



Vlaanderen
is wetenschap

VAARGEUL GEO VLAANDEREN

18_120_1
WL rapporten

Advies Scheldebrug

Deelrapport 1 – Stroming en morfologie

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Advies Scheldebrug

Deelrapport 1 – Stroming en morfologie

De Maerschalck, B.; Eloot, K.; Plancke, Y.; 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/2019/3241/110

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

De Maerschallck, B.; Eloot, K.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2019). Advies Scheldebrug: Deelrapport 1 – Strooming en morfologie. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_120_1. 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_1
Keywords (3-5):	Scheldebrug, morfologie, strooming, Zeeschelde		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	12
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2025
		Uitzondering:	<input checked="" type="checkbox"/> Vlaamse overheid

Auteur(s):	De Maerschallck, B.; Eloot, K.
------------	--------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y. Eloot, K.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2019-07-22 15:38:52 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
		Getekend door: Katrien Eloot (Signature) Getekend op: 2019-07-23 19:44:53 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Katrien Eloot</i>
Projectleider:	De Maerschallck, B.	Getekend door: Bart De Maerschallck (Signa) Getekend op: 2019-07-31 09:45:37 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschallck</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-08-13 09:10:15 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



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.

Voorliggend rapport geeft op basis van een bestaand model en recente bodempeilingen een bondig overzicht van de lokale hydromorfologie ter hoogte van de locatiekeuze voor deze brug. Er wordt een eerste inschatting gemaakt van de effecten van de brug op de lokale strooming en morfologie.

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 Locatie en morfologie.....	3
3 Stroming	9
3.1 Modelbeschrijving	9
3.2 Getij	11
3.3 Impact pijlers	14
4 Conclusies	18
Referenties	19
Bijlage 1 Figuren in LAT en knoop	B1
Bijlage 2 Figuren Rede van Antwerpen	B3
Detailkaarten Kennedytunnel.....	B3
Bathymetrie Rede van Antwerpen	B6
Verschilkaart 2018 – 2007	B7
Dwarsdoorsneden zwaaizones	B8
Dwarssecties in LAT	B9
Dwarssecties in TAW	B10
Maximale eb- en vloedstroom bij gemiddeld springtij	B11

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Gemodelleerd representatief gemiddeld springtij nabij getijpost Antwerpen	11
Tabel 2 – Dimensies van het invloedsgebied van de pijler als verhouding tot de diameter (dwars),.....	17

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht van alle overkappings- en leefbaarheidsprojecten voor de Antwerpse ringzone die het politiek stuurcomité heeft geselecteerd. (19) Project Scheldebrug.	1
Figuur 2 – Locatie van de Scheldebrug.....	4
Figuur 3 – Ecotopenkaart (2009-2010).....	5
Figuur 4 – Dwarsdoorsnede van de bathymetrie ter hoogte van de Scheldebrug (2016-2018).....	5
Figuur 5 – Lithologische kaart.....	6
Figuur 6 – Bodemevolutie langs Raai Scheldebrug, 1980 - 2018	7
Figuur 7 – Bodemevolutie langs de raai afwaarts Scheldebrug, 1980 - 2018	7
Figuur 8 – Bodemevolutie langs de raai “De Vlakte”, 1980 - 2018	7
Figuur 9 – Bodemevolutie langs de raai afwaarts Galgenweel, 1980 - 2018	8
Figuur 10 – Bodemevolutie langs de raai Burchtse Weel, 1980 - 2018.....	8
Figuur 11 – TELEMAT 3D Scaldis model	10
Figuur 12 – Detail van het rekenrooster in het interessegebied. De locatie van Scheldebrug is gemarkeerd in rood.	10
Figuur 13 – Gemodelleerde waterstand Antwerpen (Scaldis model run: r2D_v17_039_0) met in rood het geselecteerd representatief gemiddeld springtij.	11
Figuur 14 – Snelheidsverloop ter hoogte van de Scheldebrug.....	12
Figuur 15 – Dieptegemiddelde stroming (boven, positieve stroming is vloed) en waterstand (onder) bij gemiddeld springtij, centraal in de vaargeul ter hoogte van de Scheldebrug.	13
Figuur 16 – Maximale stroming (dieptegemiddeld) raai Scheldebrug bij gemiddeld springtij.....	13
Figuur 17 – Debiet raai Scheldebrug tijdens Gemiddeld springtij (debiet positief afwaarts)	15
Figuur 18 – Invloedsgebied van een enkele pijler volgens Bonasoudas en Hjorth (Hoffmans & Verheij, 1997)	15
Figuur 19 – Invloed van de geometrie van de pijler op de erosiekuil	16
Figuur 20 – Strooming ter hoogte van de Scheldebrug bij een gemiddeld springtij.....	B1
Figuur 21 – Dieptegemiddelde stroming (boven, positieve stroming is vloed) en waterstand (onder) bij gemiddeld springtij, centraal in de vaargeul ter hoogte van de Scheldebrug.	B2
Figuur 22 – Locatie van de Scheldebrug.....	B3
Figuur 23 – Ecotopenkaart (2009-2010).....	B4
Figuur 24 – Lithologische kaart.....	B5
Figuur 25 – Locatie van de Scheldebrug, Bathymetrie rede van Antwerpen.....	B6
Figuur 26 – Sedimentatie (rood) - erosie (blauw) ter hoogte van de Rede tussen 2007 en 2018	B7
Figuur 27 – Rede van Antwerpen, locatie raaien "opwaarts zwaaizone voor cruiseschepen", "zwaaizone voor cruise schepen" en "huidige cruiseterminal"	B8

Figuur 28 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige zwaaizone voor cruiseschepen opwaarts de Kennedytunnel (LAT) B9

Figuur 29 – Bathymetrie opwaarts van de zwaaizone ter hoogte van de Kennedytunnel (LAT) B9

Figuur 30 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige cruiseterminal (LAT) B9

Figuur 31 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige zwaaizone voor cruiseschepen opwaarts de Kennedytunnel (TAW) B10

Figuur 32 – Bathymetrie opwaarts van de huidige zwaaizone voor cruiseschepen ter hoogte van de Kennedytunnel (TAW) B10

Figuur 33 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige cruiseterminal (TAW) B10

Figuur 34 – Maximale strooming (dieptegemiddeld) ter hoogte van de huidige zwaaizone..... B11

Figuur 35 – Maximale strooming (dieptegemiddeld) ter hoogte van de huidige cruiseterminal B11

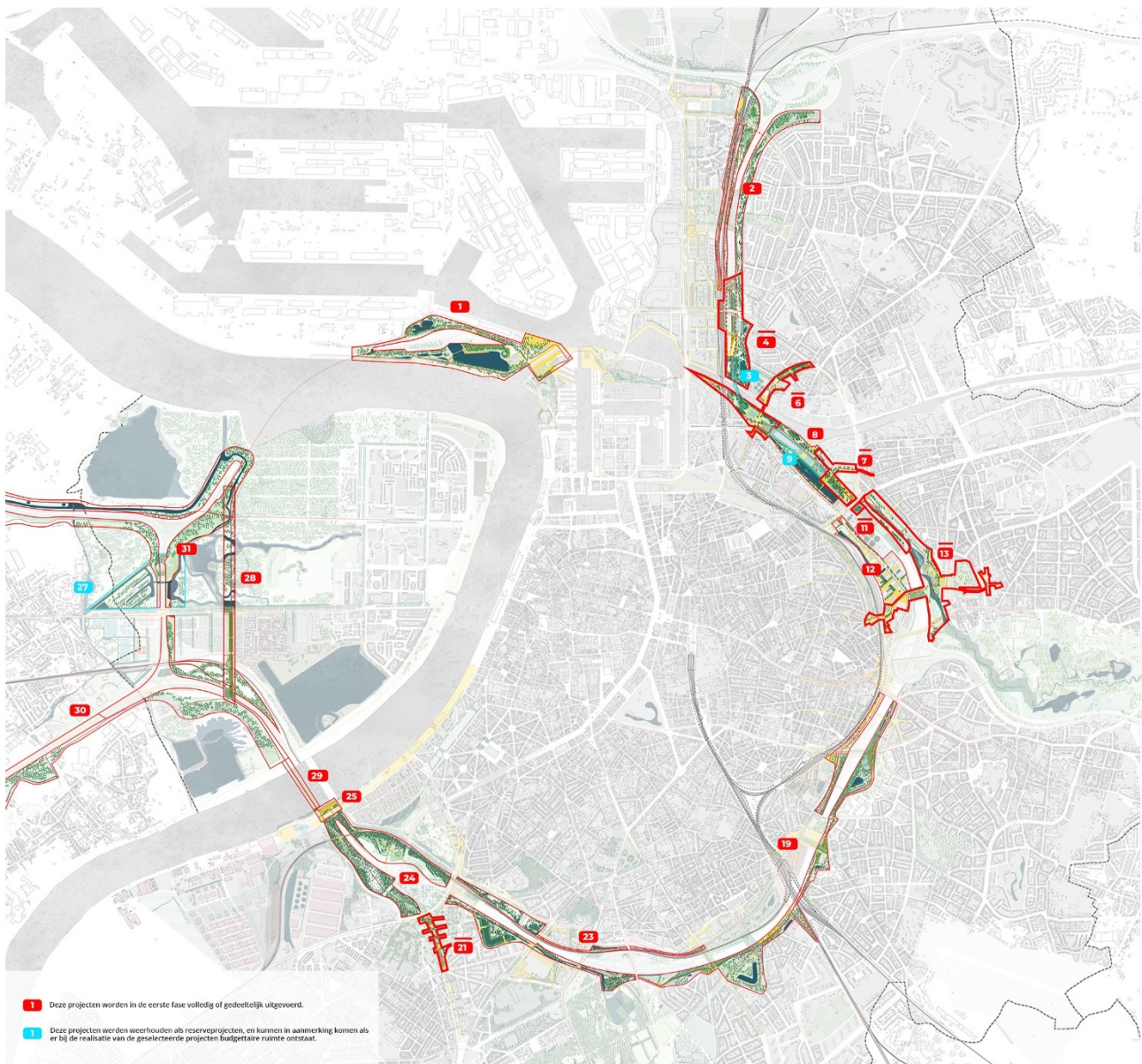
Figuur 36 – Maximale strooming (dieptegemiddeld) opwaarts van de huidige zwaaizone B12

1 Inleiding

1.1 Situering

Onder leiding van een door de Vlaamse Regering aangestelde intendant wordt sinds 2016 de leefbaarheid van de Antwerpse Ring onderzocht in het project “OVER DE RING” (<https://www.overdering.be/>). Achttien overkappings- en leefbaarheidsprojecten werden door het politieke stuurcomité geselecteerd om in een eerste volledig of gedeeltelijk uit te voeren voor een totaal investeringsbudget van 1,25 miljard euro, Figuur 1.

Figuur 1 – Overzicht van alle overkappings- en leefbaarheidsprojecten voor de Antwerpse ringzone die het politiek stuurcomité heeft geselecteerd. (19) Project Scheldebrug. (Bron: <https://www.overdering.be/overzichtskaart/>)



Eén van deze achttien projecten is de aanleg van een Scheldebrug voor fietsers ter hoogte van de Kennedytunnel, nr. 29 in Figuur 1. Met het oog op een modal shift waarmee nog slechts 50% van de verplaatsingen met de wagen zou gebeuren, is een vlotte connectie nodig tussen Linker- en Rechteroever. Daarom voorziet *Team West* ter hoogte van de Kennedytunnel een Scheldebrug die beide oevers dichter, vlotter en comfortabeler bij elkaar brengt.

De Vlaamse Waterweg is de opdracht toegeschreven de fietsersbrug te realiseren. Op het ogenblik van de voorliggende studie staat het ontwerp van de brug nog niet vast. In 2019 zal een internationale ontwerpwedstrijd uitgeschreven worden om een architectenbureau te werven. Begin 2019 is een studiebureau aangesteld om alle randvoorwaarden waarbinnen het ontwerp moet passen uit te werken. Wel staat vast dat de brug sowieso een beweegbaar gedeelte zal moeten bevatten om zeevaart naar de bedrijven opwaarts de Rede van Antwerpen en Wintam toe te laten.

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 met betrekking tot de impact van de brugpijlers op strooming, morfologie en nautische impact. Voorliggend rapport geeft overzicht van de lokale strooming, bodem en morfologie op de locatie van de Scheldebrug. Een verkennende studie van de randvoorwaarden voor het ontwerp voor een veilige en vlotte passage van de Scheldebrug voor zee- en binnenvaart zal behandeld worden in een tweede deelrapport.

