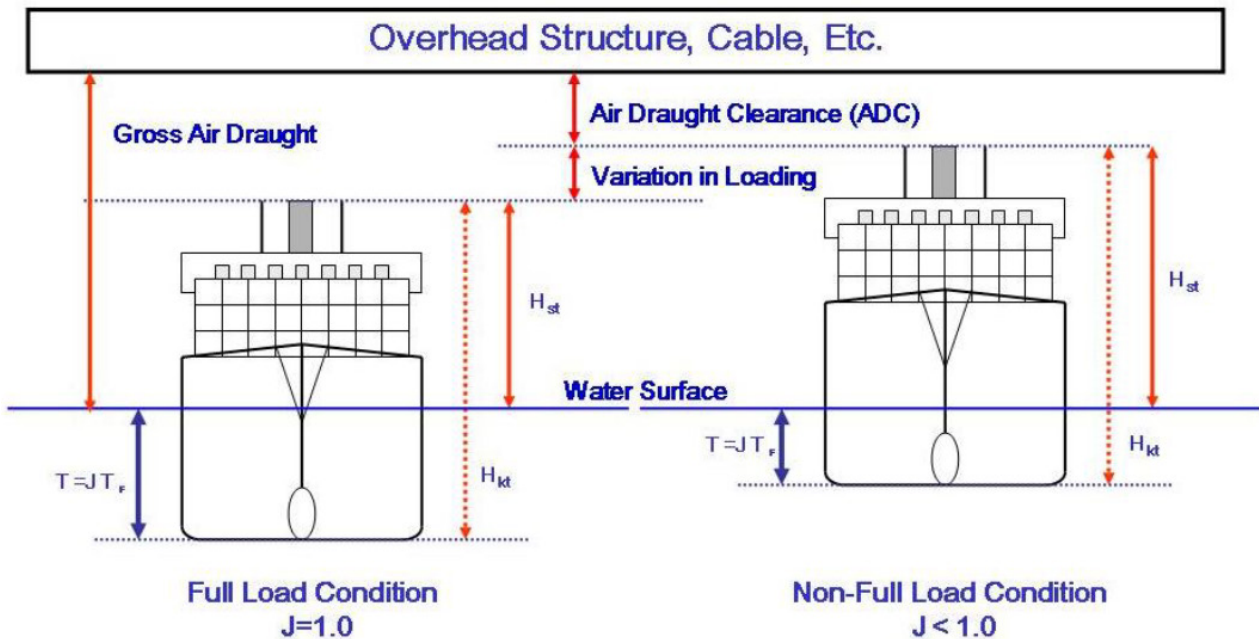
$$ADC = 0.05H_{st} \geq 2m \text{ (2-9)}$$

Therefore, the clearance between the top of the ship and the bottom of an overhead structure should be equal to or greater than 5 % of Hst, but not less than 2 m for inner channels (see Table 2.2). For outer channels where wave conditions can be significant, an additional allowance equal to 0.4T should be included. When the use of tidal windows or high tides for ship transit are significant, calculation of ADC should allow for the highest probable navigable water level (e.g. high water datum such as HAT and/or tidal surge), unlike calculations for channel depth that typically use LAT (or equivalent low water datum).

Note that power lines may sag due to age, ice, snow, temperature, etc. and may require additional allowances. Finally, additional clearance should be provided to prevent arcing of power lines that might occur if the ship is too near to the line.”

In de bijlage F en §F.2 wordt Figuur 4 illustratief beschreven. Deze figuur geeft aan hoe men bij kabels en bruggen moet rekening houden met de ladingsconditie van de passerende schepen, het bovenwatergedeelte van het ontwerpschip en de getijvariatie bij een rivier zoals de Schelde.

Figuur 4 – Variation in air draught clearance as a function of ship loading condition [Takahashi, 2007] [4]



2.3.2 Ontwerprichtlijnen voor binnenvaart

Voor ontwerprichtlijnen voor de binnenvaart zijn opnieuw nationale en internationale ontwerprichtlijnen voorhanden. Twee nationale worden er uitgelicht.

US Army Corps of Engineers [5]

Ook voor de Amerikaanse richtlijnen voor de locatie van een brug en te respecteren spelingen zijn er bepalingen die zijn voorgesteld in de onderstaande tekst.

Section V. **Bridge** Location and Clearances

- * 4-12. Location. Numerous accidents involving collision with bridge piers have occurred on inland waterways with considerable damage to property and, in some cases, loss of life. It is important, therefore, that the location and orientation of bridges and clearances provided for navigation be such as to eliminate as far as practicable any danger of collision with the bridge structure. As a general rule, bridges should not be located in a bend, just downstream of a sharp bend, or where crosscurrents can be expected. When more than one bridge is required in a given locality, the bridges should either be close together with the piers in line or far enough apart to permit tows passing one bridge to become properly aligned for passage through the next bridge.
- * 4-13. Clearances. The navigation span (horizontal clearance between piers) should be somewhat greater than the designed width of the channel in the reach depending on the alignment and velocity of currents in the reach, alignment of the channel approaching the bridge particularly from

EM 1110-2-1611
Change 1
15 Mar 82

upstream, and the probable effects of the prevailing winds. The vertical clearance should be sufficient to permit tows to clear the low members of the bridge within the navigation span at the maximum navigable flow. Bridge clearances, both horizontally and vertically, are the responsibility of the U. S. Coast Guard and planning should be coordinated with the local district of that organization.

Hierbij stelt men bijvoorbeeld dat een brug beter niet in een bocht wordt geplaatst en dat men moet rekening houden met de wind- en stroominvloeden bij het bepalen van de doorvaartbreedte en de verticale speling.

Waterway Guidelines 2011, Rijkswaterstaat.

In deze Nederlandse ontwerprichtlijnen wordt een volledig hoofdstuk (Hoofdstuk 5) aan bruggen besteed. Enkele bepalingen die hier van toepassing zijn:

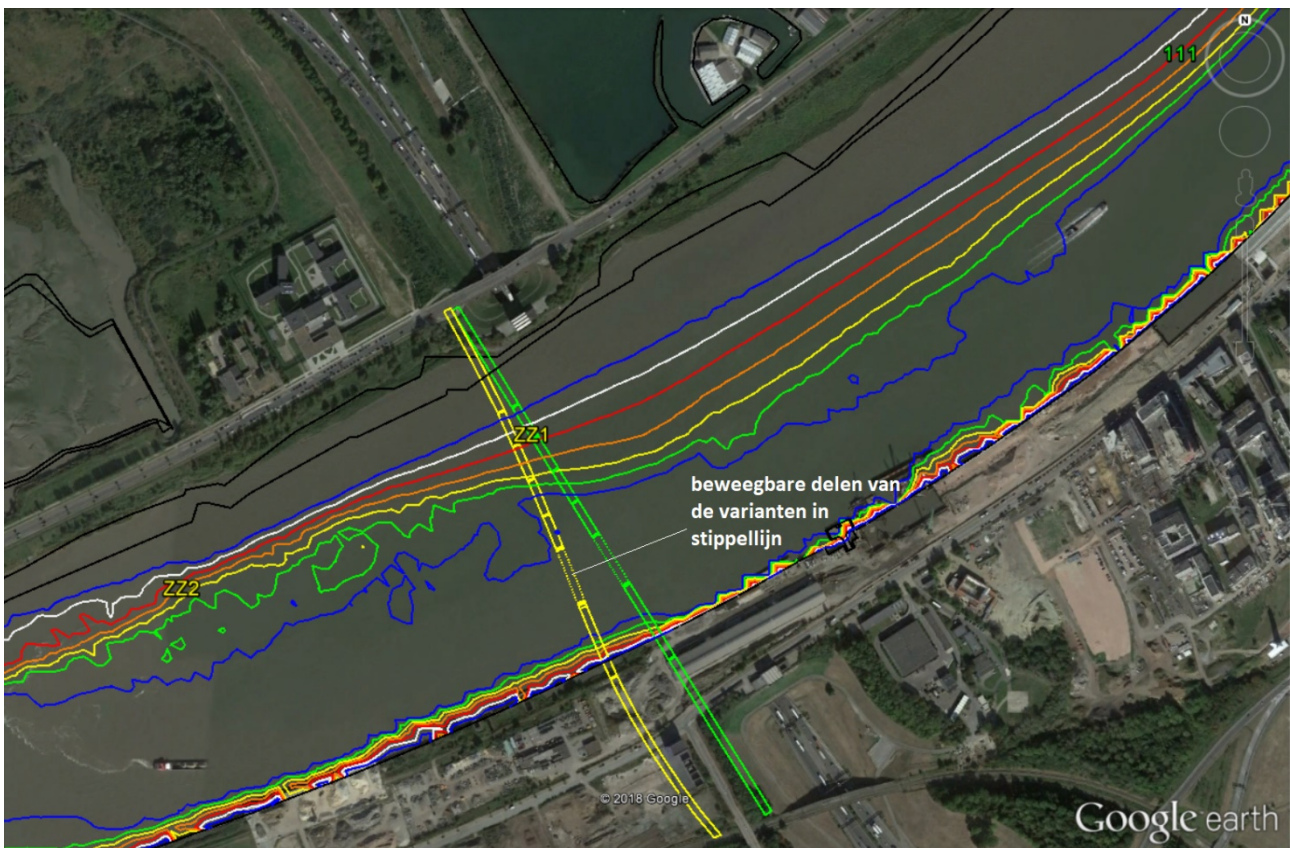
- Indien een brug in een bocht wordt geplaatst, dan moet de doorvaartbreedte deze zijn van een rechte sectie verhoogd met de bochttoeslag.
- De doorvaartbreedte wordt bepaald door de trafiekdensiteit en het bijhorende gekozen profiel (normaal, krap of enkelstrooks).
- Er worden aanbevelingen geformuleerd voor het plaatsen van beweegbare en vaste brugdelen in de binnen- of buitenzijde van een bocht. Telkens wordt aangegeven dat bochtverbredingen moeten toegepast worden voor het geladen of het ongeladen schip.
- Wanneer de brug de waterweg niet kruist onder een rechte hoek, dan wordt geleiding langs de brugpijlers aangeraden.
- Er wordt ook gewezen op de interactieproblemen tussen verkeersstromen over de brug en verkeersstromen op de waterweg. Hierbij wordt aangegeven dat ondanks de hogere kost van tunnels, toch voor deze oplossing kan gekozen worden om de belangrijke duurtijd en frequentie van oponthoud van een verkeersstroom te vermijden.
- Gezien de waterweg ter hoogte van de fietsersbrug zowel voor binnenvaart als zeevaart toegankelijk moet zijn en de binnenvaart best niet gehinderd wordt tijdens een passage van een zeeschip door het beweegbare deel van de brug, wordt aangeraden te kiezen voor een normaal profiel onder het vaste gedeelte van de brug grenzend aan het beweegbare deel. Het ontwerpschip voor dit normale profiel zou een klasse VIb schip kunnen zijn (tot 190 m scheepslengte en 22.8 m breedte) of een klasse Vb (zelfde scheepslengte maar halve scheepsbreedte of 11.4 m). Een normaal profiel vereist immers een minimale vaarwegbreedte van 4 keer de scheepsbreedte zonder bijkomende verbredingen. Dit betekent dat het vaste gedeelte van de brug ook al meer dan 80 m zou moeten zijn voor een klasse VIb. Rekening houdend met de afmetingen van de nieuwe Zeesluis te Wintam (250 m lengte op 25 m breedte) moet men minstens naar combinaties van klasse VIb duwkonvoeien met kleinere klassen gaan om de gewenste doorvaartbreedte van het vaste gedeelte te bepalen. De Nederlandse ontwerprichtlijnen zijn hier echter niet voor opgesteld. De Duitse richtlijnen die hier niet besproken worden, laten dit wel toe.

3 Simulatiestudie

3.1 Voorbereiding

Om op korte termijn voeling te krijgen met de impact van een fietsersbrug op de Schelde werden in de bestaande simulatieomgeving 18_099 van de tijdelijke vaargeulen voor de Scheldetunnel twee varianten van een fietsersbrug ingebouwd (de gele en groene variant van Figuur 2, Figuur 5). Andere omgevingscondities zoals stroming en wind werden niet gewijzigd (of slechts door vermenigvuldiging met een factor) en omvatten dus de stroompatronen en de uniforme wind zonder een fietsersbrug. Concreet betekent dit dat de aanwezigheid van pijlers in de vaarwegsectie niet werd in rekening gebracht in het stroompatroon.