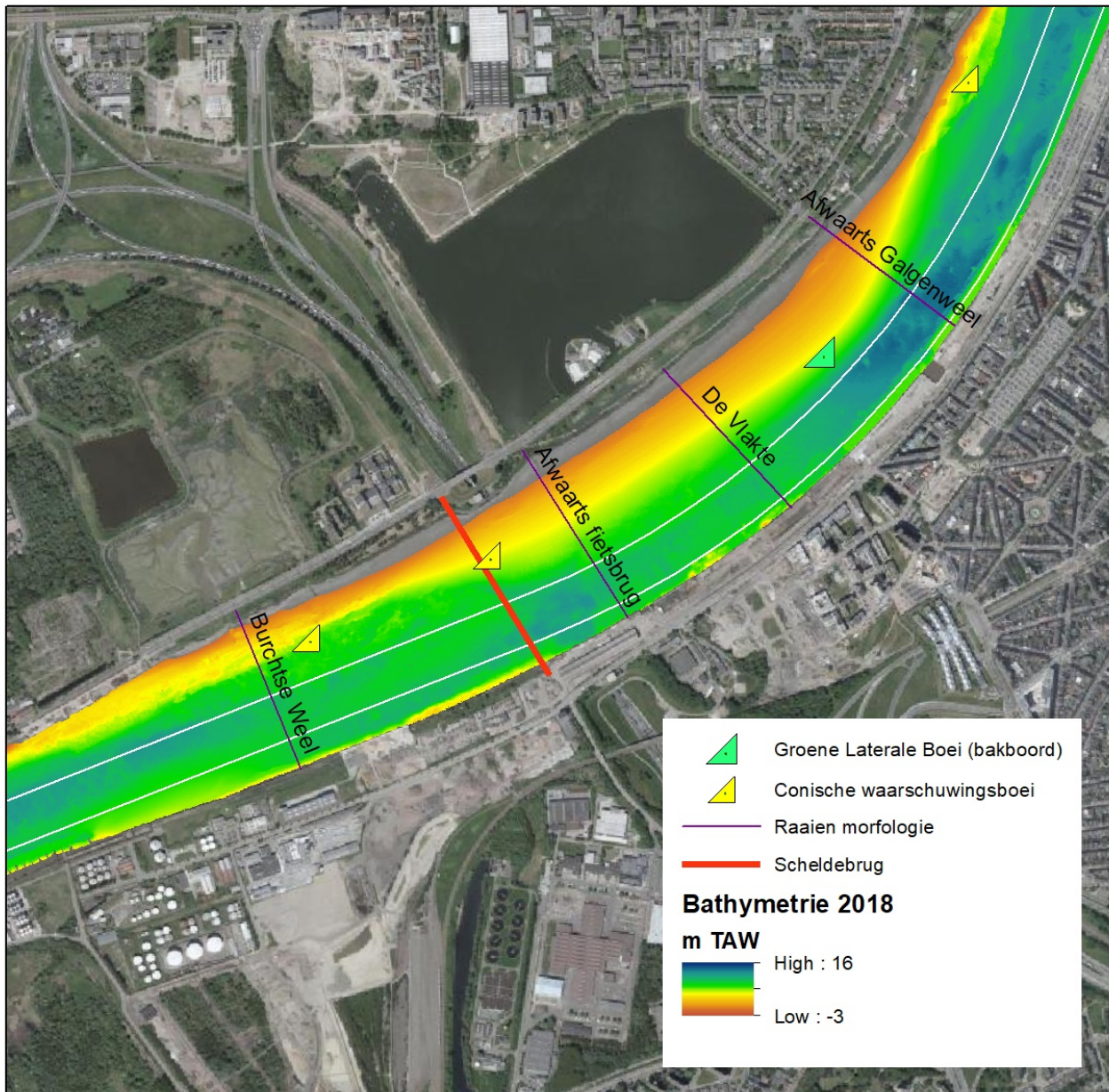
2 Locatie en morfologie

Figuur 2 geeft de geplande locatie van de Scheldebrug weer geprojecteerd op de meest recente bathymetrische peiling. Rechteroever bestaat hier uit een vaste kade. Linkeroever wordt gekenmerkt door een ondiepe zone en een stuk slik en schor. De vaargeul bevindt zich meer naar de rechteroever toe in het diepste gedeelte. In Figuur 3 is de ecotopenkaart weergegeven. De ondiepe zone (matig diep en ondiep subtidaal) is de uitloper van de bank, de Vlakte genaamd, die zich in de binnenbocht van de Rede van Antwerpen gevormd heeft, zie hiervoor ook Figuur 25 op p. 6. Een dwarsdoorsnede van de lokale bathymetrie is weergegeven in Figuur 4. Het slik ter hoogte van de Scheldebrug meet ongeveer 75 meter van de dijk tot de laagwaterlijn. Het slik en de plaat bestaan voornamelijk uit zanderig en slibhoudend sediment, zie Figuur 5. Het diepere gedeelte bestaat uit harde bodem.

De conische waarschuwingsboeien in Figuur 2 markeren het begin en einde van de zwaaizone voor cruiseschepen. Deze zone wordt gebruikt door grote cruiseschepen om te zwaaien bij hogere waterstanden. Deze zwaaizone laat toe dat de stad Antwerpen cruiseschepen tot 265 m kan ontvangen (Eloot *et al.*, 2012). Door de aanleg van de brug zal de huidige zwaaizone niet meer gebruikt kunnen worden. Dit zal een impact hebben op de toegankelijkheid van de cruiseschepen die in de toekomst Antwerpen nog zullen kunnen aandoen. Afhankelijk van de lengte en diepgang van de cruiseschepen en de omgevingscondities zoals getij, stroming en wind vormen beide zwaaizones de vereiste locaties om het cruiseschip te zwaaien (bijvoorbeeld bij sterkere vloedstroom en dus hogere waterstanden is de zwaaizone opwaarts de Kennedytunnel ruimer dan de zwaaizone ter plaatse van de cruiseterminal – dit laat toe om grote cruiseschepen onder invloed van een sterkere vloedstroom te zwaaien zonder aan de grond te lopen). Zwaaien opwaarts van de huidige zwaaizone lijkt op dit moment geen optie wegens beperkingen in diepgang bij laagwater en de kans op afgemeerde tankers ter hoogte van de Petroleumkaai, zie Figuur 27 in Bijlage 2. Ter illustratie zijn de diepteprofielen en snelheidsprofielen ter hoogte van de huidige zwaaizone, opwaarts van de huidige zwaaizone en ter hoogte van de huidige cruiseterminal toegevoegd in Bijlage 2.

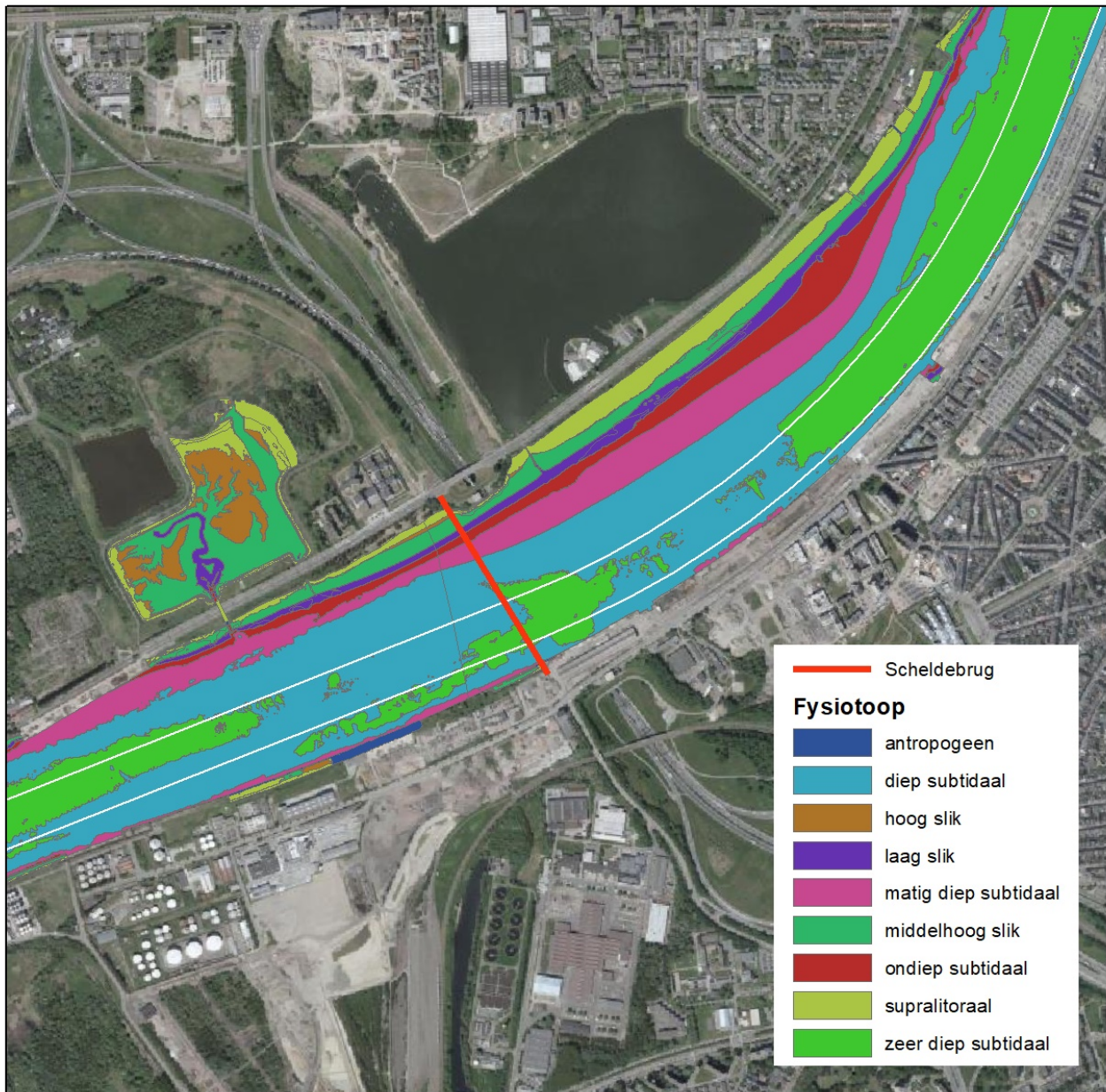
Figuur 6 tot Figuur 8 geeft de bodemevolutie sinds 1980 ter hoogte van de Scheldebrug en de raaien ter hoogte van de bank De Vlakte (zie Figuur 2 voor de locaties). Tussen 1980 en 2000 vond er vooral erosie van de bank plaats. Sinds de eeuwwisseling is er vooral sedimentatie waarneembaar, lokaal tot twee meter. Het diep subtidaal is vrij stabiel, wat toegeschreven kan worden aan de harde lagen die aanwezig zijn op deze locatie. Een verschilkaart voor de periode 2007 – 2018 is toegevoegd in Bijlage 2.

Figuur 2 – Locatie van de Scheldebrug

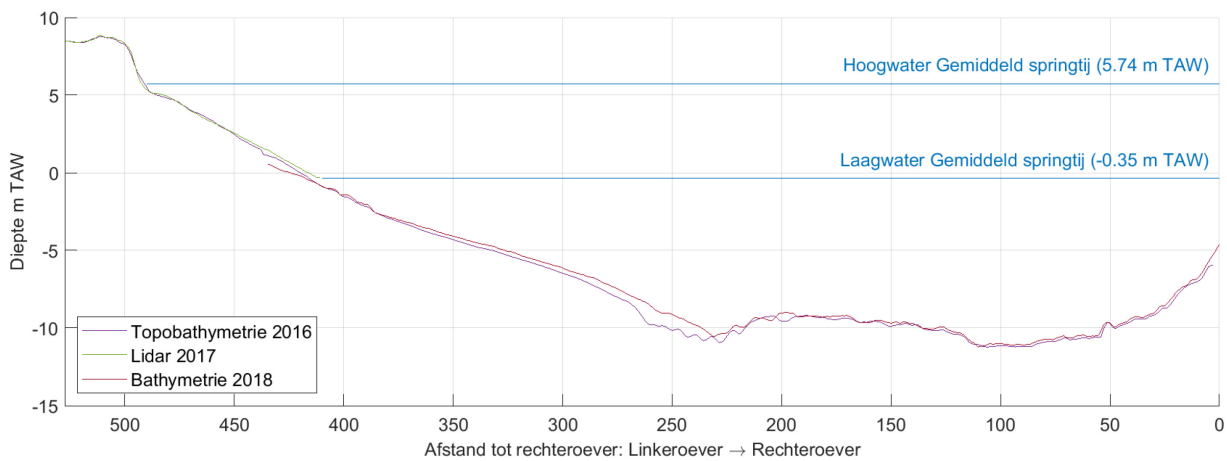


De paarse lijnen geven de raaien weer waarvoor de dwarssecties zijn geplot in Figuur 6 tot Figuur 10. De witte polygoon geeft indicatief de locatie van de vaarroute (polygoon theoretische vaargeul volgens de vergunning van de derde verruiming van de Schelde)

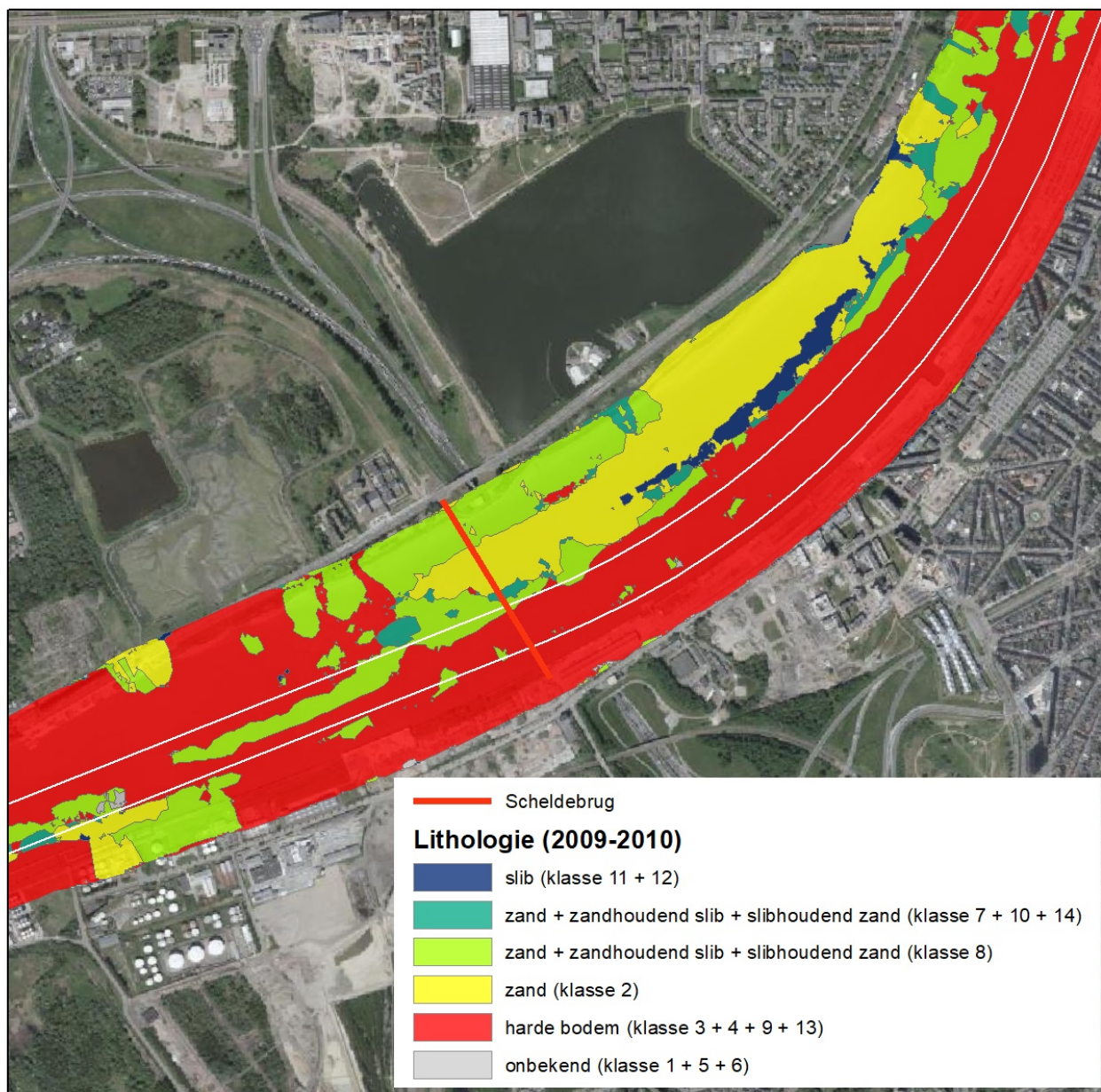
Figuur 3 – Ecotopenkaart (2009-2010)



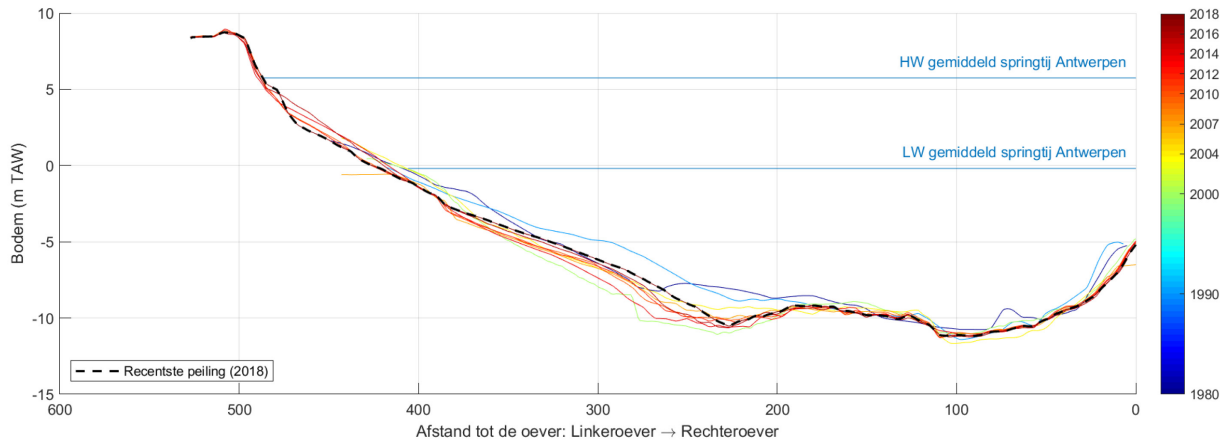
Figuur 4 – Dwarsdoorsnede van de bathymetrie ter hoogte van de Scheldebrug (2016-2018)



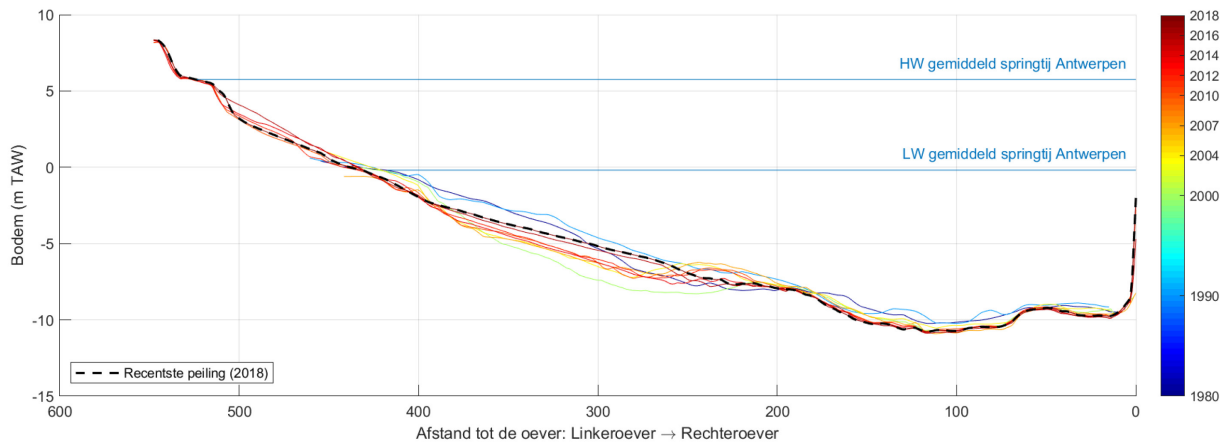
Figuur 5 – Lithologische kaart



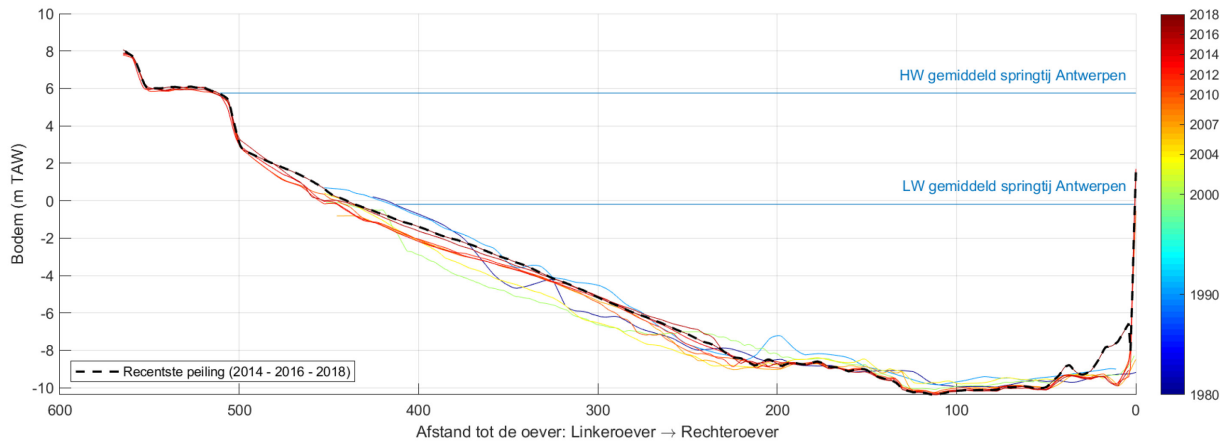
Figuur 6 – Bodemevolutie langs Raai Scheldebrug, 1980 - 2018



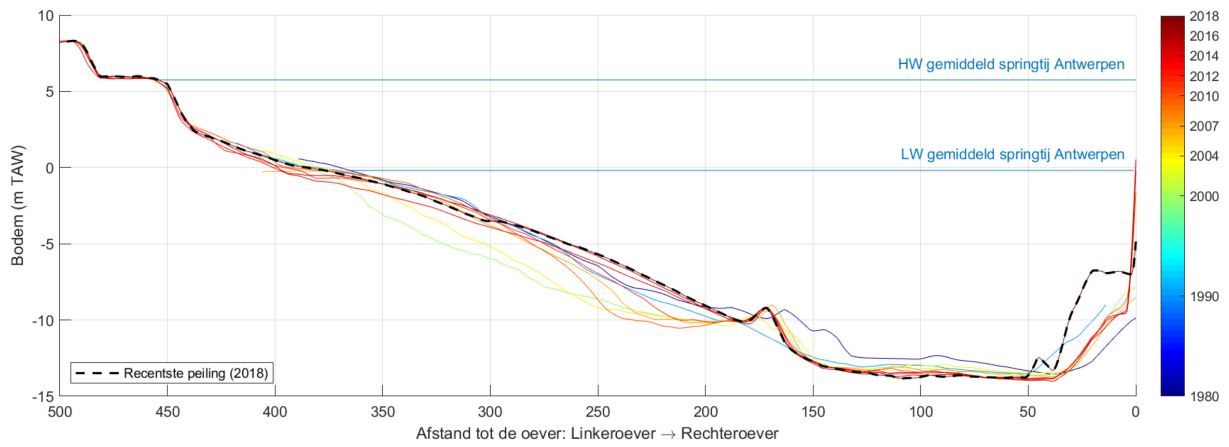
Figuur 7 – Bodemevolutie langs de raai afwaarts Scheldebrug, 1980 - 2018



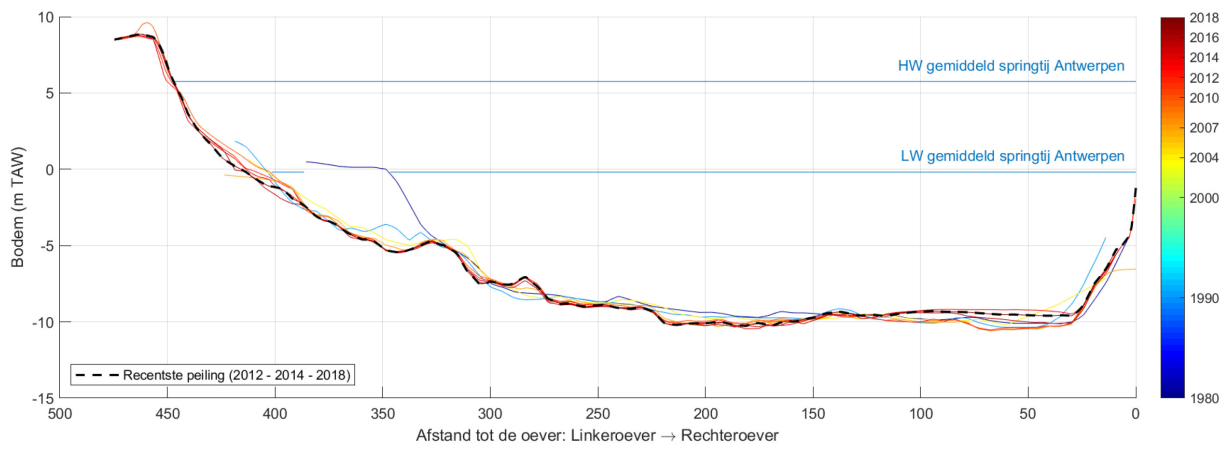
Figuur 8 – Bodemevolutie langs de raai "De Vlake", 1980 - 2018



Figuur 9 – Bodemevolutie langs de raai afwaarts Galgenweel, 1980 - 2018



Figuur 10 – Bodemevolutie langs de raai Burchtse Weel, 1980 - 2018



Zie Figuur 2 voor de locaties van de raaien.

3 Strooming

De lokale stromingen onder de huidige toestand worden geanalyseerd aan de hand van het numerieke stromingsmodel van de Schelde, Scaldis, ontwikkeld door het Waterbouwkundig laboratorium. Op basis van de berekende debieten ter hoogte van de Scheldebrug kan de impact van de pijlers op de lokale strooming geschat worden.

3.1 Modelbeschrijving

In het kader van het project “Integraal plan Boven-Zeeschelde” ontwikkelde het Waterbouwkundig Laboratorium een *high resolution* driedimensionaal model voor het volledige Schelde-estuarium: *Scaldis* (Smolders *et al.*, 2016). *Scaldis* is ontwikkeld binnen het TELEMAC software platform en bestaat uit een ongestructureerd rooster met een variabele resolutie. Het volledig ruimtelijke domein van het model is weergegeven in Figuur 11.

De horizontale resolutie varieert van 500 m aan de zeewaartse randen tot lokaal 3 m stroomopwaarts het estuarium. In het Schelde estuarium varieert de resolutie van 120 m in het mondingsgebied tot 30 m nabij Antwerpen. Figuur 12 toont een detail van het rekenrooster in het interessegebied ter hoogte van de Scheldebrug. Het volledige rekenrooster bestaat uit 873 000 cellen en heeft vijf sigma-lagen wat neerkomt op ongeveer 2,3 miljoen *rekenpunten* in het totaal.

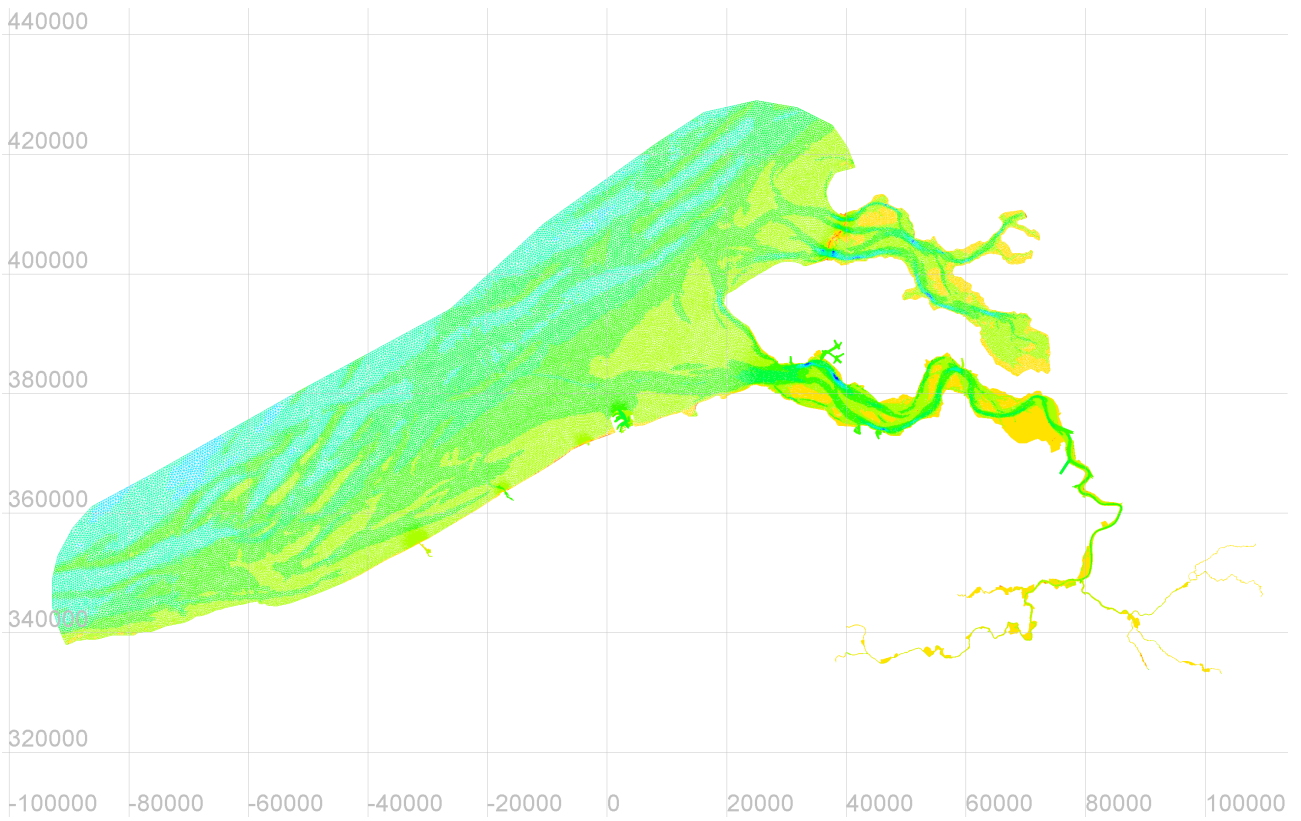
Het model is gekalibreerd op waterstanden en snelheidsmetingen op verschillende plaatsen langsheen het estuarium. De dichtstbijzijnde snelheidsmetingen ten opzichte van de locatie van de Scheldebrug zijn ter hoogte van Oosterweel en Kruibeke¹. De nauwkeurigheid van het model wordt op deze locaties geschat rond de 15 cm/s (root mean square error, RMSE). Voor de locatie van de Scheldebrug zijn nog geen metingen beschikbaar.

Het model rekt typisch een springtij-doodtij cyclus door. Voor de analyse van de stromingen ter hoogte van de Scheldebrug werd een representatief gemiddeld springtij geselecteerd uit de *Scaldis* referentierun *Scaldis_039_0*², zie Figuur 13 en Tabel 1. Bij springtij treden de hoogste stroomsnelheden op die voor de verschillende functies (scheepvaart, veiligheid, ecologie, ...) het meest relevant zijn.