Figuur 5 – De gele en groene variant met beweegbaar brugdeel in de simulatieomgeving



3.1.1 Ontwerpschip

Voor het ontwerpschip werden tankers gekozen (Stolt en Rhone) met afmetingen die overeenkomen met de zeeschepen die nu opwaarts de geplande fietsersbrug varen. De afmetingen van deze schepen zijn voorgesteld in Tabel 1. Verder werd ook één simulatie uitgevoerd met een klein schip Kapitonas om het verschil te zien met de grotere tankers. Indien de bedrijven opwaarts van de geplande fietsersbrug in het toekomstperspectief met grotere schepen (langer, breder of dieper) zullen opereren, dan moeten opnieuw simulaties uitgevoerd worden met dit ontwerpschip om de randvoorwaarden voor het ontwerp van de fietsersbrug vast te leggen.

Tabel 1 – Afmetingen ontwerpschepen voor simulatie

Parameter	Eenheid	Stolt	Rhone	Kapitonas
Lengte over alles	m	176.8	175.0	110.0
Breedte	m	31.01	31.00	15.80
Diepgang	m	10.80	7.0 / 10.8	5.23

3.1.2 Bathymetrie, wind en stroming

De actuele bathymetrie van juni 2018 werd gebruikt. Tijdens de simulaties werden alleen extreme omgevingscondities meegenomen. Omdat het voorstrooms varen moeilijker is dan tegenstrooms, werden de simulaties in opvaart bij maximale vloedstroom uitgevoerd en in afvaart bij maximale ebstroom². In [2] werd een toename van de stroom verwacht door de vermindering van de doorstroomsectie onder invloed van de pijlers van de fietsersbrug. Daarom werden vanaf simulatie 005 de stroomvelden in vloed en eb vermenigvuldigd met een factor 1.2 om deze toegenomen stroom in rekening te brengen. Dit betekent dat de stroomsterkte 20% toeneemt.

De windrichting werd gevarieerd tussen zuidoostelijke en noordwestelijke richting waarbij de laatste richting het meest werd toegepast omdat dit het moeilijkste manoeuvre gaf. De windkracht werd gevarieerd tussen 5 en 7 Beaufort.

De gesimuleerde wind in de simulator is een vlagerige wind in grootte en in richting. De vlagerigheid die optreedt binnen een synoptische meetperiode van 10 minuten wordt nagebootst met het Von Karmanspectrum. Daarnaast wordt in de simulator rekening gehouden met een terreinklasse die gebaseerd is op de indeling in ruwheidsklassen volgens Davenport. De afscherming van de wind door afgemeerde schepen, de fietsersbrug of kades werd niet in rekening gebracht tijdens de simulatie. Afhankelijk van het type brug kan dit wel een invloed hebben.

Bij alle vaarten werd een vlagerige wind bij terreinklasse 3 toegepast. Voor deze klasse is de procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen gegeven in Tabel 2. Voor een gekozen Beaufortklasse van 7 Bft tijdens de simulaties zal bijvoorbeeld volgens Tabel 2 gedurende 23.6 % van de tijd de windkracht in Beaufort overeenkomen met 8 Bft. Omdat het evalueren van de windsterkte tijdens het varen op de rivier in werkelijkheid gebaseerd wordt op de geregistreerde windsnelheden op de windmeters van de schepen of VTS, blijken tijdens simulaties de gemiddelde windklassen sterker te zijn dan in werkelijkheid. Een gemiddelde windkracht van 7 Bft tijdens de simulaties zal dus door de loodsen door de pieken in werkelijkheid als een 8 Bft klasse geïnterpreteerd worden.

² In het centrale deel van de beweegbare brug is de maximale vloedstroom 1.6 m/s (3.0 kn) en is de maximale ebstroom 1.2 m/s (2.4 kn) zonder een verhoging met 20%. Met een verhoging van 20% worden deze stroomsnelheden 1.9 m/s (3.6 kn) en 1.5 m/s (2.9 kn).

Tabel 2 – Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen voor terreinklasse 3

Nominale windsnelheid		Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen						
Bft	m/s	3 Bft	4 Bft	5 Bft	6 Bft	7 Bft	8 Bft	9 Bft
4	6.7	2.7	84.6	12.7				
5	9.4	0.7	18.5	61.6	18.9	0.3		
6	12.3	0.1	1.9	21.6	54.9	20.5	1	
7	15.5		0.2	3.5	23.7	46.8	23.6	2.2

3.2 Simulatieprogramma

Het simulatieprogramma uitgevoerd op 21 februari 2019 door twee loodsen in aanwezigheid van een derde loods, is samengevat in Tabel 3. De eerste drie simulaties werden uitgevoerd met het goed manoeuvreerbare schip Stolt. Vervolgens werden alle andere simulaties, behalve de laatste (schip Kapitonas), uitgevoerd met het moeilijkere schip Rhone. Beide schepen zijn representatief voor de zeeschepen die opwaarts de fietsersbrug varen. De windkracht werd in hoofdzaak op 7 Bft ingesteld (9 simulaties tegenover vier bij 6 Bft en één bij 5 Bft). Er werden 8 simulaties in de groene variant van de brug uitgevoerd en 6 in de gele variant.

In de vier laatste simulaties met de tanker werd een 65 ton sleepboot ingezet achteraan. Deze sleepboot werd gebruikt om de snelheid over de grond te beperken bij het doorvaren van de fietsersbrug. Indien immers de brug zou aangevaren worden, dan zijn de impactsnelheid en de massa van het schip bepalend. Door de loodsen werd aangegeven dat vanuit nautisch oogpunt een snelheid van 8 knopen als maximum kan beschouwd worden. Of deze snelheid overeenkomt met de ontwerpsnelheid voor aanvaring met de brug of aanvaringsbeveiliging is niet gekend.

Tabel 3 – Overzicht simulaties

Run	Schip	T (m)	Variant	Op/Af	Stroom	Wind	Sleepboot
18_120_000	Stolt	10.8	Groen	Op	VLOED	ZO 5 Bft	Geen
18_120_001	Stolt	10.8	Groen	Op	VLOED	ZO 7 Bft	Geen
18_120_002	Stolt	10.8	Groen	Op	VLOED	NW 7 Bft	Geen
18_120_003	Rhone	10.8	Groen	Op	VLOED	NW 7 Bft	Geen
18_120_004	Rhone	7.0	Groen	Op	VLOED	NW 7 Bft	Geen
18_120_005	Rhone	7.0	Groen	Af	EB 1.2 ³	NW 7 Bft	Geen

³ De toevoeging 1.2 duidt op de vermenigvuldigingsfactor voor de stroomsterkte.

Run	Schip	T (m)	Variant	Op/Af	Stroom	Wind	Sleepboot
18_120_006	Rhone	10.8	Groen	Af	EB 1.2	NW 7 Bft	Geen
18_120_007	Rhone	7.0	Groen	Af	EB 1.2	NW 7 Bft	Geen
18_120_008	Rhone	7.0	Geel	Af	EB 1.2	NW 6 Bft	Geen
18_120_009	Rhone	7.0	Geel	Af	EB 1.2	NW 6 Bft	1 x 65 ton
18_120_010	Rhone	7.0	Geel	Op	VLOED 1.2	NW 7 Bft	1 x 65 ton
18_120_011	Rhone	7.0	Geel	Op	VLOED 1.2	NW 7 Bft	1 x 65 ton
18_120_012	Rhone	7.0	Geel	Op	VLOED 1.2	NW 6 Bft	1 x 65 ton
18_120_013	Kapitonas	5.23	Geel	Op	VLOED 1.2	NW 6 Bft	Geen

3.3 Analyse

De simulaties worden geanalyseerd op basis van de feedback van de loodsen (Bijlage 1) en de padbreedtes van het schip in KMZ bestanden te openen in Google Earth (Bijlage 2). Op deze KMZ bestanden wordt ook het tijdsverloop van de controleparameters (machine en roer, boegschroef werd enkel door de Kapitonas gebruikt), de scheepssnelheden (langs, dwars en giersnelheid) en indien gebruikt, de thrust van de sleepboot weergegeven.

Bij de analyse wordt een onderscheid gemaakt tussen simulaties uitgevoerd bij de groene en gele variant van de fietsersbrug. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat de locatie van het beweegbare deel van de brug enigszins verschillend is en hierdoor ook de tracks van de schepen zullen verschillen.

3.3.1 Groene variant

Voor de bespreking van de groene variant van de brug wordt een onderscheid gemaakt tussen de simulaties uitgevoerd met het goed manoeuvreerbare schip Stolt en het moeilijker manoeuvreerbare schip Rhone.

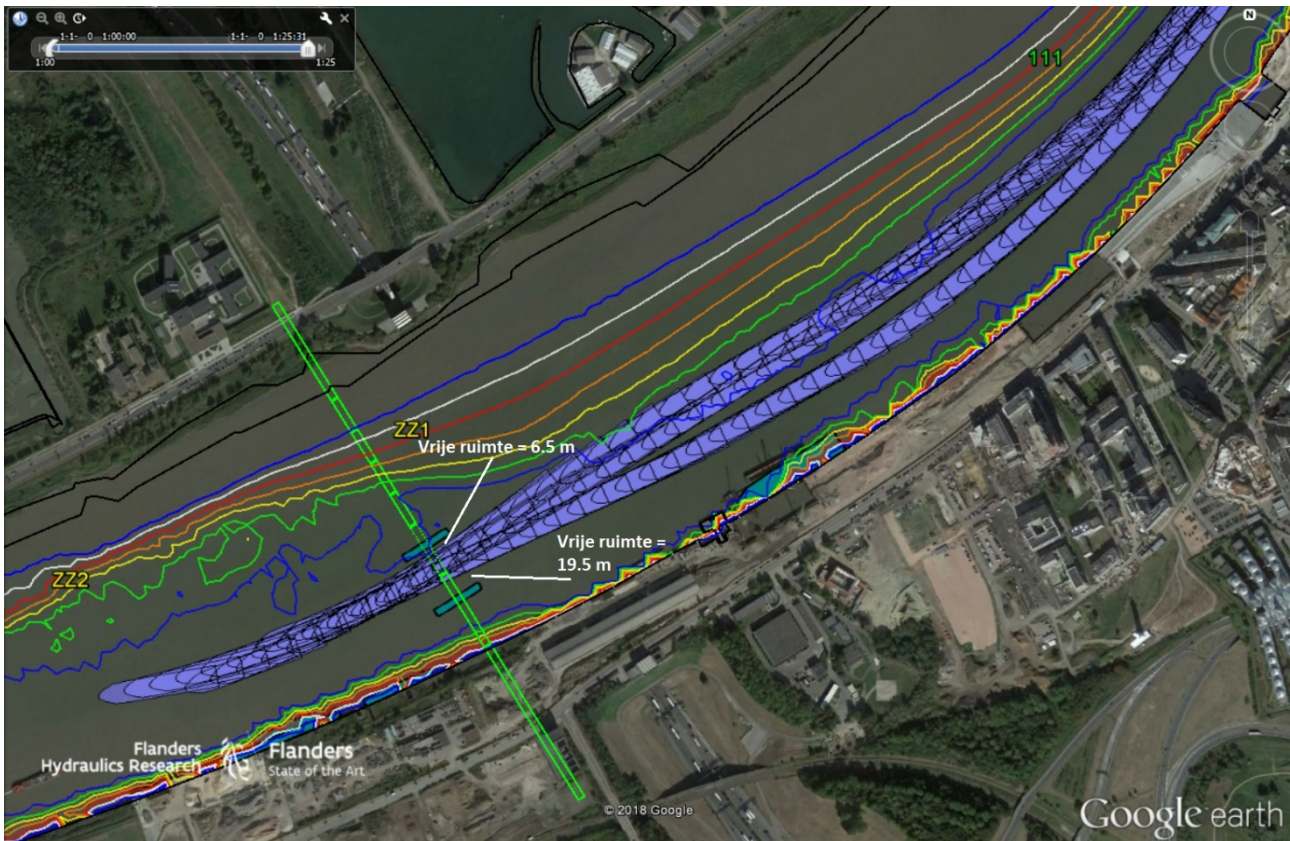
Stolt Kimberley, goed manoeuvreerbare tanker

Alle simulaties uitgevoerd met de Stolt zijn voorgesteld in Figuur 6. Omdat de positie van het beweegbare gedeelte van de brug niet overeenkwam met de geleverde data werden twee duwbakken in de omgeving geplaatst om de werkelijke opening van de brug aan te geven. Vanaf simulatie 003 werd dit verholpen. De afstand van de duwbak aan de rechteroever tot deze oever is ongeveer 92 m. Alle simulaties werden uitgevoerd in opvaart. Simulatie 000 startte het verst van de brug, afwaarts boei STA3, waarbij nog door de bocht van de Rijnkaai werd gevaren. De volledige simulatie duurde 25.5 minuten. Deze simulatie was ook met de minste wind van alle simulaties (ZO 5 Bft). De brug wordt iets meer aan de noordelijke zijde gepasseerd. De aanloop is redelijk opgelijnd.