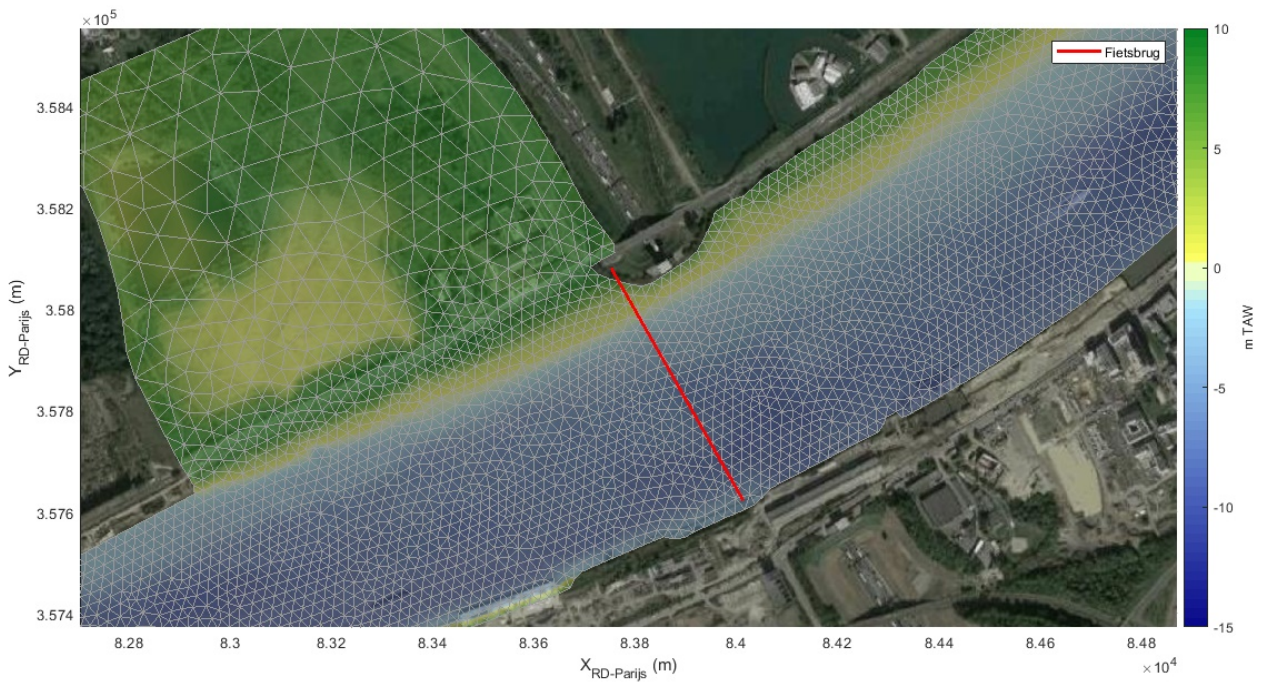
¹ MONEOS monitoring raaien <http://www.scheldemonitor.be/geoviewer/#/>

² 'j:\13_131_bevearbozs\Calibration_Scaldis_2013\Scaldis_039_0\r2D_v17_039_0.slf'

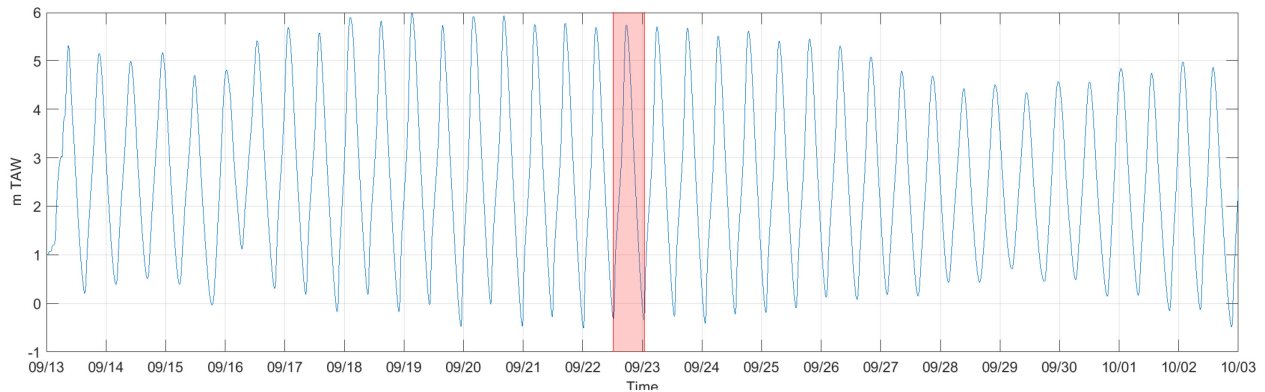
Figuur 11 – TELEMAC 3D Scaldis model



Figuur 12 – Detail van het rekenrooster in het interessegebied. De locatie van Scheldebrug is gemarkeerd in rood.



Figuur 13 – Gemodelleerde waterstand Antwerpen (Scaldis model run: r2D_v17_039_0) met in rood het geselecteerd representatief gemiddeld springtij.



Tabel 1 – Gemodelleerd representatief gemiddeld springtij nabij getijpost Antwerpen (ter vergelijking zijn tussen haakjes HW en LW voor het langjarig gemiddelde springtij toegevoegd³)

Geselecteerd springtij: 22/09/2013 12:20 – 23/09/2013 00:45		
Hoogwater	5,75 m TAW (5,75 m TAW)	6,49 m LAT (6,49 m LAT)
Laagwater	-0,35 m TAW (-0,19 m TAW)	0,39 m LAT (0,55 m LAT)

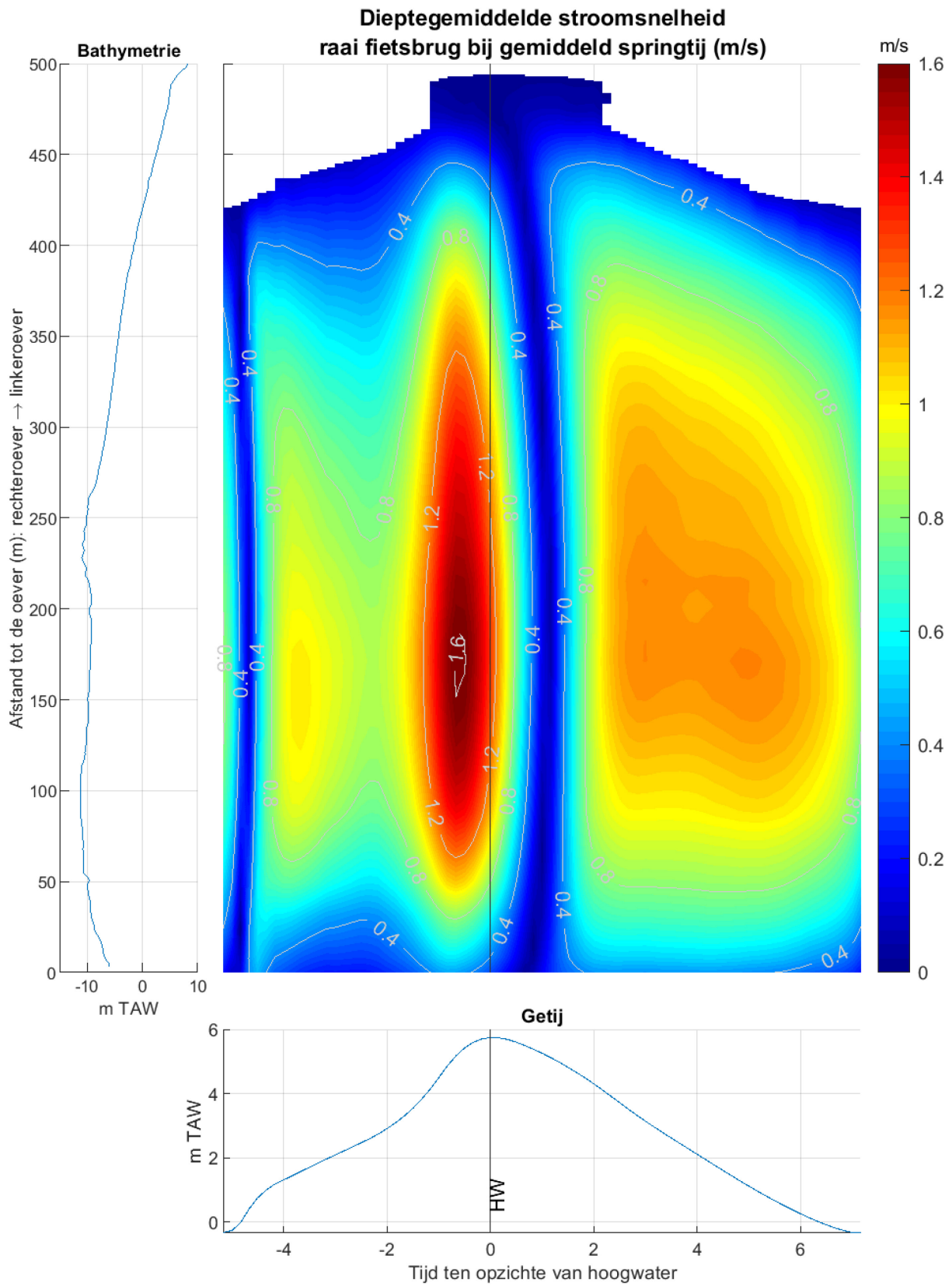
3.2 Getij

Figuur 14 geeft het verloop van de strooming over een dwarsraai ter hoogte van de locatie van de Scheldebrug bij een gemiddeld springtij weer. De x-as geeft de tijd ten opzichte van hoogwater en de y-as de afstand langs de raai ten opzicht van rechteroever, zie Figuur 2 voor de locatie van de raai. Het verloop van de lokale snelheid en getij ter hoogte van de vaargeul is weergegeven in Figuur 15. Figuur 16 tenslotte geeft de maximale dieptegemiddelde eb- en vloedstroom bij een gemiddeld springtij weer. Voor de stroomsnelheden in knoop zie Bijlage 1. De strooming is maximaal, tot 1,6 m/s (3,1 kn) ongeveer één uur voor hoogwater bij vloed. De maximale ebstroom is lager, 1,2 m/s (2,3 kn), maar duurt langer.

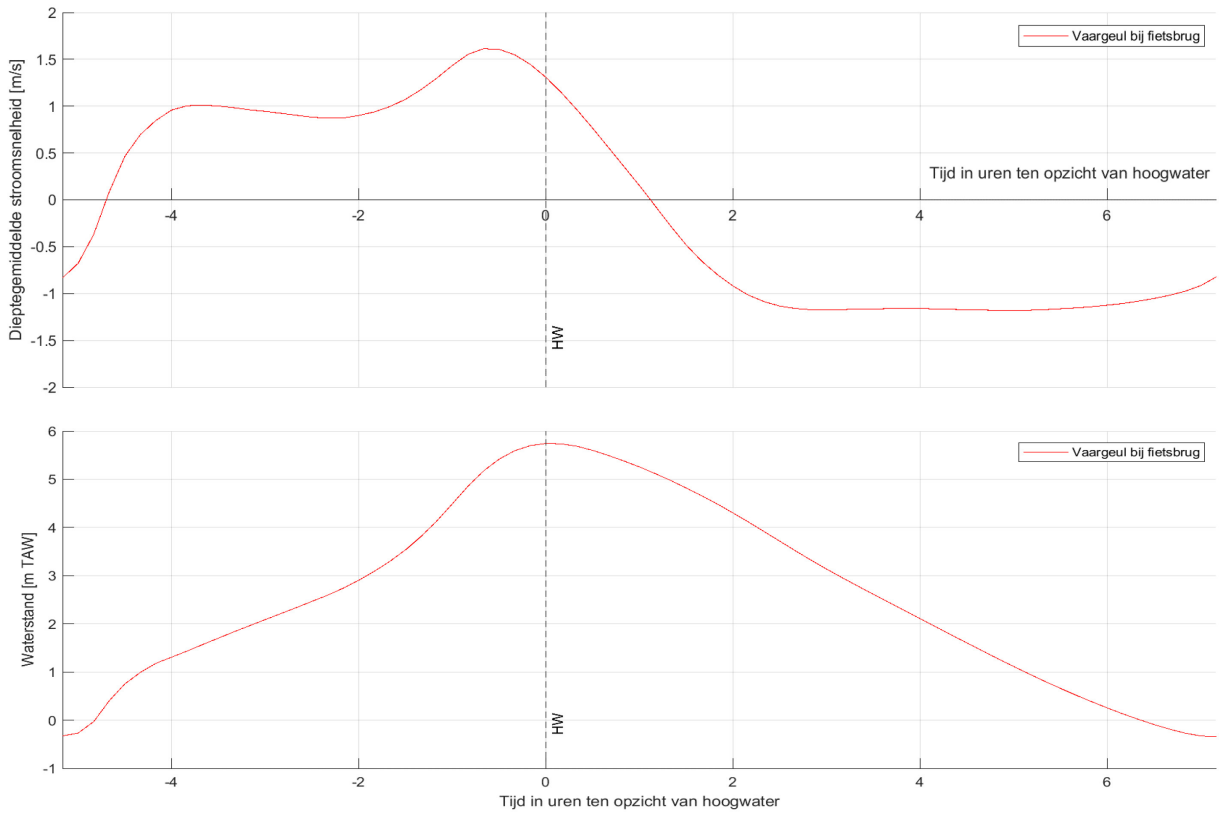
Gezien de sterkte van de strooming zullen schepen die voor stroom varen zowel bij eb als bij vloed voldoende vaart moeten hebben voor de bestuurbaarheid van het schip (de snelheid door het water is bepalend voor de manoeuvreerbaarheid). Dit zal impact hebben op de breedte van het opengaande gedeelte van de brug, maar ook op de procedure die gevold dient te worden wanneer een schip in aantocht is, en dus de tijd dat de brug open zal staan. De situatie is in deze niet te vergelijken met bestaande bruggen zoals op het kanaal Gent-Terneuzen waar er nauwelijks strooming is (enkel afwatering) of Temse waar het verkeer beperkt is tot binnenvaart. Deze aspecten worden verder behandeld in het tweede deelrapport.

³ Bron: Maritieme Dienstverlening en Kust, Getijtafels 2018, <http://www.afdelingkust.be/nl/getij>

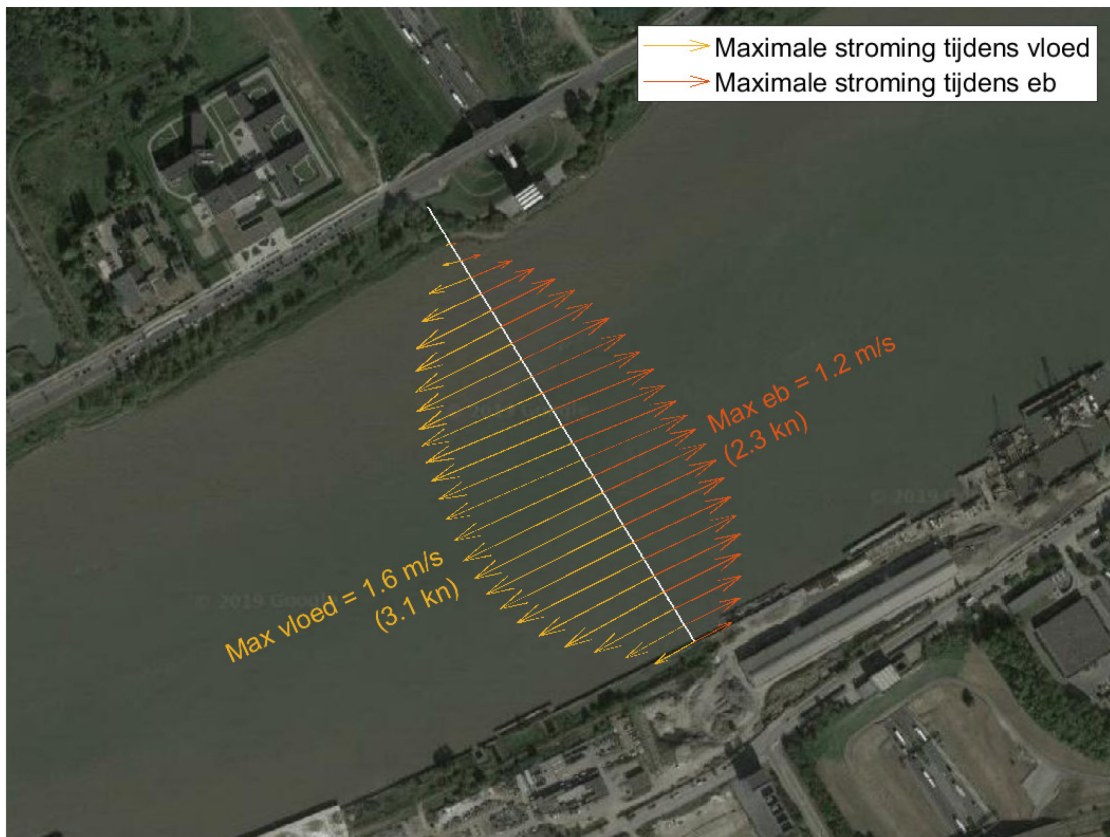
Figuur 14 – Snelheidsverloop ter hoogte van de Scheldebrug



Figuur 15 – Dieptegemiddelde stroming (boven, positieve stroming is vloed) en waterstand (onder) bij gemiddeld springtij, centraal in de vaargeul ter hoogte van de Scheldebrug.



Figuur 16 – Maximale stroming (dieptegemiddeld) raai Scheldebrug bij gemiddeld springtij



3.3 Impact pijlers

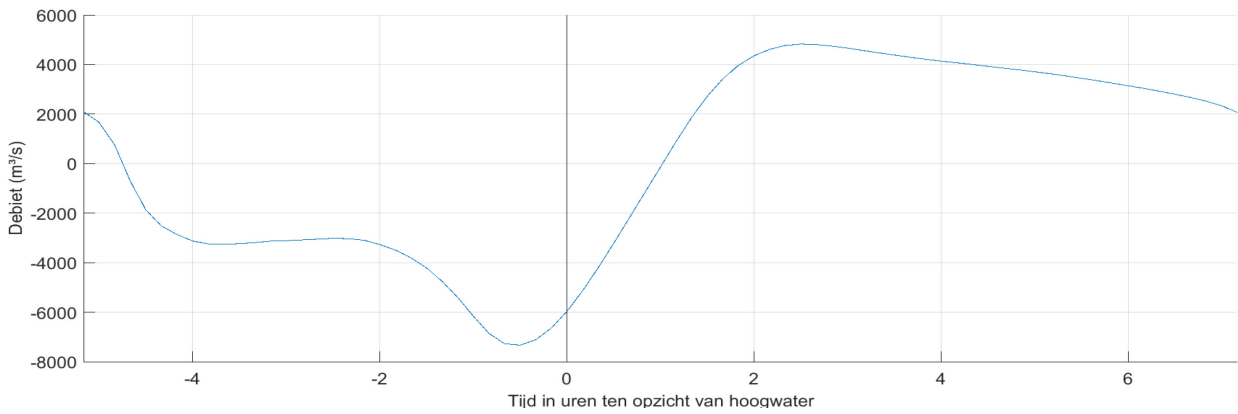
Op basis van de strooming en waterstand is het verloop van het debiet berekend, Figuur 17. De aanleg van de Scheldebrug zal geen invloed hebben op het debiet van de Schelde. De pijlers zorgen wel voor een kleinere dwarsdoorsnede van de raai. Afhankelijk van de locatie van de pijler, het aantal pijlers en de doorsnede van de pijlers kan men verwachten dat de strooming gemiddeld 10 tot 15 % zal toenemen (in geval van 3 pijlers met een diameter van 20 m).

De snelheidstoename zal echter niet evenredig zijn over de breedte van de raai. In Hoffmans & Verheij (1997) wordt het invloedgebied van een cirkelvormige pijler geschat op drie tot zes keer de diameter van de pijler, Figuur 18. De strooming zal maximaal zijn vlak naast de pijler. Op basis van potentiaalstroming theorie is de stroomsnelheid in de buurt van de pijler dubbel zo hoog als de ongestoorde strooming. De exacte stroompatronen zijn echter afhankelijk van de geometrie van de pijlers en het lokaal bodemprofiel, zie bijvoorbeeld ook Figuur 19 (Vijayasree *et al.*, 2019). Dit zijn resultaten van fysische modelproeven in een stroomgoot. De erosiekuil is representatief voor het invloedgebied van de pijler op de strooming. Afhankelijk van de vorm van de pijler varieert het invloedgebied tussen de zes en tien maal de diameter (frontaal ten opzichte van de strooming) van de pijler, Figuur 19 en Tabel 2.

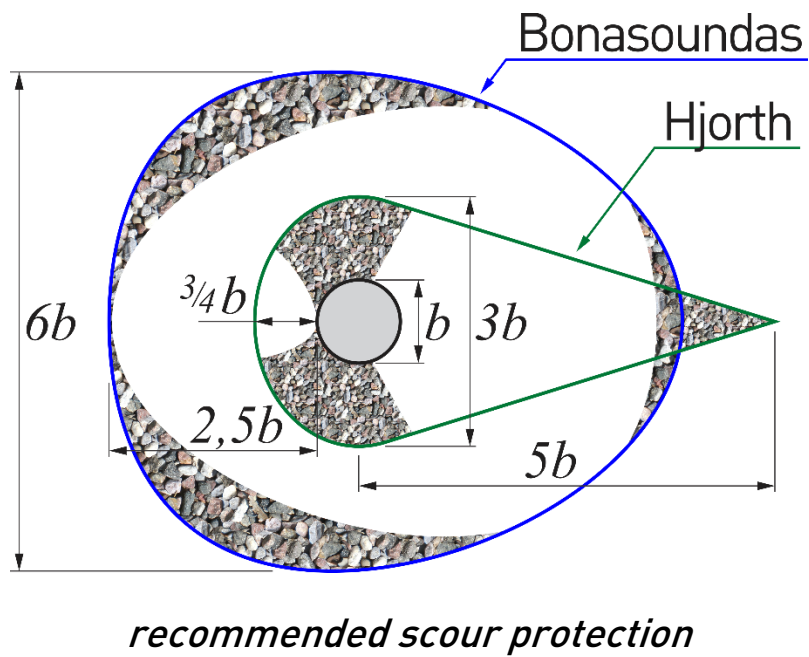
De toename in stroomsnelheid ter hoogte van de locatie van de brug kan naast de lokale uitschuringseffecten, ook een effect (i.e. toename) hebben op de dynamiek ter hoogte van de slikken en schorren binnen de invloedzone. Het belang hiervan voor de ecologie dient verder onderzocht te worden. De effecten hiervan zullen sterk afhankelijk zijn van de vorm en positie van de pijlers, met in het bijzonder de pijler of pijlers in of nabij het matig diep/ondiep subtidaal en inertidaal nabij linkeroever.

Om de strooming in detail te analyseren is een CFD simulatie of fysisch model aangewezen. Gezien de hoge stroomsnelheden zal bodembescherming noodzakelijk zijn.

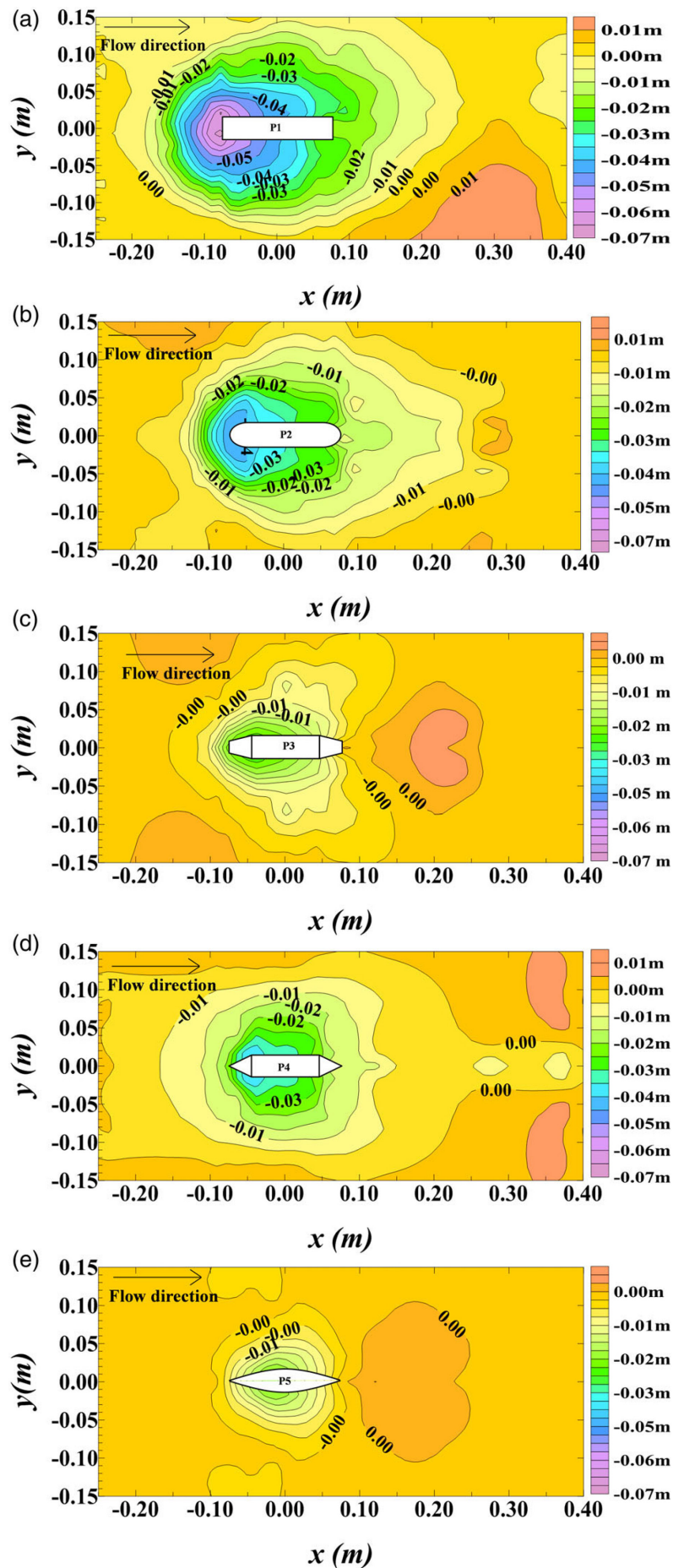
Figuur 17 – Debiet raai Scheldebrug tijdens Gemiddeld springtij (debiet positief afwaarts)




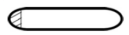
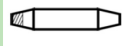
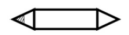

Figuur 18 – Invloedsgebied van een enkele pijler volgens Bonasoudas en Hjorth (Hoffmans & Verheij, 1997)



Figuur 19 – Invloed van de geometrie van de pijler op de erosiekuil (experimenteel onderzoek Vijayasree *et al.* (2019))



Tabel 2 – Dimensies van het invloedsgebied van de pijler als verhouding tot de diameter (dwars), zie ook Figuur 19.

Vorm	Totale lengte	Lengte voor de pijler	Lengte achter de pijler	Breedte
	16.7	4.1	7.6	9.7
	16.0	3.5	7.5	9.0
	8.0	1.5	1.5	6.7
	11.3	1.6	4.7	7.3
	7.7	0.8	1.8	5.7

4 Conclusies

De aanleg van de Scheldebrug zal over het algemeen weinig effect hebben op de grootschalige dynamiek van strooming en sediment. Lokale verstoringen zijn wel te verwachten. Afhankelijk van de diameter en vorm van de pijlers zal de strooming lokaal toenemen met mogelijke erosie tot gevolg. Bodembescherming zal hier nodig zijn. Volgens literatuur zal de strooming in de dwarsrichting over een afstand van zes tot tien maal de diameter van de pijler beïnvloed worden. De eigenlijke invloedzone is echter sterk afhankelijk van de vorm en diameter van de pijlers, alsook de locatie en lokale bathymetrie. Een CFD analyse of fysisch model kan hier verder in het ontwerp meer inzicht in geven.

Linkeroever wordt gekenmerkt door een ondiepe zone en slik. Wanneer in het ontwerp een pijler voorzien wordt kort bij linkeroever kan dit erosie van het slik tot gevolg hebben. Snelheidsverhogingen in de invloedzone kunnen lokaal ook een effect hebben op de ecologie. Dit dient verder onderzocht te worden.

De keuze van de locatie van de Scheldebrug heeft een impact op de toegankelijkheid van Antwerpen voor alle zeevaart en binnenvaart die de Schelde ter plaatse van de fietsbrug en opwaarts de fietsbrug moet kunnen bereiken. Door de aanleg van de brug komt de voorziene zwaaizone voor cruiseschepen ter hoogte van de Kennedytunnel te vervallen. Zwaaien meer opwaarts lijkt momenteel geen optie omwille van de beperkte diepte bij laagwater, de beperkte breedte van de Schelde en de kans op afgemeerde tankers ter hoogte van de Petroleumkaai.