Door de sterkere windkracht bij de twee volgende simulaties wordt er geanticipeerd in de nadering van de brug met een meer zuidelijke aanloop bij ZO 7 Bft (run 001) en een meer noordelijke aanloop bij NW 7 Bft (run 002). Doel is om eerst op te sturen tegen de wind en zich vervolgens door de wind te laten afzakken naar de opening van de brug. Bij simulatie 001 verloopt dit redelijk vlot en gaat het schip onder een drifhoek door de brug (padbreedte van het schip voor en achter de brug is groter dan de scheepsbreedte). In deze

simulatie vertrekt het schip afwaarts de brug ook vanuit het diepere deel van de vaargeul. In run 002 is het moeilijker om het schip van de ondiepte aan de binnenbocht weg te sturen en komt het schip dicht bij de noordelijke pijler van de brug (afstand 6.5 m). Deze afstand wordt als te klein ervaren. Een veiligheidsafstand van minstens 10 m is gewenst.

Figuur 6 – Groene variant brug: overzicht runs 000 tot en met 002, schip Stolt Kimberley



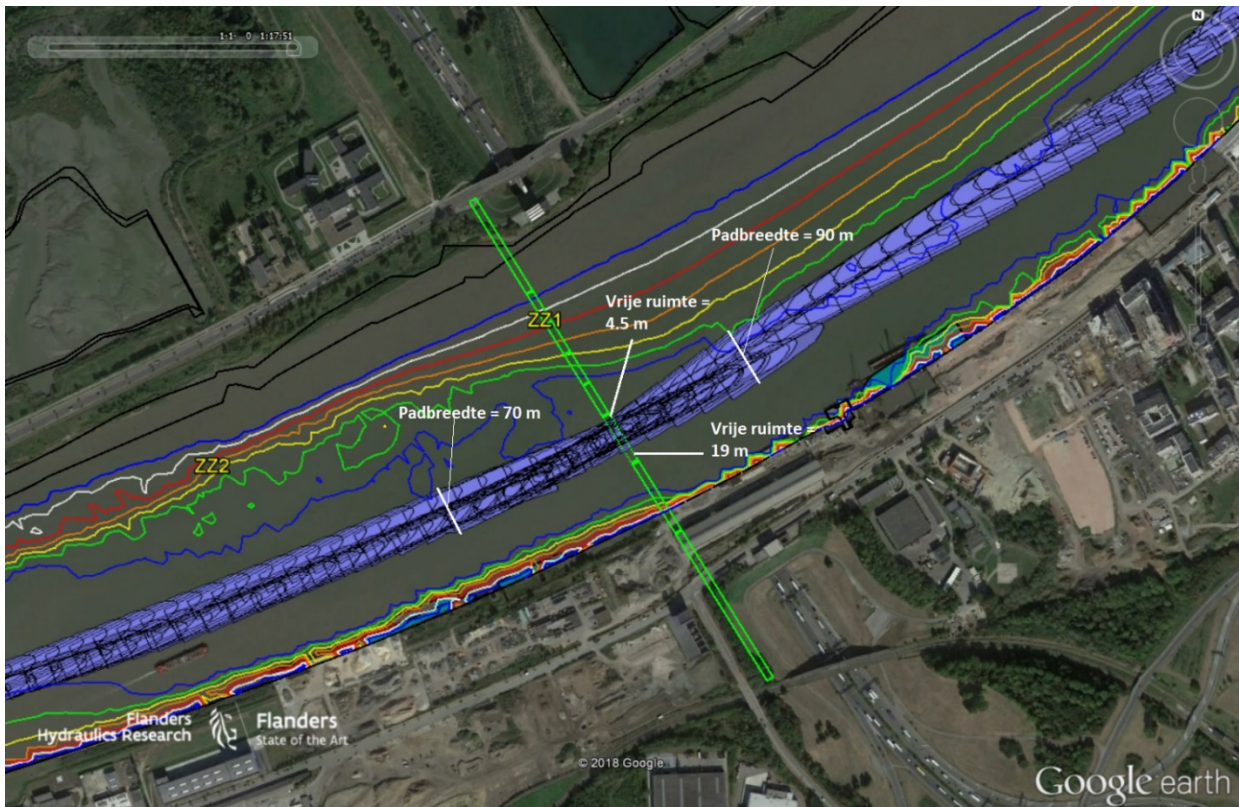
Het sturen in het centrale deel van de brug is onder invloed van stroom en wind en door de asymmetrische bathymetrie van de vaargeul onmogelijk. Voldoende reserve moet dus aanwezig zijn om bij een asymmetrische aanloop niet tegen de brug te varen. Bovendien was in de laatste run 002 de vaarsnelheid over de grond bij het passeren van de brug hoger dan 8 knopen. Dit werd veroorzaakt door het geven van engine kicks om het schip weg van de ondiepere zone aan de binnenbocht te sturen. In de feedback van de loodsen in Bijlage 1 wordt duidelijk aangegeven dat bij NW 7 Bft en zonder achtersleepboot het doorvaren van een 80 m open bruggedeelte niet veilig is.

Rhone, moeilijk manoeuvreerbare schip

Met het schip de Rhone werden verschillende simulaties uitgevoerd in zowel opvaart als afvaart zonder het gebruik van een sleepboot. Deze simulaties 003 tot en met 007 worden allemaal voorgesteld in Figuur 7. De vrije ruimte tussen de tracks van alle simulaties en de noordelijke pijler neemt nog verder af tot een waarde van 4.5 m. Tegelijkertijd stelt men ook vast dat de padbreedte van de schepen aan de opwaartse en afwaartse zijde groter is dan meer dan twee keren de scheepsbreedte, namelijk 70 tot 90 m. In de ontwerprichtlijnen (zie Hoofdstuk 2) wordt aangegeven dat een brug bij voorkeur in een rechte sectie van een vaarweg wordt gepland waarbij vijf scheeps lengtes voor en achter de brug een constant (symmetrisch) profiel is gewenst. Dit is hier niet het geval. Het verschil in padbreedte opwaarts en afwaarts de fietsersbrug heeft onder meer te maken dat men aan de afwaartse zijde bij het varen in opvaart nog meer in de bocht zit dan aan de

opwaartse zijde. Alle simulaties werden uitgevoerd bij NW 7 Bft zodat in overeenkomst met de simulatie 002 met de Stolt bij NW 7 Bft er meer aan de noordelijke zijde van de brug wordt aangelopen. Men moet immers een bocht maken bij een krachtige dwarse wind en stuurt hierbij op. Men probeert ook te vermijden om met een grote drifthoek door de brug te gaan. Het blijft echter een zeer moeilijk manoeuvre waarvoor de doorvaartbreedte van 80 m niet volstaat. Het vergroten van de opening, bijvoorbeeld aan de noordelijke zijde met 10 m, zorgt er voor dat daar toch meer ruimte ontstaat.

Figuur 7 – Groene variant brug: overzicht runs 003 tot en met 007, schip Rhone



3.3.2 Gele variant

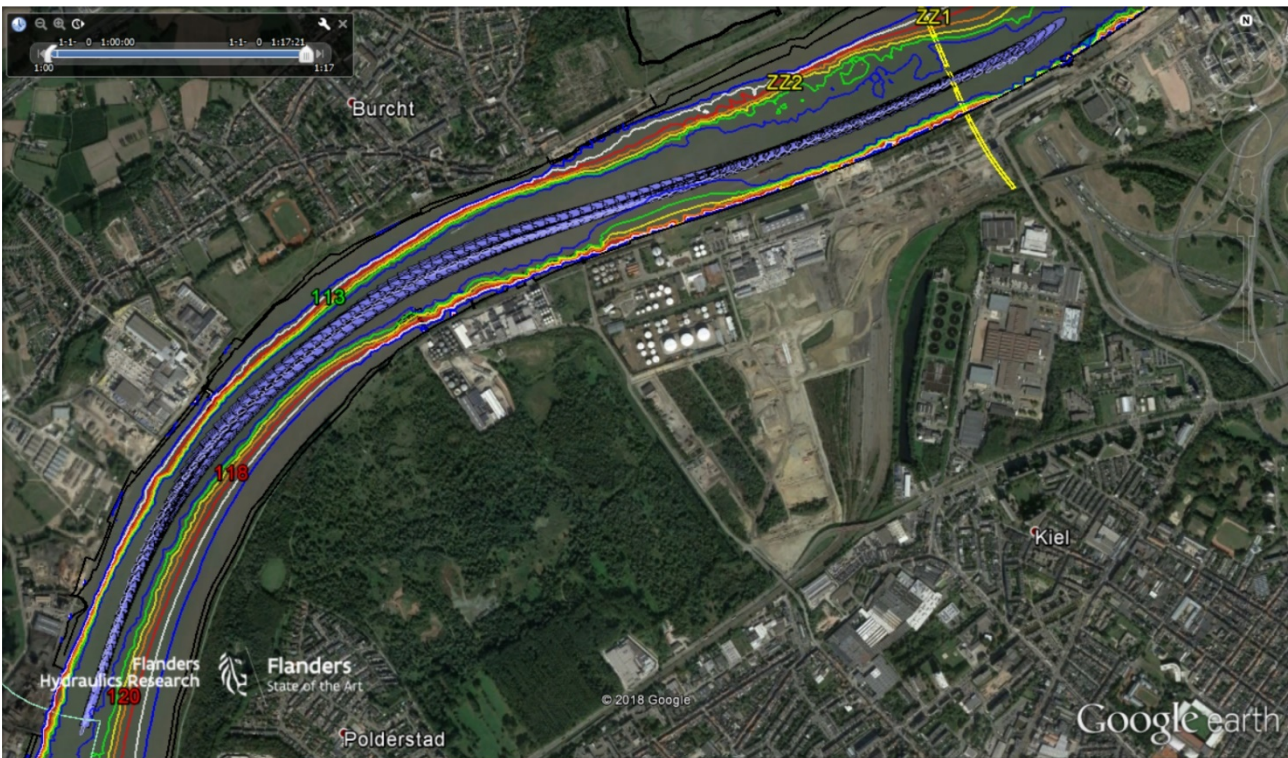
Er wordt een onderscheid gemaakt tussen simulaties uitgevoerd met het ontwerpschip Rhone en met een kleiner vrachtschip de Kapitonas.

Rhone, moeilijk manoeuvreerbare schip

Vijf simulaties (runs 008 tot en met 012) in de gele variant werden uitgevoerd met het schip Rhone zowel in op- als afvaart. Bij vier van deze simulaties werd een achtersleepboot gebruikt om het effect van een achtersleepboot te ervaren bij windkrachten vanaf 6 Bft.

De simulaties in afvaart (008 en 009) zijn voorgesteld in Figuur 8. Hierbij bedraagt de afstand tot de zuidelijke pijler van de brug 6 m en tot de noordelijke pijler 29 m bij de passage van de brug. In tegenstelling tot de vaststellingen in de groene variant wordt nu dichterbij de zuidelijke pijler gevaren. Tegelijkertijd vinden de loodsen het verschil tussen beide brugvarianten niet significant. Het verschil tussen windkracht 6 en 7 Bft wordt wel goed gevoeld. De afvaart bij 6 Bft werd zonder sleepboot uitgevoerd. Hoewel het manoeuvre meer onder controle was dan bij 7 Bft wordt toch aangeraden om ook bij 6 Bft een sleepboot in te zetten. De duur van de simulaties van boei 120 (start van de simulaties) tot voorbij de brug bedraagt 17.5 minuten.

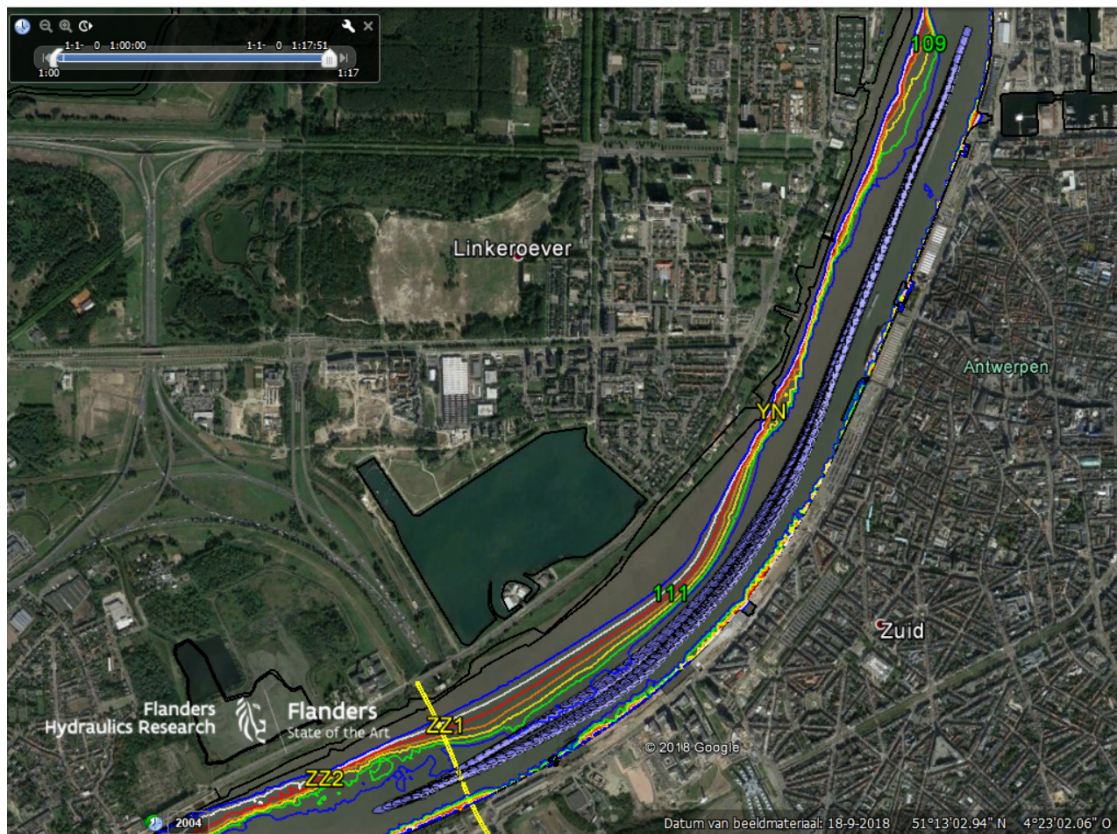
Figuur 8 - Gele variant brug in afvaart: overzicht runs 008 en 009, schip Rhone



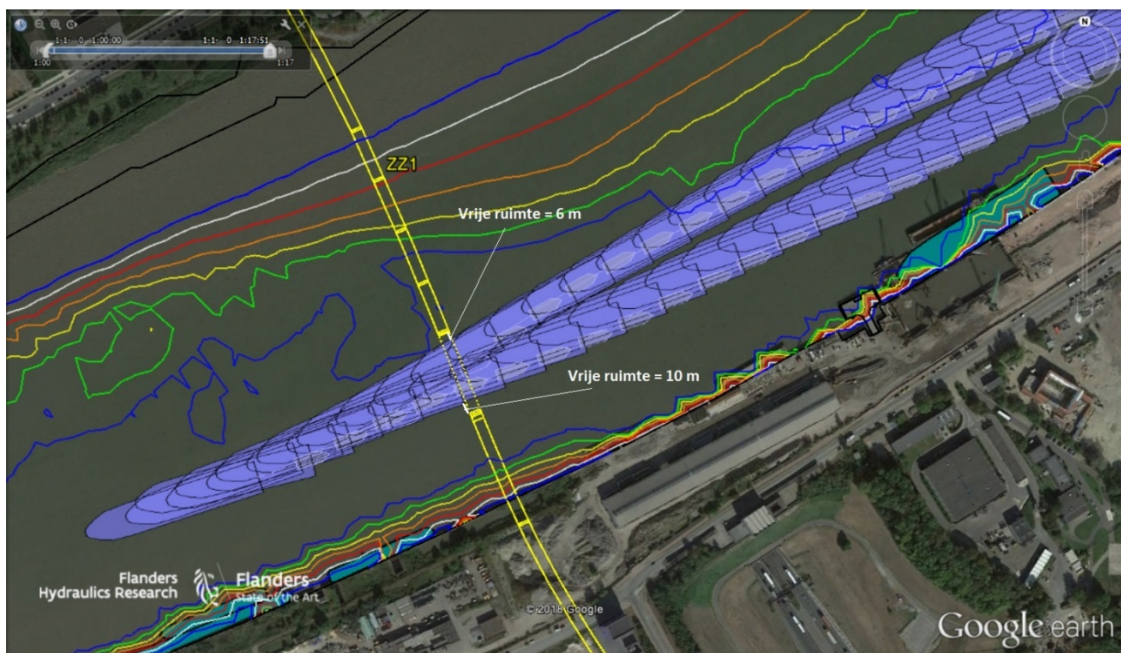
De simulaties in opvaart (010 en 012) waarbij geen noodscenario werd uitgevoerd, zijn voorgesteld in Figuur 9 als overzicht en in Figuur 10 als detail. Beide simulaties starten aan boei 109 en duren ongeveer 18 minuten tot de schepen de brug volledig gepasseerd zijn. Tijdens run 010 (meest noordelijke track in Figuur 10) wordt met een drifthoek door de bocht gevaren voor de brug en probeert men met het schip onder een beperkte drifthoek door de brug te varen. Hierdoor komt men echter op 6 m van de noordelijke pijler van de brug wat te weinig is om een aanvaardbare afstand tot de pijlers te respecteren. Bij run 012 (meest zuidelijke track in Figuur 10) probeert men hierop te anticiperen door onder een drifthoek naar de brug te blijven gaan en dus zuidelijker de brug te naderen. Het ongeveer centraal aanlopen van de brug onder een drifthoek zorgt voor een vrije ruimte tussen het schip en de zuidelijke pijler van 10 m. Dit wordt als aanvaardbaar bevonden echter het varen onder een drifthoek door de brug in run 012 geeft een padbreedte van 44 m die dus 42% groter is dan de scheepsbreedte. In de bocht voor de brug is deze padbreedte nog groter tot 54 m. Door het zuidelijker aanvaren van de brug blijft het schip in run 012 wel verder van de ondiepte in de binnenbocht.

Indien de twee wijzen van naderen van de brug in run 010 en 012 worden gecombineerd dan bekomt men twee scheepslengtes voor de brug een gezamenlijke padbreedte van 100 m.

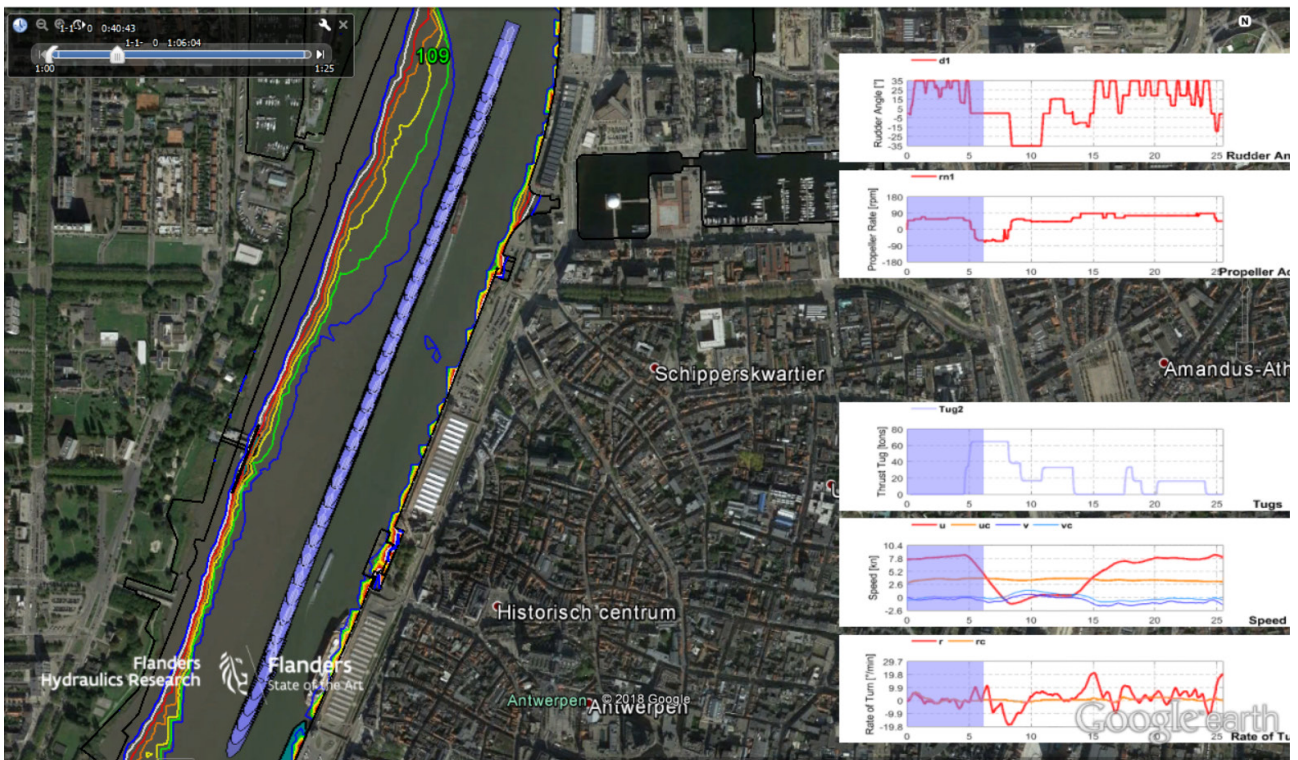
Figuur 9 - Gele variant brug in afvaart: overzicht runs 010 en 012, schip Rhone



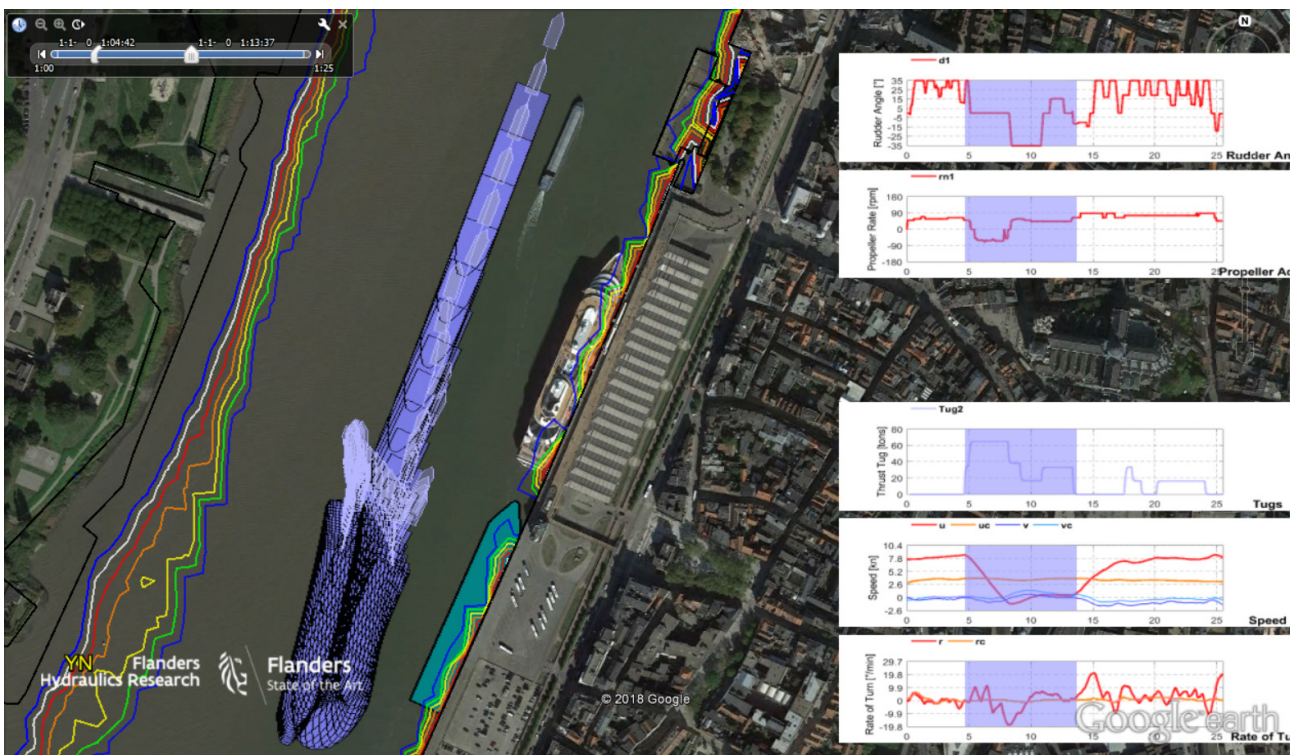
Figuur 10 - Gele variant brug in afvaart: overzicht runs 010 en 012, schip Rhone, detail