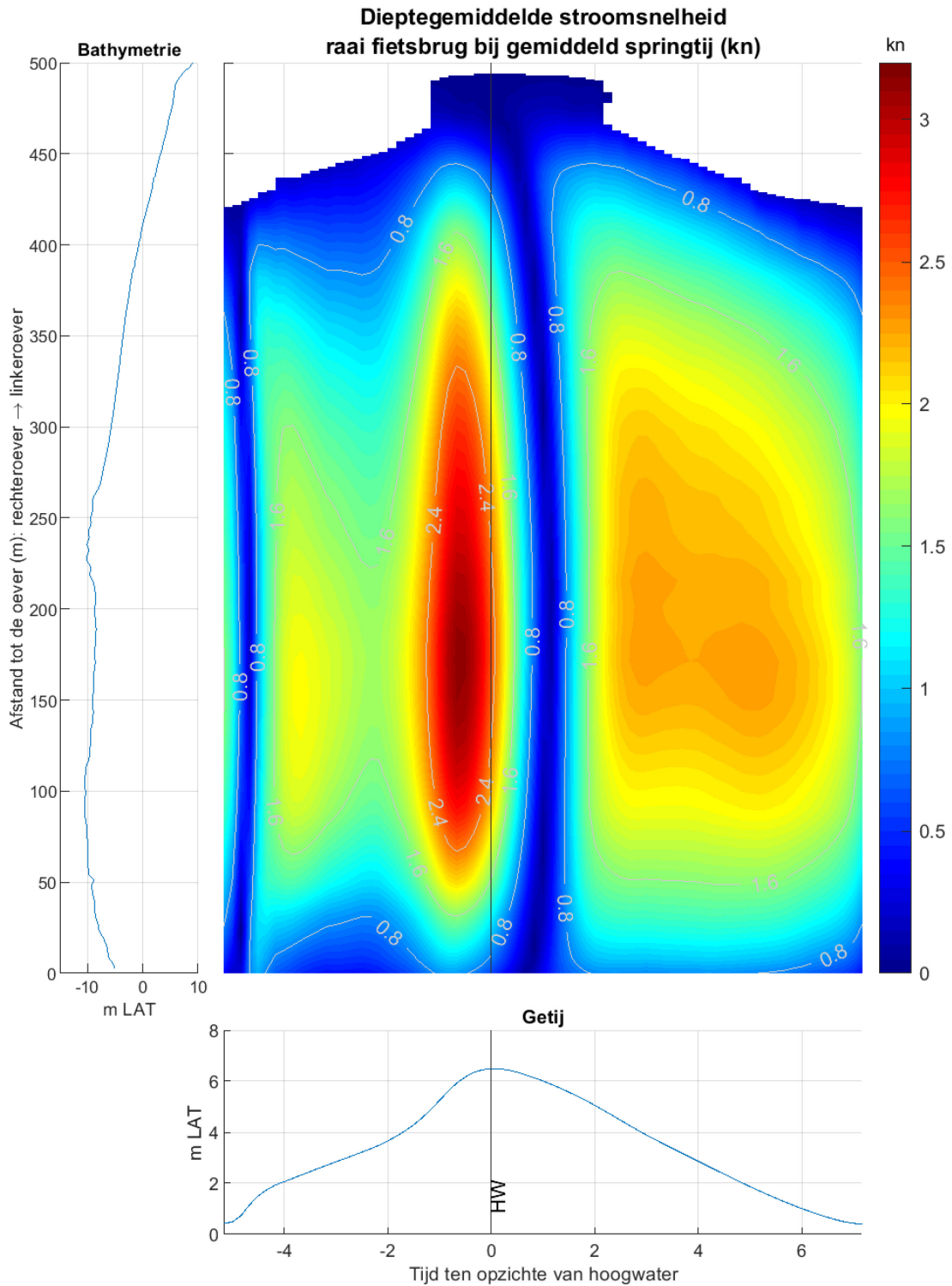
De strooming ter hoogte van de locatie van de Scheldebrug is aanzienlijk, tot meer dan 1,6 m/s (3,1 kn) bij een gemiddeld springtij. De situatie is niet vergelijkbaar met andere bruggen zoals op het kanaal Gent-Terneuzen (nauwelijks strooming) of Temse (enkel binnenvaart). Dit zal een impact hebben op de breedte van het opengaande gedeelte van de brug en op de procedures wanneer een schip in aantocht is. Deze nautische aspecten worden verder onderzocht in het tweede deelrapport.

Referenties

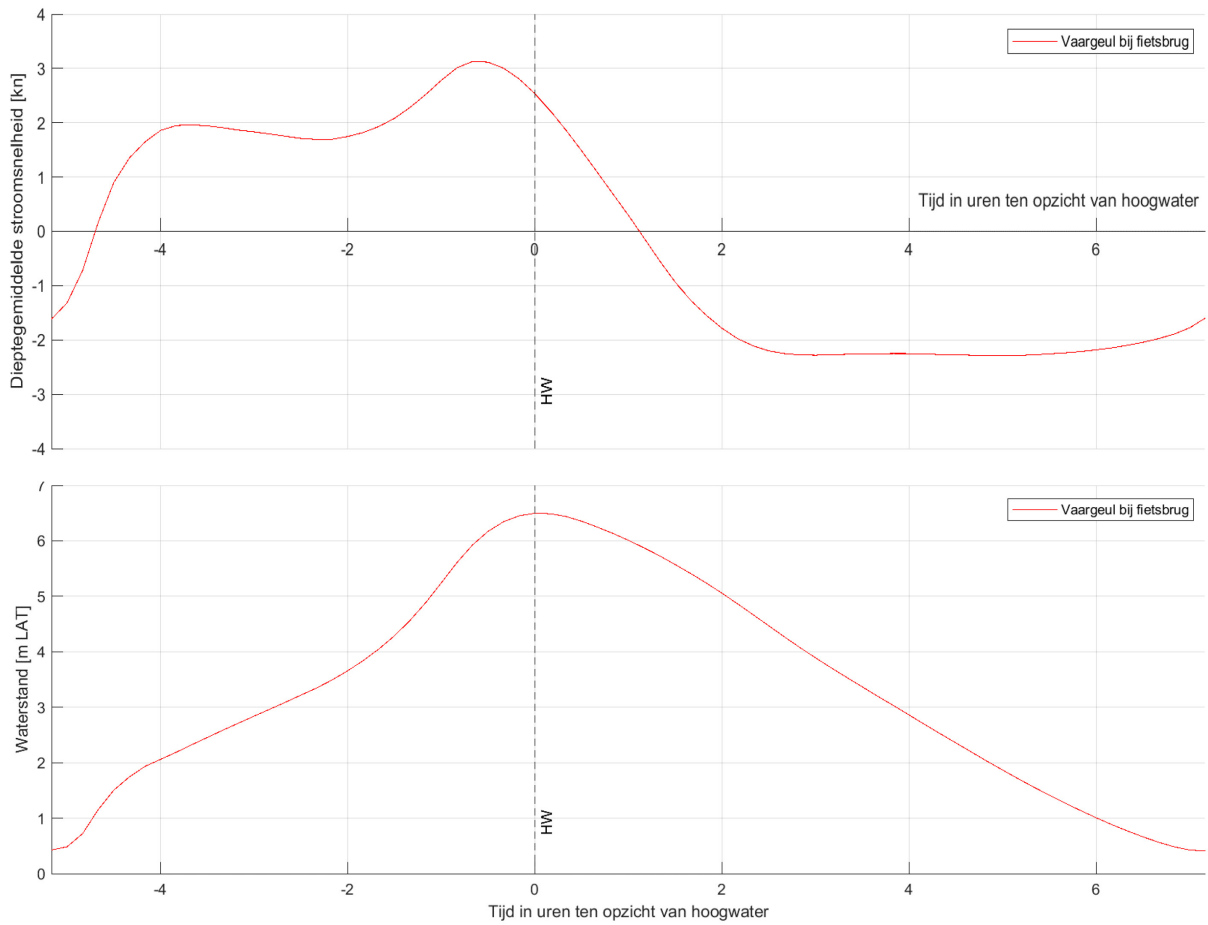
- Eloot, K.; Verwilligen, J.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2012). Haven van Antwerpen: toegankelijkheid van cruiseschepen tot de Rede: deelrapport 1. Simulatiestudie. *WL Rapporten*, 12_007. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Hoffmans, G.J.C.M.; Verheij, H.J.** (1997). Scour manual. A.A. Balkema Publishers: Rotterdam. 205 pp.
- Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Integraal plan Bovenzeeschedde: Subreport 1. SCALDIS: a 3D Hydrodynamic model for the Scheldt Estuary. *WL Rapporten*, 13_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp
- Vijayasree, B.A.; Eldho, T.I.; Mazumder, B.S.; Ahmad, N.** (2019). Influence of bridge pier shape on flow field and scour geometry. *Int. J. River Basin Manag.* 17(1): 109–129. doi:10.1080/15715124.2017.1394315

Bijlage 1 Figuren in LAT en knoop

Figuur 20 – Strooming ter hoogte van de Scheldebrug bij een gemiddeld springtij



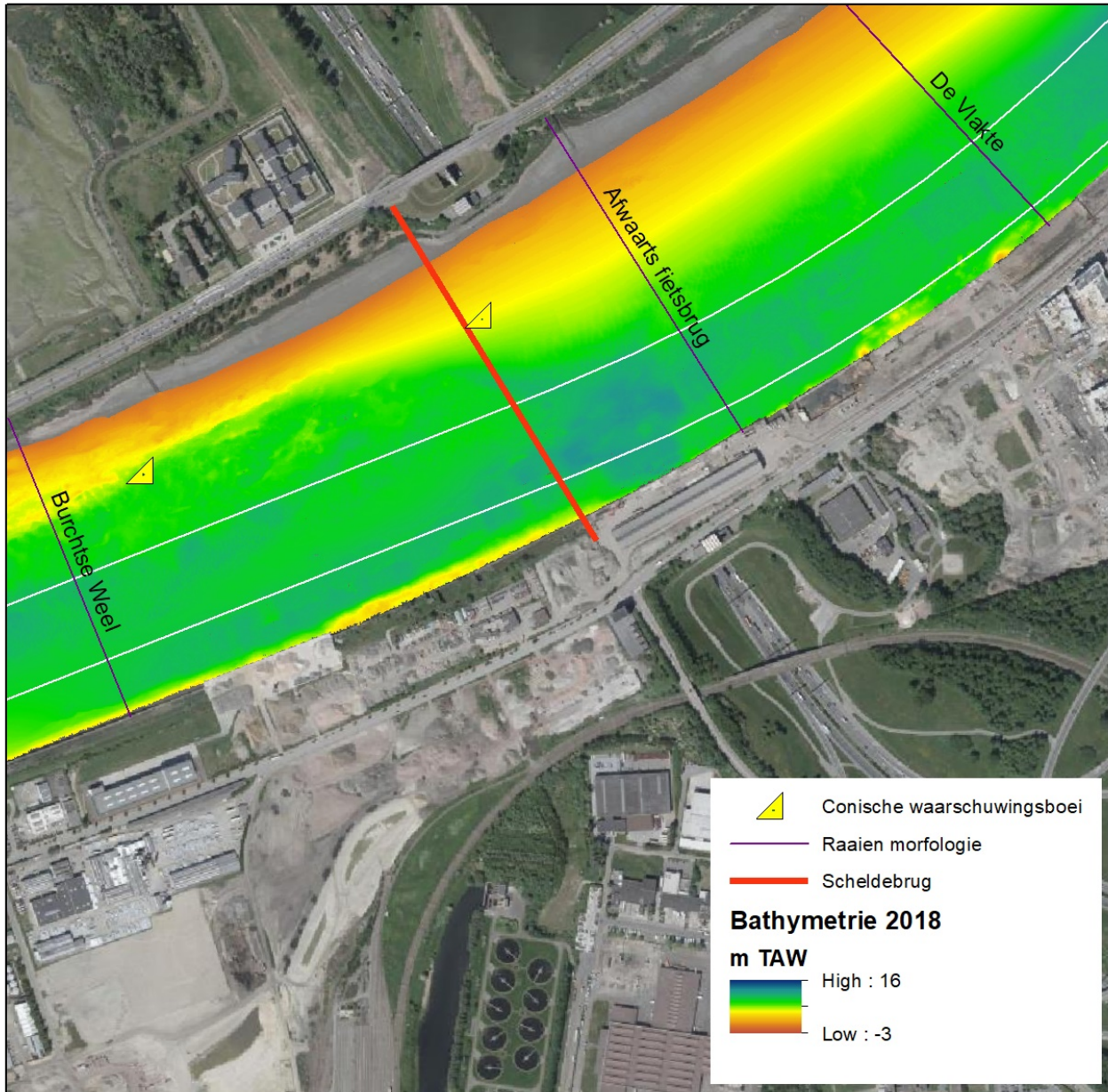
Figuur 21 – Dieptegemiddelde stroming (boven, positieve stroming is vloed) en waterstand (onder) bij gemiddeld springtij, centraal in de vaargeul ter hoogte van de Scheldebrug.