Figuur 11 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 011, schip Rhone, minuut 0 tot 6

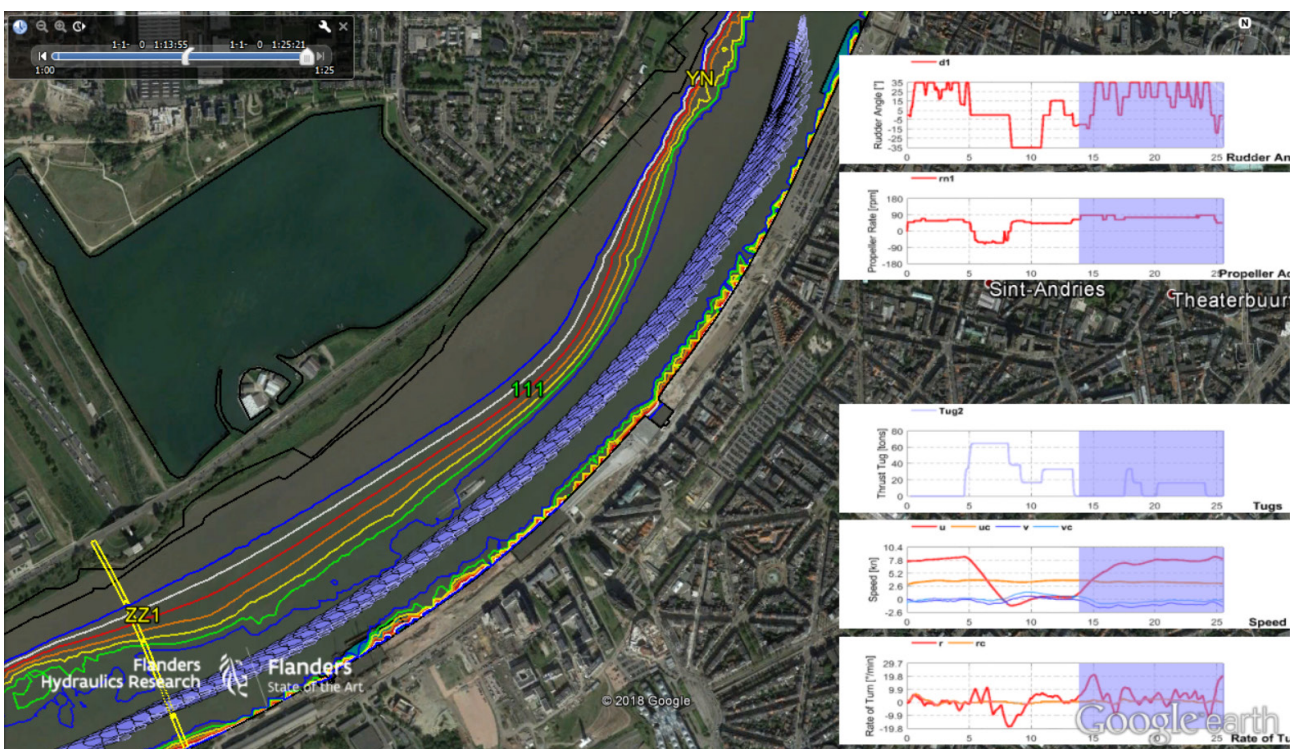


Figuur 12 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 011, schip Rhone, minuut 4.5 tot 13.5: afstoppen van het schip en ter plaatse houden



Er werd ook een noodscenario uitgevoerd in run 011 waarbij een achtersleepboot het schip assisteerde. De loodsen waren vooraf niet op de hoogte van het niet volledig openen van de brug door technische problemen. Ze vertrokken aan boei 109 en na ongeveer 4.5 minuten werd, ter hoogte van de cruiseterminal, het bericht gegeven dat de brug toch niet volledig zou opengaan waardoor een passage niet meer mogelijk was (Figuur 11). De cruiseterminal of de Staatsteiger werden aanvankelijk gezien als de point of no return voor de opvaart. Door de aanwezigheid van een achtersleepboot kan het ontwerpschip op een lengte van 615 m afgestopt worden en ter plaatse worden gehouden tot het signaal gegeven wordt dat de brug toch volledig zal opengaan (Figuur 12). Vervolgens wordt het schip tussen minuut 13.5 en 25.5 terug versneld zodat met de gewenste snelheid van ongeveer 8 knopen over de grond door de brug kan gevaren worden (Figuur 13).

Figuur 13 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 011, schip Rhone, minuut 13.5 tot 25.5: versnellen van het schip vanuit stilstand en passage van de brug



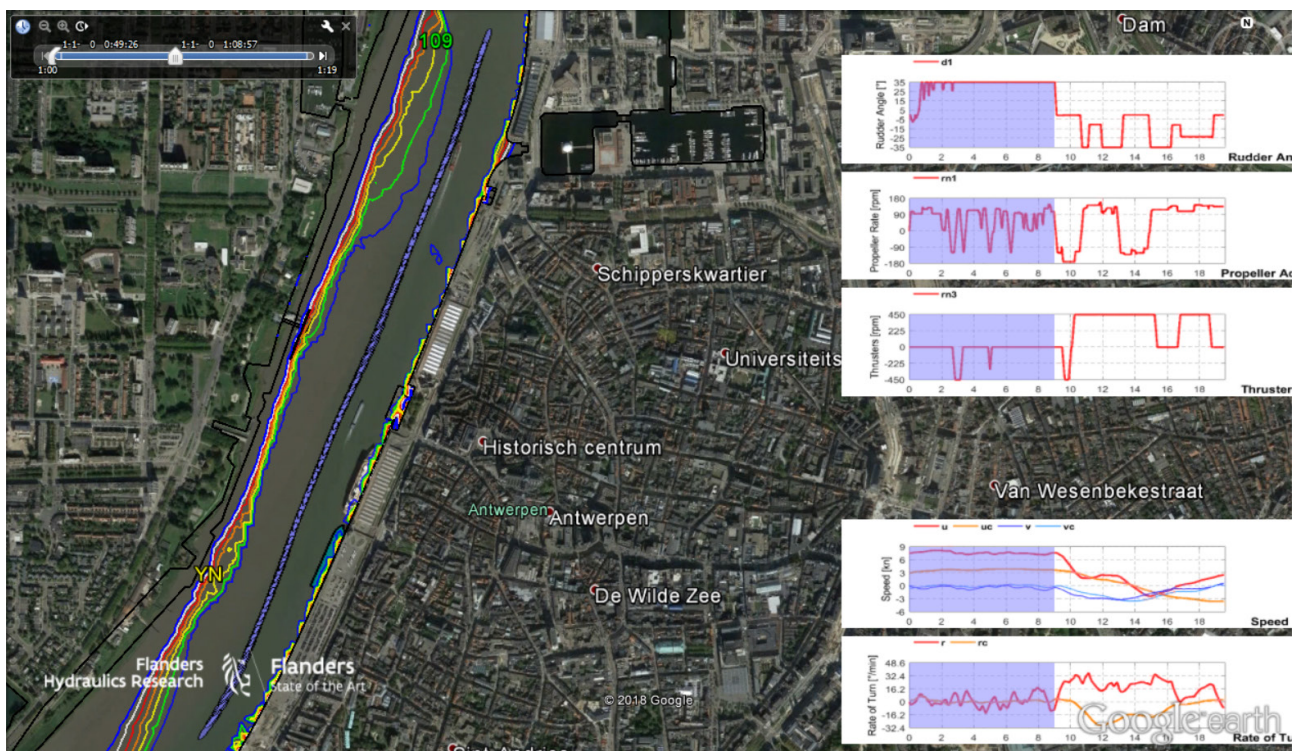
Bij het uitvoeren van een stopmanoeuvre door technisch defect van de brug moet men er rekening mee houden dat het schip bij voorkeur ongeveer ter hoogte van de cruiseterminal moet gestopt kunnen worden zodat het schip niet in de smallere bocht terecht komt. Ter hoogte van de cruiseterminal is het vaarwater nog redelijk breed (afhankelijk van de dieptelijn tussen 200 en 300 m). Indien het schip vanuit stilstand dan terug op snelheid moet gebracht worden op de stroom is zeker de afstand van de cruiseterminal tot de brug nodig om dit nog enigszins aanvaardbaar te laten verlopen: versnellen, bochten en olijnen voor de brug. Bij de passage van de brug was de afstand tussen schip en zuidelijke pijler wel onaanvaardbaar klein tot 1.5 m zodat de brug net niet geraakt werd. Dit maakt dat het laatste interventiepunt (LIP) voor het ontwerpschip ter hoogte van de Staatsteiger ligt en niet dicht bij de brug kan liggen.

110 m vrachtship Kapitonas

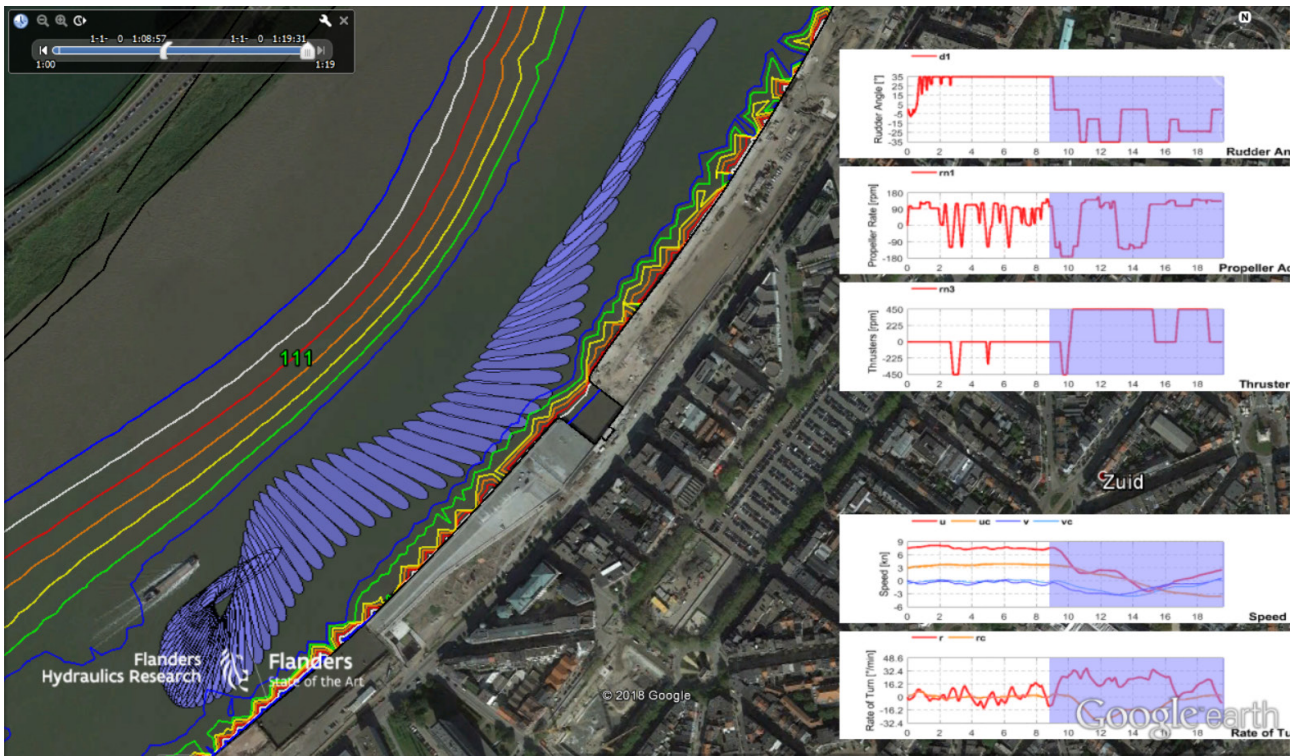
Het doel van simulatie 013 was het bepalen van het laatste interventiepunt voor een kleiner vrachtschip dan het tot nu toe gebruikte ontwerpschip. Hiervoor werd een simulatiemodel van een 110 m schip gebruikt met boegschroef. Gezien de lengte van het schip en de beschikbaarheid van een boegschroef werd geen sleepboot ingezet. Het schip vertrekt aan boei 109 en vaart gedurende 9 minuten richting de brug (Figuur 14). Er wordt nog opwaarts de boei YN gemeld dat de brug niet kan gepasseerd worden. Het schip voert direct een stopmanoeuvre uit, voorstrooms in de vloedstroom (Figuur 15). Op minuut 19.5 is het schip volledig gezwaaid en terug weg van de brug aan het varen met 3 knopen over de grond. Het schip is tussen minuut 9 en 19.5 maximaal 950 m verzet richting de brug. De afstand tot de brug bedraagt daarbij dan nog 800 m. Het laatste interventiepunt (LIP) voor een kleiner schip ligt dus op één zeemijl voor de brug. Hierbij kan het schip nog zwaaien in een iets breder stuk van de vaargeul in de bocht. Het schip moet uitgerust zijn met een boegschroef anders is een dergelijk zwaaimanoeuvre zonder sleepboot niet mogelijk.

Er werd niet onderzocht op welke afstand, na herstel van de brug, het schip, na nogmaals zwaaien, vanuit stilstand de brug veilig zou kunnen passeren.

Figuur 14 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 013, schip Kapitonas, minuut 0 tot 9: varen tot melding technisch probleem



Figuur 15 - Gele variant brug in opvaart, noodscenario: run 013, schip Kapitonas, minuut 9 tot 19.5: uitvoeren van een zwaaimanoeuvre op de rivier om terug weg te varen van de brug



4 Conclusies en bijkomend onderzoek

De nautische impact van de fietsersbrug wordt algemeen beschreven in Hoofdstuk 2 en heeft als eerste nadelig gevolg dat de zwaazone ZZ1 en ZZ2 voor cruiseschepen verdwijnt.

Vervolgens worden in dit hoofdstuk enerzijds conclusies geformuleerd op basis van de beperkte simulatiestudie uitgevoerd op 21 februari 2019 en anderzijds is er nog bijkomend onderzoek nodig om zowel voor de binnenvaart als voor de zeevaart de ontwerprandvoorwaarden voor de fietsersbrug vast te leggen.

4.1 Conclusies simulatiestudie

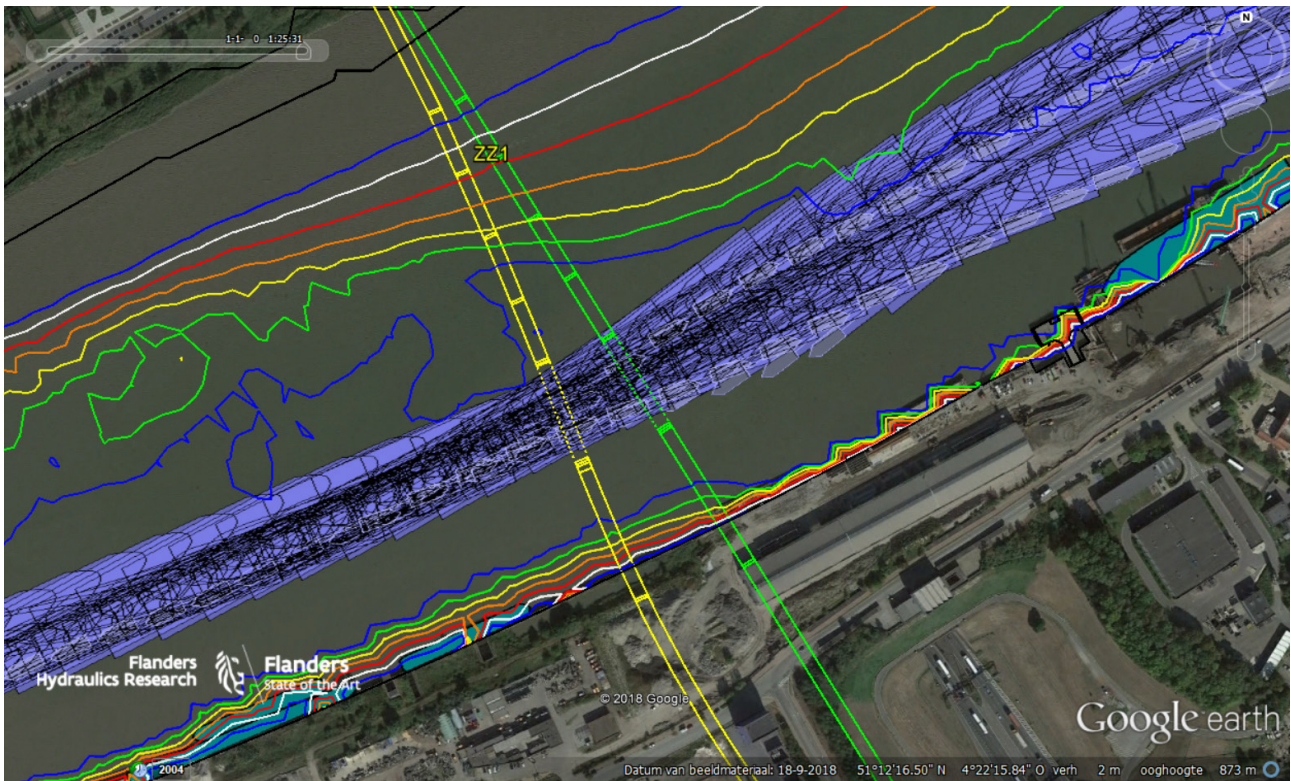
Er werden 13 simulaties uitgevoerd met twee types ontwerpschepen met een lengte van ongeveer 175 m en een breedte van 31 m. Een bevraging onder de bedrijven, gelegen opwaarts de fietsersbrug, moet uitmaken of deze schepen de grootste te verwachten schepen zijn voor de toekomst. De Stolt is een goed manoeuvreerbare tanker, ingezet bij een diepgang van 10.8 m, en de Rhone is vergelijkbaar qua grootte maar moeilijker manoeuvreerbaar met diepgangen van 10.8 en 7 m. Eén simulatie werd ook uitgevoerd met een 110 m vrachtschip om de operationele randvoorwaarden te bepalen bij het niet openen van de brug en dus het afstoppen van het schip zonder aanvaring van de brug voor kleinere schepen dan het ontwerpschip.

Het is belangrijk om aan te geven dat de loodsen het passeren van een brug op stroom niet gewoon zijn en dat het opbouwen van ervaring hiermee noodzakelijk is. Het oplijnen vereist de juiste timing want de scheepssnelheid waarmee dit gebeurt, ligt tweemaal hoger dan bij het op geul komen van een sluismanoeuvre. Het zoeken naar het geschikte manoeuvre in op- en afvaart, met of zonder sleepboot, moet dus door middel van simulaties verder onderbouwd worden. Bij voorkeur wordt het ontwerp van de fietsersbrug op de Portable Pilot Unit (PPU) van de loodsen gevisualiseerd wat bij deze simulaties ontbrak (geen vertoning op de Qastorkaarten).

Wat de twee onderzochte varianten van de brug betreft, een groene variant, recht op de oevers geplaatst, en een gele variant die een buiging bevat vooraleer op de rechteroever wordt aangesloten (Figuur 16), was er van de loodsen uit tijdens het simuleren geen voorkeur voor een specifieke variant. Indien men echter alle tracks van de passages met de Stolt en de Rhone op één overzichtsfiguur plaatst (Figuur 16), dan kan men vaststellen dat ongeacht voor welke specifieke variant een run is uitgevoerd, de bundel van tracks van de schepen binnen de pijlers van de gele variant liggen maar voor de groene variant de bundel van tracks te breed is (buiten de pijlers) en minder goed het pad volgt vanuit de opvaart (bochten en passeren van de brug). Daarom wordt voorgesteld om in later onderzoek te focussen op een variant met een buiging zoals de gele variant (eerder loodrecht op de vaarrichting) of een variant die opwaarts ligt van de gele variant zodat de fietsersbrug centraler ligt in het rechtere stuk tussen de twee bochten ter hoogte van boei 113 (opwaarts de brug) en boei 111 (afwaarts de brug). Momenteel liggen de verschillende varianten van de fietsersbrug dicht bij de afwaartse bocht.

Uit de bespreking van de verschillende simulaties en Figuur 16 blijkt dat een openingsbreedte van 80 m niet volstaat voor een ontwerpschip van 175 m op 31 m breedte. Als men de bundel van tracks neemt door de gele variant in Figuur 16 dan stelt men vast dat de samengestelde padbreedte 70 m is. Indien men een minimum vrije ruimte van 10 m wenst aan beide zijden dan moet de openingsbreedte van het beweegbare gedeelte van de fietsersbrug minimum 90 m zijn. Aangezien alle simulaties werden uitgevoerd bij extremere omgevingscondities (voorstroms varen op maximale stroomsnelheidsmomenten en dwarse wind tot windkracht 7 Bft) is de toegankelijkheid van de brug bij deze breedte dan gegarandeerd bij extremere situaties. De invloed van de brug op het windpatroon en stroomveld werd nog niet onderzocht waardoor nog een zekere marge moet genomen worden tot het effect van wind en stroom bij een passage van de brug in realiteit.

Figuur 16 – Samenstelling van beide varianten van de brug en alle tracks bij de simulaties met de Stolt en de Rhone (uitgezonderd run 011 als noodmanoeuvre)



Figuur 17 – Illustratie van de toevoeging van lichtpalen bij de gele variant



Tijdens de simulaties is het ook noodzakelijk gebleken om op minstens 40 m afstand van de pijlers van de brug aan beide zijden door middel van een PEL-licht lijnen te creëren zodat het schip zijn eigen positie en voorligging hierop kan aansturen (Figuur 17). Uiteraard zullen voor het beveiligen van de brug tegen aanvaring nog geleidingsconstructies kunnen aangebracht worden die een gelijkaardige functie mee kunnen opnemen. Bij het ontwerp van aanvaringsbeveiligingen is het belangrijk dat deze tegelijkertijd het schip en de assisterende sleepboot niet hinderen. Naast lichtpalen wordt ook nog voorgesteld om lichtenlijnen te plaatsen opwaarts en afwaarts de brug die het midden van de brug aangeven:

- opvaart: op de Petroleumpier kan een lichtenlijn het midden van de doorvaartopening geven;
- afvaart: de positie van een lichtenlijn moet nog uitgezocht worden, bijvoorbeeld ergens op rechteroever achter de voormalige Zuiderluis (Ijzerenpoortkaai).

Deze extra constructies of aids to navigation kunnen bij een volgende simulatiestudie meegenomen worden. Ook het aanbrengen van ijkpunten op de wal waarmee de afstand tot de brug visueel snel kan ingeschat worden, kan een hulpmiddel zijn.

Momenteel is er geen bepaling voor de schepen die opwaarts de cruiseterminal varen dat zij een sleepboot moeten gebruiken en is de toegankelijkheid ook gegarandeerd tot en met 7 Bft. Tijdens de simulaties bij 6 en 7 Bft dwarse wind werd een achtersleepboot finaal ingezet om de snelheid over de grond bij passage van de brug onder de 8 knopen te houden. Sleepbootgebruik zal dus in extremere situaties (vanaf 6 Bft) verplicht worden om de schepen een grotere manoeuvreerbaarheid te geven. De sleepboot wordt hierbij ingezet als een soort rem (snelheidscontrole) waardoor het schip een hoger toerental en dus een betere aanstroming van het roer kan realiseren met een betere manoeuvreerbaarheid tegen de wind. Dit betekent ook dat na assistentie van een schip door een sleepboot deze sleepboot bij beëindiging van zijn opdracht terug door het beweegbare deel van de brug zal moeten gaan (echter niet noodzakelijk in dezelfde brugopeningstijd). De air draft van sleepboten varieert immers tussen 15 en 20 m zodat zonder bij elke passage de mast te moeten inhalen de doorvaarthoogte van de brug niet voldoende is.