Bijlage 2 Figuren Rede van Antwerpen

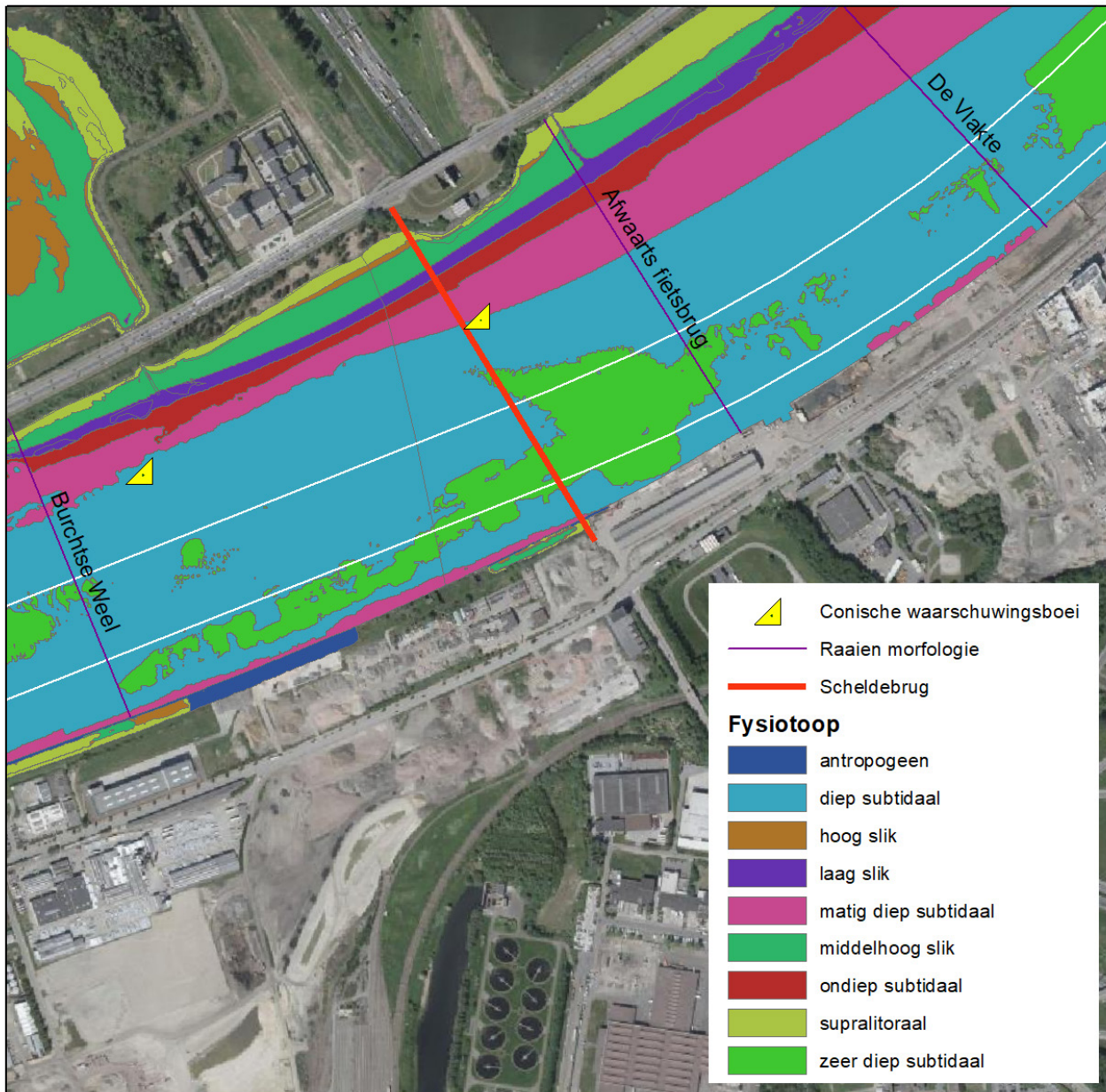
Detailkaarten Kennedytunnel

Figuur 22 – Locatie van de Scheldebrug

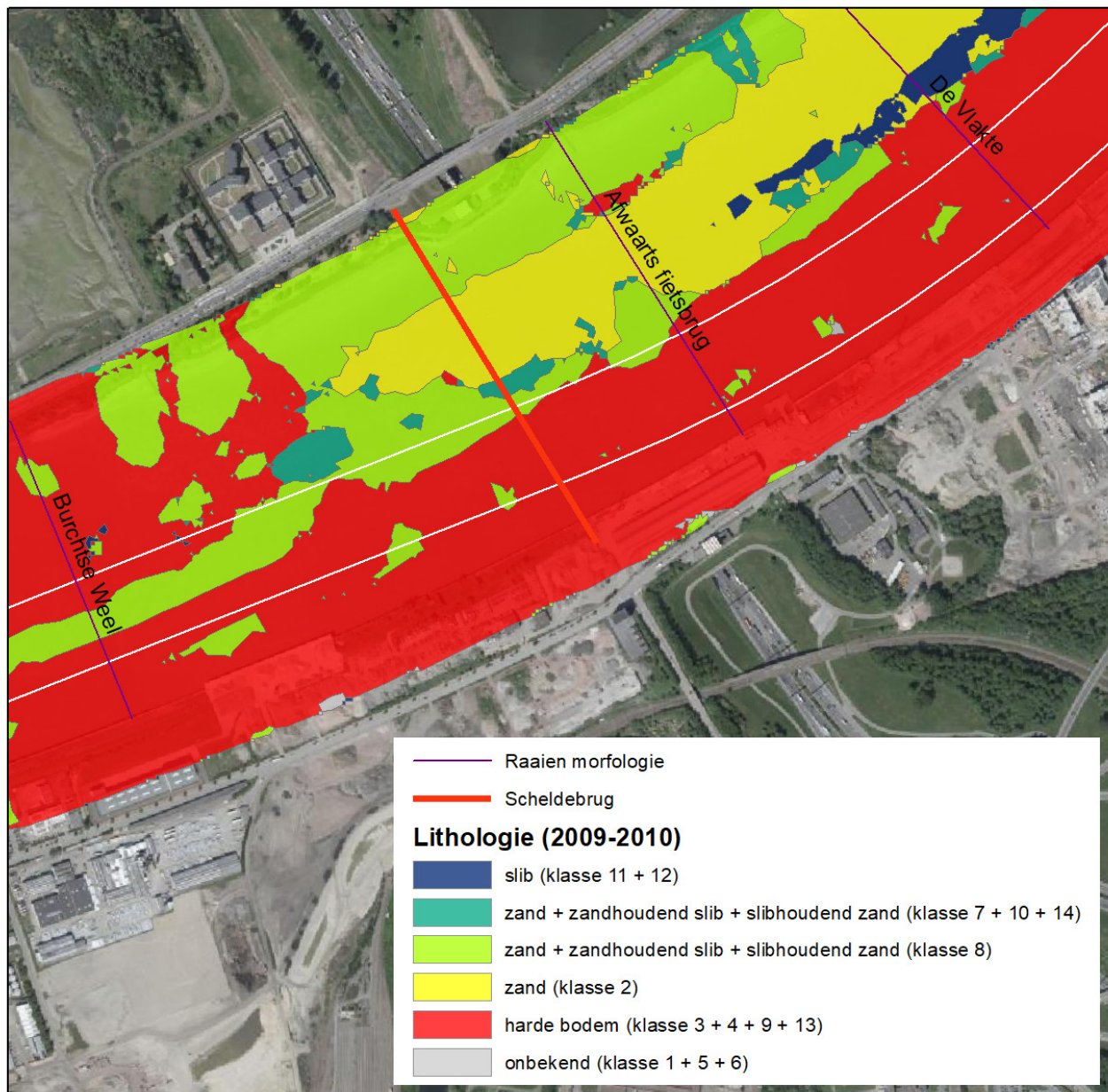


De paarse lijnen geven de raaien weer waarvoor de dwarssecties zijn geplot in Figuur 6 tot Figuur 10. De witte polygoon geven indicatief de locatie van de vaarroute (polygoon theoretische vaargeul volgens de vergunning van de derde verruiming van de Schelde)

Figuur 23 – Ecotopenkaart (2009-2010)