Een voorsleepboot kan bij te hoge snelheden door het water niet optreden. Indien men bij passage van de brug twee sleepboten zou willen inzetten dan moet de snelheid drastisch naar beneden gehaald worden. Uit het overleg met de sleepbedrijven is ook de passage van sleepkonvoeien ter sprake gebracht. Deze sleepkonvoeien werken wel met een voor- en achtersleepboot. In optimale condities (stil van hoog, dus minimale stroming en weinig wind) spreekt men over padbreedtes van 50 tot 55 m in afvaart en 60 tot 65 m in opvaart. Deze waarden komen voor de opvaart in de buurt van de 70 m padbreedte die met het ontwerpschip werd vastgesteld bij extremere condities en de gele variant van de brug. De padbreedte van de sleepkonvoeien is dus niet noodzakelijk gunstiger dan de padbreedte van het ontwerpschip van de simulatiestudie. Van zodra de sleepkonvoeien onderhevig zijn aan meer wind zal de padbreedte ook aanzienlijk toenemen. Hiervoor is het aangewezen dat simulaties worden uitgevoerd door de sleepbedrijven met passages van de brug met sleepkonvoeien.

Om de relatieve impact van de wind te reduceren moet de scheepssnelheid verhoogd worden. Een snelheid over de grond van 8 knopen wordt echter ook als een maximum gezien voor een passage van de brug. Daarom zou voor de brug en de aanvaarbeveiliging een ontwerpsnelheid van 8 knopen moeten toegepast worden. Indien de brug of beveiliging niet bestand zijn tegen de impact van het ontwerpschip met deze snelheid dan zal de brug ernstige schade aangebracht worden en komt zowel de veiligheid van het schip als van de mensen (aan boord van het schip maar ook op de brug) in het gevaar.

Het gebruik van een sleepboot vanaf een bepaalde windkracht (uit deze simulaties vooral vanaf 6 Bft) zal nog bijkomend onderzocht moeten worden zodanig dat bij noodmanoeuvres zowel de manoeuvres met als zonder sleepboot veilig kunnen plaatsvinden.

Tijdens de simulatiestudie werd besloten het begrip “point of no return” niet te gebruiken en enkel “laatste interventiepunt” (LIP) te beschouwen. Er werden naargelang de scheeps lengte twee LIP's geselecteerd in opvaart. Voor het ontwerpschip van 175 m lengte met sleepboot werd de Staatsteiger als LIP gekozen terwijl voor kleinere schepen (bijvoorbeeld minder dan 140 m lengte) een extra boei tussen de boeien YN en 111

op één zeemijl van de brug het te gebruiken LIP kan aangeven. Voor een schip in afvaart wordt de Castrolsteiger als LIP beschouwd, dus ter hoogte van boei 113 aan het boveinde van de Rede van Antwerpen.

Wanneer het schip ter hoogte van dit LIP is, moet de brug open zijn en indien noodzakelijk ontruimd. Indien de brug bij passage van dit LIP niet aan beide voorwaarden zou voldoen dan moet een noodmanoeuvre uitgevoerd worden waarbij het schip alles in het werk stelt om zo vlug mogelijk af te stoppen of rechtsomkeer te maken. Door het afstoppen van het schip bij calamiteiten met de brug zou het ook aangewezen zijn dat opwaarts en afwaarts de fietsersbrug een afmeerlocatie voorzien is zodat het schip daar tijdelijk kan aanmeren.

De afstanden van deze verste LIP opwaarts en afwaarts van de fietsersbrug variëren tussen 2200 en 2800 m zodat met een gemiddelde snelheid tussen 6 en 8 knopen over de grond, de tijden van het LIP tot de fietsersbrug variëren tussen 9 en 15 minuten. Terwijl men oorspronkelijk er vanuit ging dat de brug maar gedurende 10 minuten zou bezet zijn, blijkt alleen al de tijd die zal verstrijken tussen het moment waarop de brug volledig moet open zijn en indien nodig ontruimd, tussen de 10 en 15 minuten te bedragen. Indien dit nog verhoogd wordt met de tijd nodig om de brug open te stellen en ook het schip te laten door de brug varen en de brug weer te sluiten dan zal men eerder naar een wachttijd van 30 minuten en meer gaan.

De twee noodmanoeuvres die werden uitgevoerd tijdens de simulatiestudie vonden plaats zonder het uitgooien van het anker. Bij het naderen van de brug zal een crew lid op de bak vooraan standby moeten staan

4.2 Bijkomend onderzoek

Voor het bijkomend simulatieonderzoek is het belangrijk dat een aantal zaken eerst verder worden voorbereid:

- Is het mogelijk om de brug toch nog meer opwaarts te plaatsen zodanig dat de brug centraler ligt tussen de twee tegenbochten aan boei 111 en boei 113?
- Waar zal het vaste gedeelte van de fietsersbrug voor passage van de binnenvaart voorzien worden met welke overspanning?
- Wat is het effect van de pijlers van de brug en dus de fundering van de volledige brug op de stroom en het bodemprofiel langs de brug? Zal een brug aanleiding geven tot een wijziging van de bathymetrie in de onmiddellijke omgeving door sedimentatie of erosie?
- Wat is het effect van de meer realistische spertijd van 30 minuten en meer op de operationele werking van de brug voor fietsers en voetgangers?

Indien de randvoorwaarden op basis van verschillende onderzoeksdisciplines gekend zijn, kan een bijkomende simulatiestudie uitgevoerd worden met het in de toekomst te verwachten ontwerpschip dat in interactie gaat met een diverse vloot aan binnenschepen. Bijkomende aandachtspunten voor deze simulatiestudie zijn:

- Geeft de specifieke layout van de brug (hefbrug, draaibrug, ...) aanleiding tot bijkomende nautische beperkingen?
- Kan er nog gedifferentieerd worden naar de toegankelijkheid van de brug naargelang de windkracht en de windrichting?
- Welke operationele randvoorwaarden moeten er gesteld worden aan brugpassages van de binnenvaart bij een brugpassage van het beweegbare brugdeel door de zeevaart?
- Het uitvoeren van bijkomende noodmanoeuvres met verschillende scheepsgroottes van zeeschepen onder verschillende omgevingscondities (wind en stroom) met of zonder sleepboot zal nog een beter inzicht geven in de beperkingen hierbij.

Referenties

- [1] **Eloot, K.; Verwilligen, J.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2012). Haven van Antwerpen: toegankelijkheid van cruiseschepen tot de Rede: deelrapport 1. Simulatiestudie. versie 2.0. WL Rapporten, 12_007. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. III, 48 + 52 p. bijl. pp.
- [2] **De Maerschallck, B.; Eloot, K.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2019). Advies Scheldebrug: Deelrapport 1 – Stroming en morfologie. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_120_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- [3] **ROM3.1-99.** (2003). Designing the maritime configuration of ports, approach channels and flotation areas. 2nd Edition ed.: Puertos del Estado. 404pp.
- [4] **PIANC.** (2014). Report n° 121 - 2014 Harbour approach channels design guidelines. ISBN 9782872232109. 1-328 pp.
- [5] **US Army Corps of Engineers.** (1982). Layout and design of shallow draft waterways. US Army Corps of Engineers, EM 1110-2-1611 Section V Bridge Location and clearances.
- [6] **Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu,** (2011). Waterway Guidelines 2011. The Netherlands.

Bijlage 1: Feedback van de loodsen

Run	Feedback
18_120_000	Fout in de positie van het open gedeelte van de brug ten opzichte van de oevers. Daarom wordt het open gedeelte aangegeven met duwbakken. 7 knopen over de grond als minimum, 4 knopen door het water. 17 min van boei 109 tot de brug. Ontwerpsnelheid van 8 knopen. Doorvaartbreedte van 80 m is nog geen issue.
18_120_001	Zelfde simulatie als voorgaande maar met meer wind ZO 7 Bft. Doorvaartbreedte van 80 m is voor deze wind met windrichting nog ok. Leeg schip is ook belangrijk. Daarom zou het mogelijk zijn om met een ander schip, de Rhone, te varen (deze is beschikbaar in geladen en ongeladen toestand).
18_120_002	Niet comfortabel. Het schip verlijerde voor de brug. Hierop is geanticipeerd door op te sturen. Echter de nadering naar de brug en de doorvaart verliep hierdoor moeilijker. 80 m lijkt niet voldoende. Met 9 knopen door de brug. Snelheid laten afnemen is moeilijk uit te voeren.
18_120_003	Vanaf deze simulatie is de positie van de opening maar ook van de brug zelf wel correct volgens het plan. Het schip wordt gewijzigd omdat de manoeuvreerbaarheid van de Rhone minder is dan deze van de Stolt. De Stolt is een zeer goed manoeuvreerbaar schip (ongeveer 5 tot 10 graden roer nodig in de bocht van de Rijnkaai). Het verschil tussen Stolt en Rhone is duidelijk voelbaar. Bij het bochten gaat het schip zeer sterk naar de rechteroever, waardoor je gaat opsturen. Daarna blijf je plakken aan de ondiepte aan linkeroever. Door oevereffecten kan het schip naar de linkeroever gezogen worden. Er kan mogelijk geanticipeerd worden op deze effecten. [Video: 00002.MTS]
18_120_004	De simulatie wordt nu uitgevoerd met een schip in ballast. De snelheid over de grond was 10 knopen. Dit is niet aanvaardbaar qua snelheid. Bovendien wordt heel vaak hard over roer gegeven. De doorvaartbreedte zou moeten bepaald worden op basis van een aanvaardbare doorvaartsnelheid (maximaal 7 à 8 knopen). [Video: 00003.MTS]
18_120_005	Vertrek in afvaart met een leeg schip. Vertrek aan boei 120. Het is niet mogelijk om bestuurbaar te blijven en het schip onder de 9 knopen te houden. Ofwel moet de doorvaartbreedte verhoogd worden ofwel moet een limiet gezet worden op de windkracht. De padbreedte van het schip ter hoogte van de brug is ongeveer 45 m en dus meer dan de halve doorvaartbreedte. [Video: 00004.MTS]
18_120_006	Tijdens deze simulatie wordt de snelheid onder de 8 knopen gehouden. Er wordt bij volle diepgang onderzocht welke stuurbaarheid en doorvaartbreedte nodig is. Met deze diepgang is het haalbaar. Roerorders nog controleren.
18_120_007	De simulatie 005 wordt herhaald om met maximaal 8 knopen door de brug te gaan. Snelheid SOG door de bocht is ongeveer 7 knopen. Daarna loopt de snelheid op om de wind ook te compenseren en door het effect van de stroom. Hard over roerorders zijn nog steeds nodig. Dit blijft niet comfortabel. De padbreedte van de doorvaart een scheepslengte voor en na de brug geeft ongeveer twee scheepsbreedtes. Bruusker manoeuvreren voor de brug is te vermijden. Een sleepboot inzetten kan verder onderzocht worden.

18_120_008	Verschil van brug niet significant. 1 Bft zorgt er wel voor dat je meer marge hebt om je snelheid onder controle te houden. Het schip bleef beter op zijn koers, regelmatig wel hard over maar duidelijk minder dan bij 7 Bft.
18_120_009	Dezelfde simulatie wordt herhaald met een achtersleepboot van 65 ton, die de snelheid zal controleren. Doel is het effect op de doorvaart van de brug na te gaan bij een snelheid rond de 7 à 8 knopen. [Video: 00005.MTS] Sleepboot weinig gebruikt. De doorvaartbreedte op- en afwaarts de brug blijft eigenlijk dezelfde, ongeveer twee scheepsbreedtes. Tijdens de volledige simulatie stond de machine op half.
18_120_010	7 à 8 knopen met 7 Bft is te weinig. Het schip gaat als een krab door de bocht. Het oplijnen zorgt er voor dat het schip te hoog uit komt en dan te dicht bij de brug moet insturen in de brug.
18_120_011	De voorgaande simulatie wordt herhaald maar er worden twee lichtpalen voor de brug geplaatst. Deze staan op ongeveer 40 m van de brug. Er wordt een noodscenario uitgevoerd dat start nog voor de cruiseterminal is gehaald (ongeveer point of no return). Direct wordt de sleepboot instructie gegeven om half achteruit te trekken. Het schip kan met een sleepboot onder controle gebracht worden bij het afstoppen. [Video: 00006.MTS]
18_120_012	Aanpassen van de aanloop, waarbij zuidelijker onder een drifhoek de brug wordt genaderd. Hierdoor ligt het schip in een diepere zone, verder weg van de ondiepte in de binnenbocht.
18_120_013	Met 110 m schip LIP bepalen bij maximale vloedstroom [Video: 00007.MTS]

Bijlage 2: Manual voor de KMZ presentaties

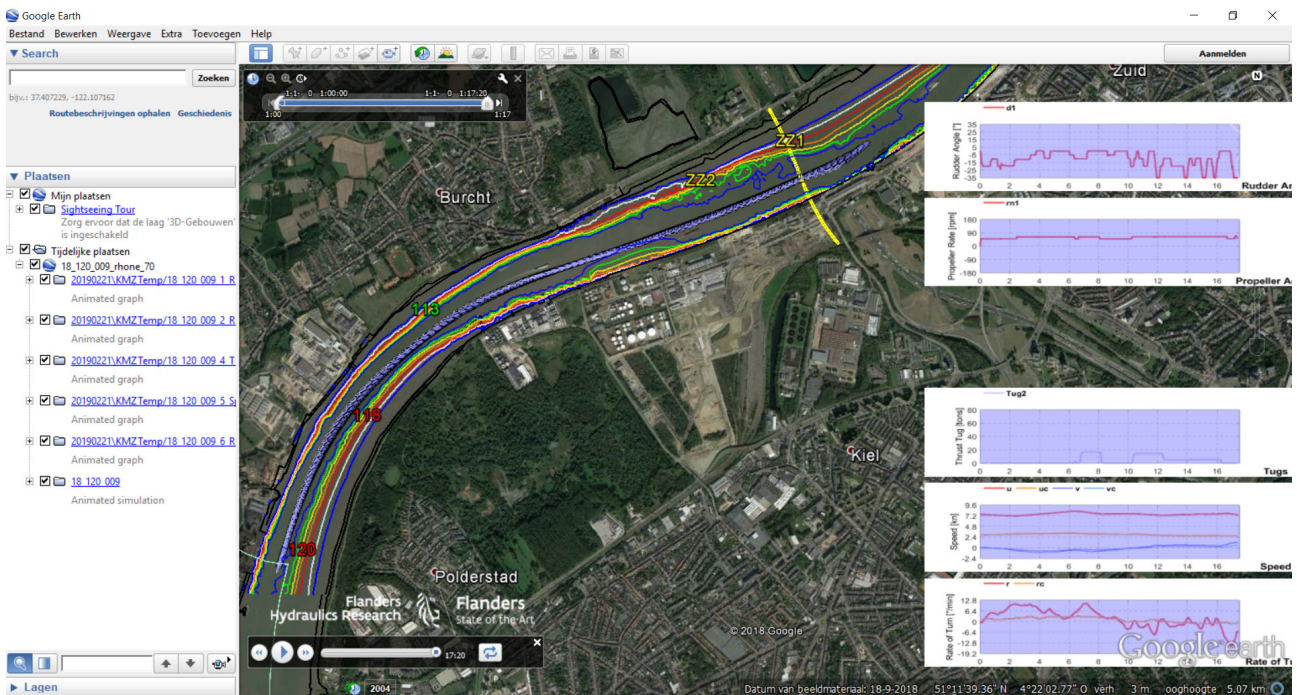
De uitgevoerde simulaties kunnen bekeken worden met animatie in Google Earth op basis van de bijgeleverde KMZ bestanden. Voor het bekijken van deze bestanden werd een korte Engelstalige manual opgesteld.

Install Google Earth (the version used for the images in this manual is a Dutch version)

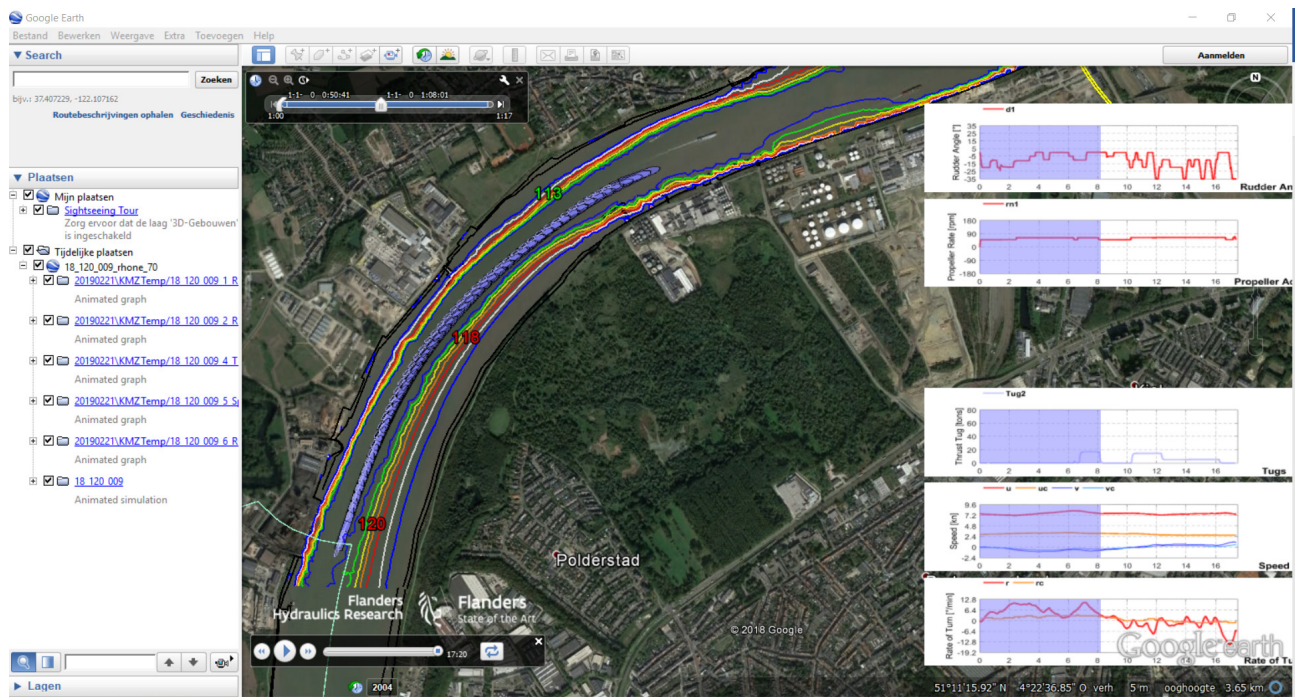
Go to Windows Explorer or the KMZ files attached to the report and double click on a selected KMZ file:

e.g. 18_120_009_rhone_70.kmz

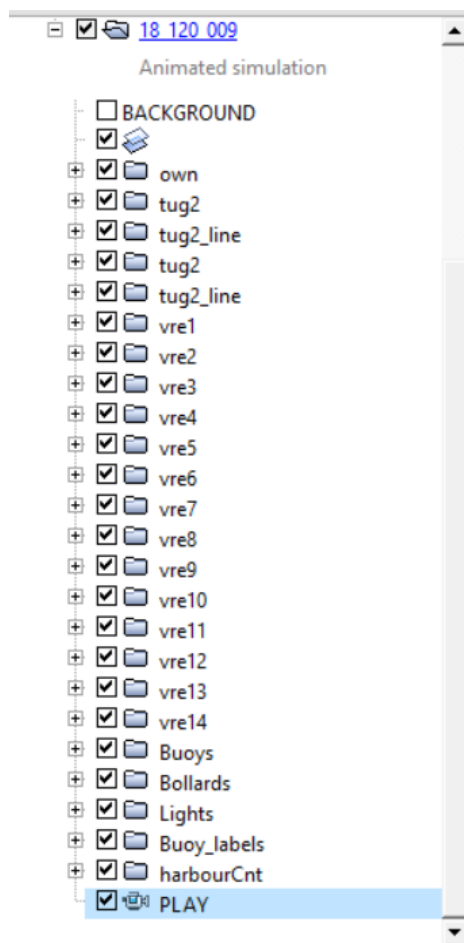
The KMZ file with animated graphs and animated simulation can be seen in the temporary locations at the left pull down menu. On the main screen the location is seen with the simulation data on top of it and the overlay graphs (right column with time graphs). You can tick on or off the different overlay graphs in the left pull down menu.



The overlay graphs are light blue on top of the different series in the graphs because the animation is presented from the start to the end of the simulation. If you use the slider on the top left location, you can go back and forward on the graphs and also on the track.

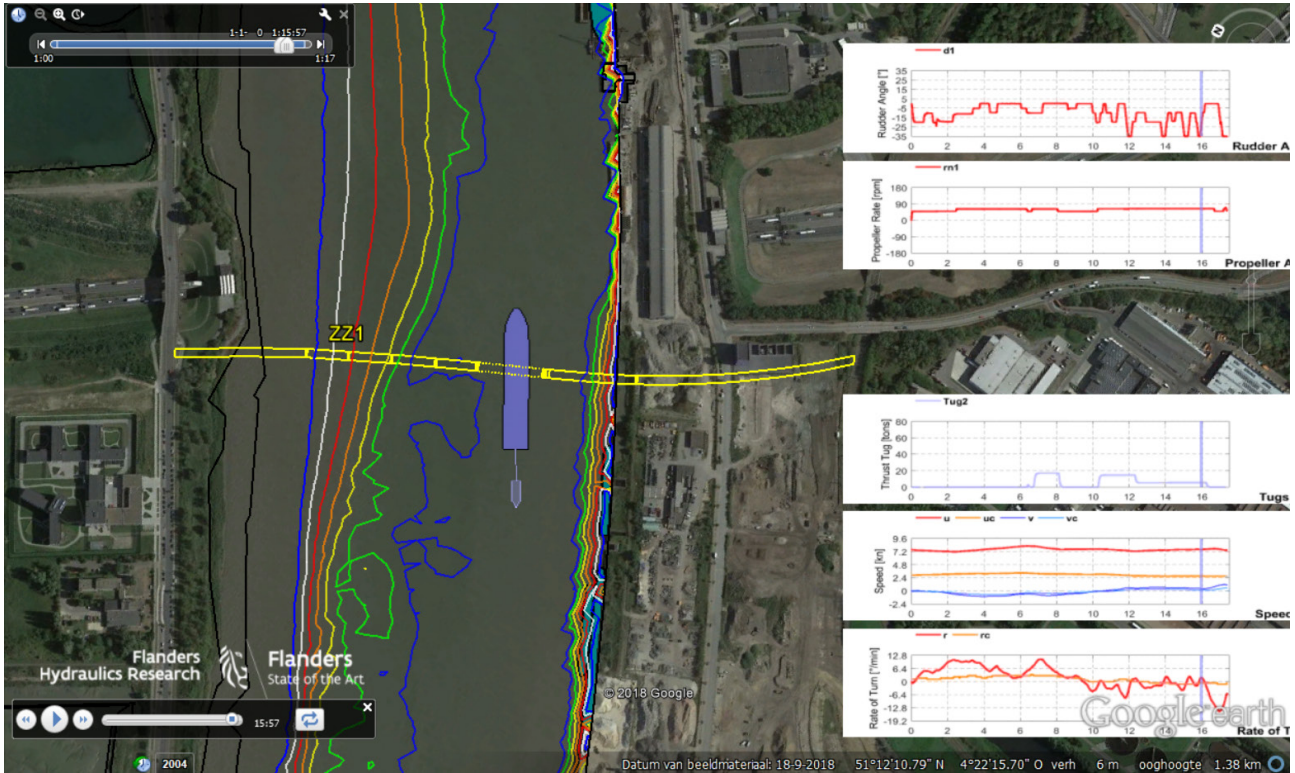


To clearly focus on the track of the own ship you can select the pull down list of the animated simulation



and double click on “own”. Then the Google Earth presentation zooms to the track of the own ship. You can once again use the slider to go back and forward in the simulation.

In the pull down list of the animated simulation there is also a PLAY button, by double clicking on this button the simulation replays with a vertical blue line on the overlay graphs to show where you are in the graphs for the presented own ship on the Google Earth view. In the left corner below, the play button is presented and can be used for increasing the replay speed.



The following graphs are shown on the Google Earth presentation:

The rudder angle (d1) with a minimum of -35 degrees (to starboard) and a maximum of 35 degrees (to port) for the Rhone and the Kapitonas and -65 deg and 65 deg for the Stolt.

The propeller rpm (rn1) with a varying value depending on the engine rate of the different vessels.

The thrust of the aft tug in ton (Tug2).

The longitudinal speed component (u) of the vessel and the longitudinal current speed (uc) with the lateral speed component (v) of the vessel and the lateral current speed (vc).

The rate of turn (r) of the vessel and the rate of turn of the current (rc) on the ship.

In each KMZ file depthlines are added to visualise the bathymetry with the legend:

- 2.0 m LAT: blue
- 3.0 m LAT: white
- 4.0 m LAT: red
- 5.0 m LAT: orange
- 6.0 m LAT: yellow
- 7.0 m LAT: green
- 8.0 m LAT: blue

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be