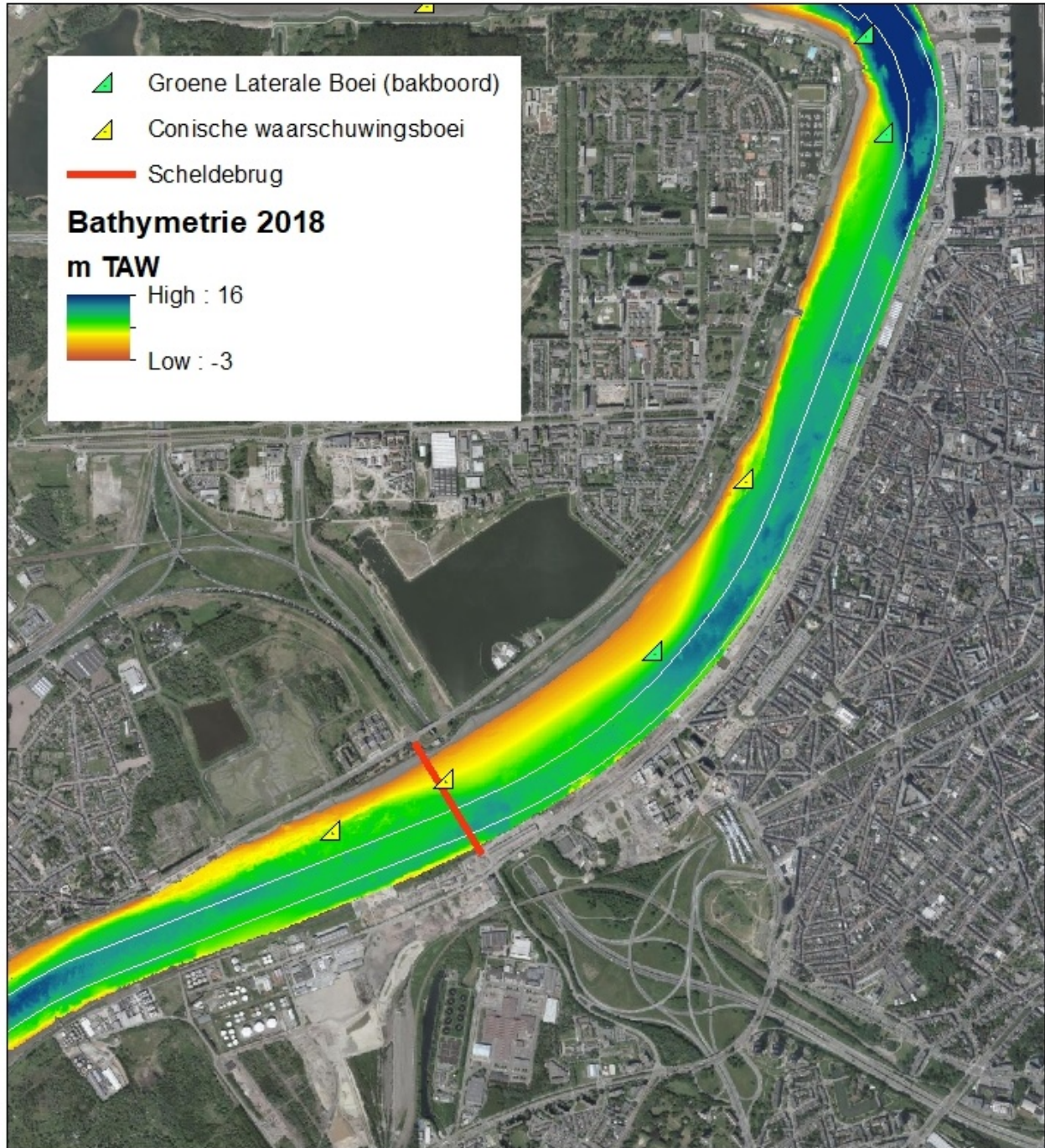


Figuur 24 – Lithologische kaart



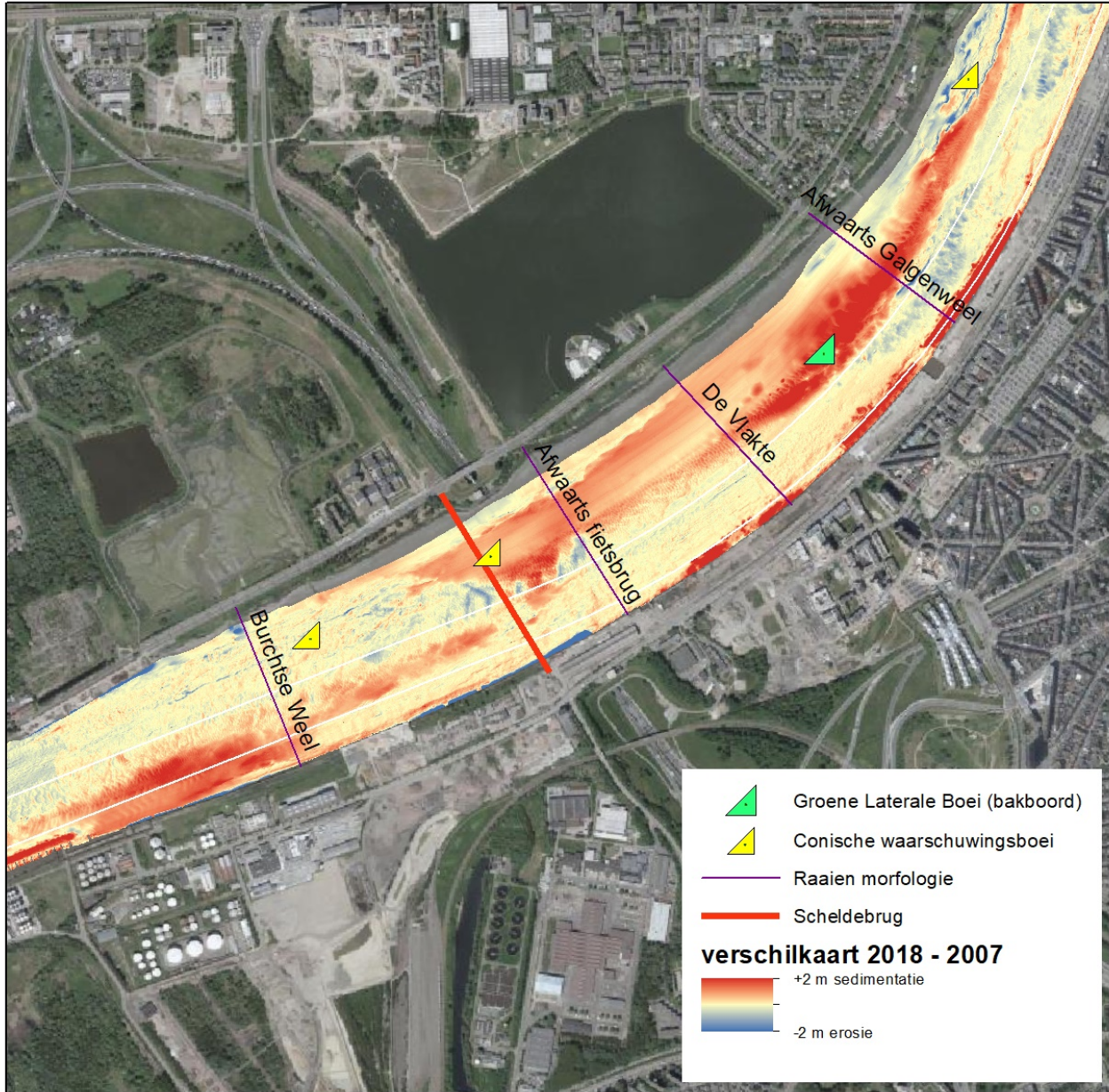
Bathymetrie Rede van Antwerpen

Figuur 25 – Locatie van de Scheldebrug, Bathymetrie rede van Antwerpen



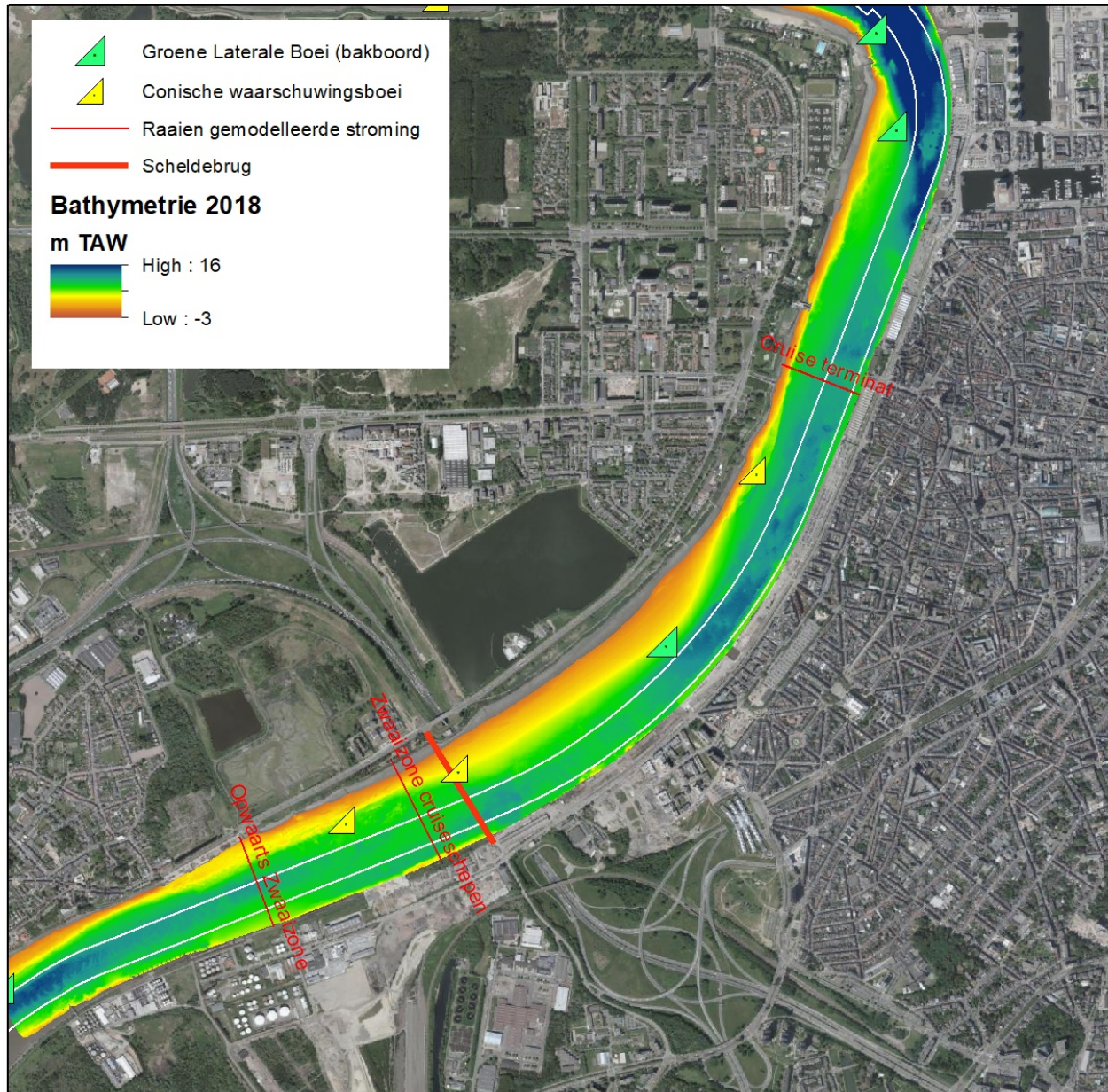
Verschilkaart 2018 – 2007

Figuur 26 – Sedimentatie (rood) - erosie (blauw) ter hoogte van de Rede tussen 2007 en 2018



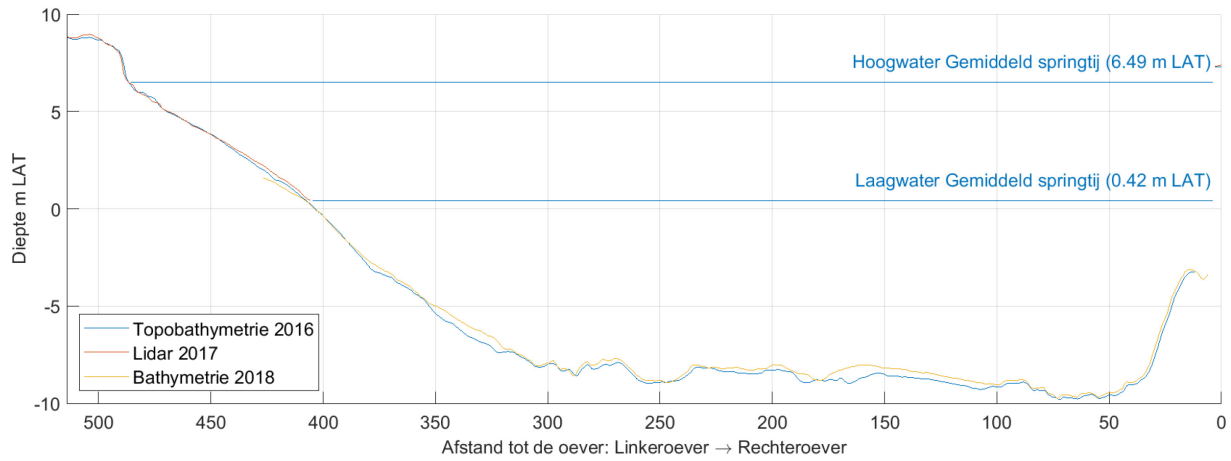
Dwarsdoorsneden zwaaizones

Figuur 27 – Rede van Antwerpen, locatie raaien "opwaarts zwaaizone voor cruiseschepen", "zwaaizone voor cruise schepen" en "huidige cruiseterminal"

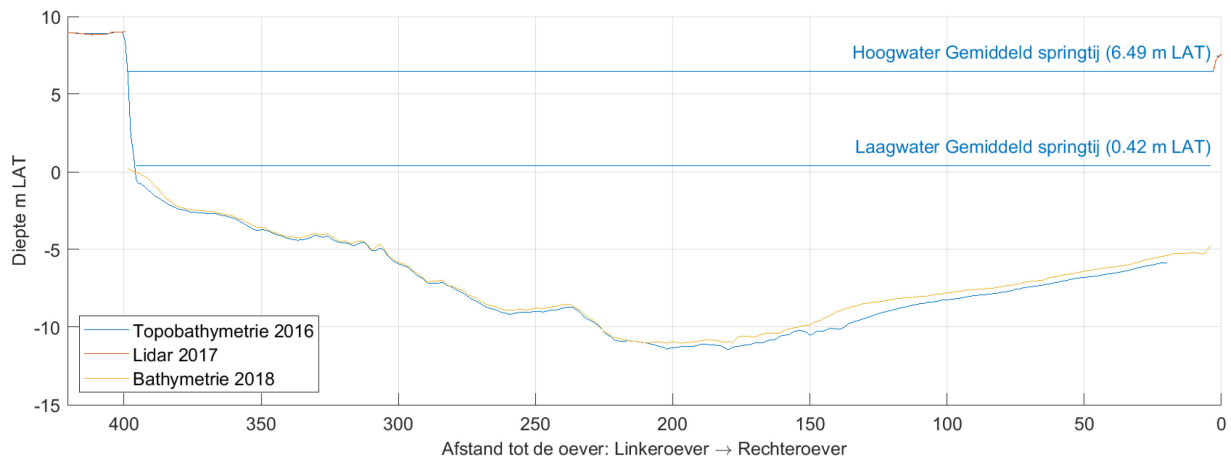


Dwarssecties in LAT

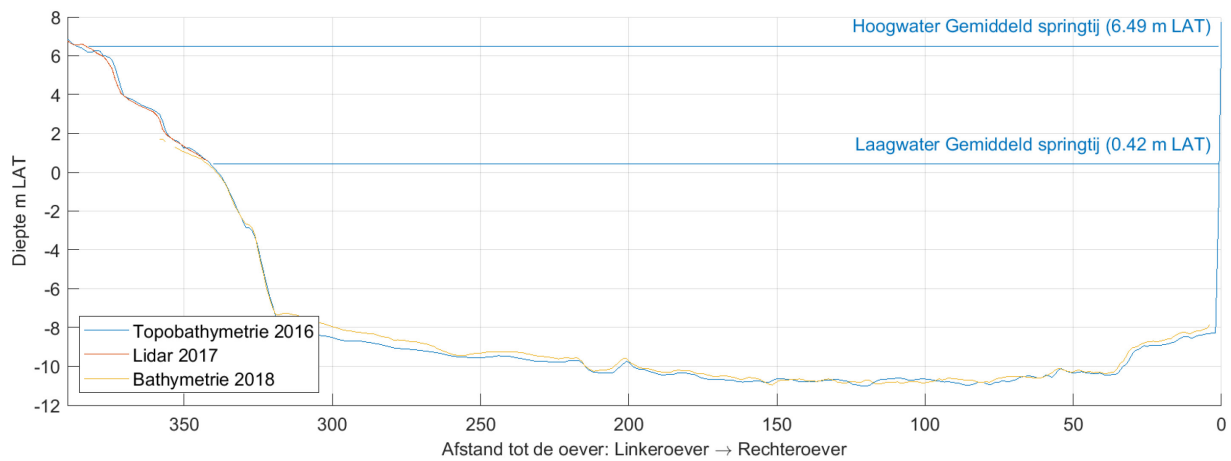
Figuur 28 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige zwaaizone voor cruiseschepen opwaarts de Kennedytunnel (LAT)



Figuur 29 – Bathymetrie opwaarts van de zwaaizone ter hoogte van de Kennedytunnel (LAT)

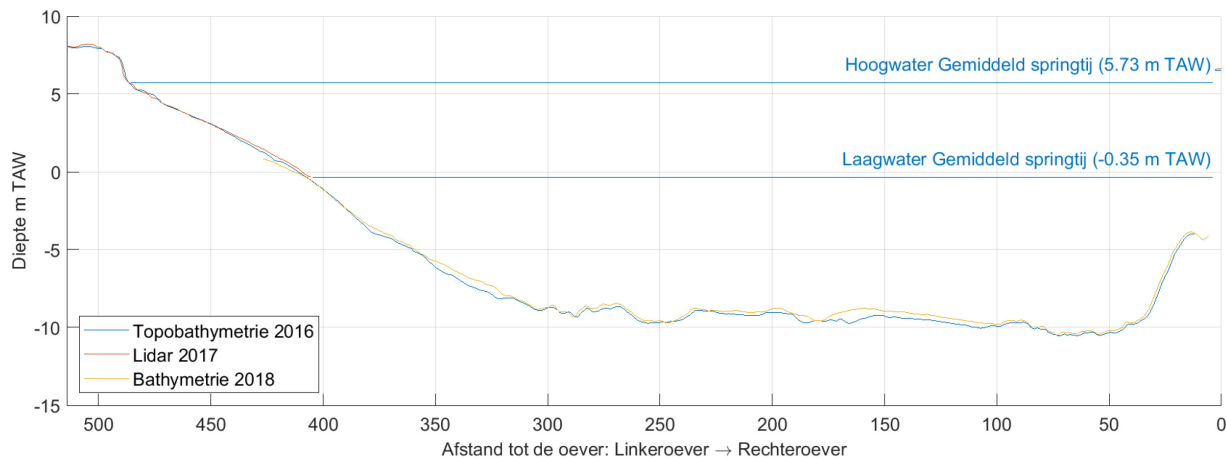


Figuur 30 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige cruiseterminal (LAT)

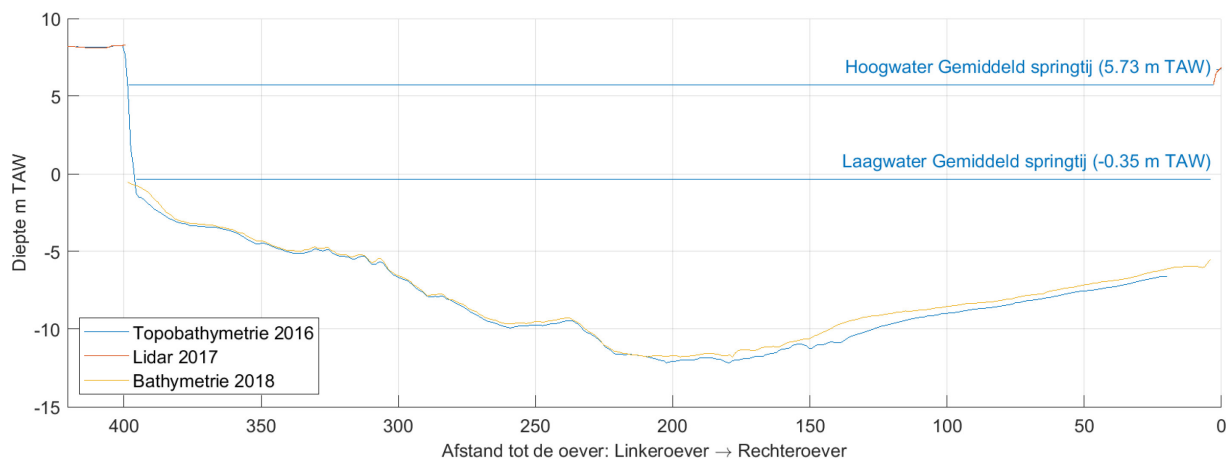


Dwarssecties in TAW

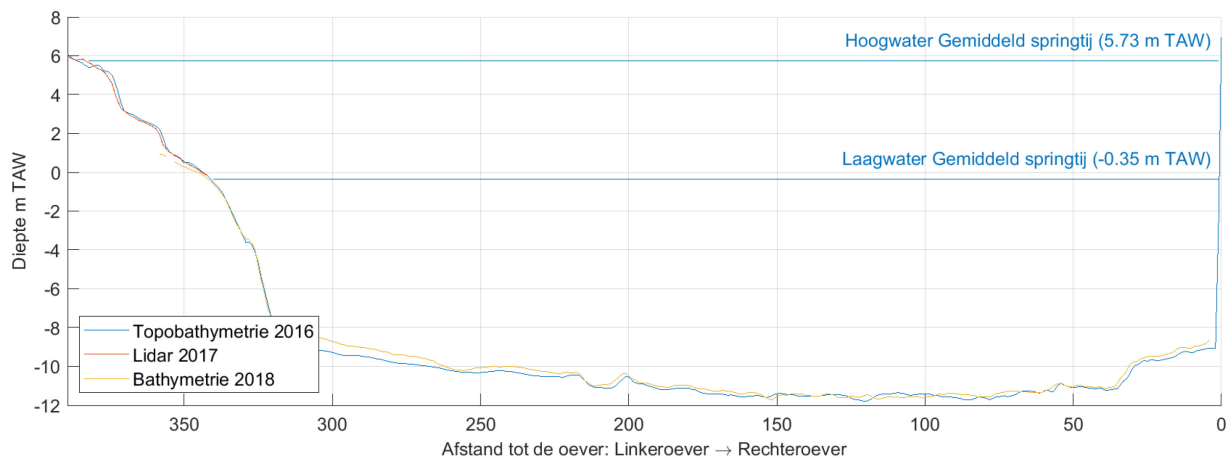
Figuur 31 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige zwaaizone voor cruiseschepen opwaarts de Kennedytunnel (TAW)



Figuur 32 – Bathymetrie opwaarts van de huidige zwaaizone voor cruiseschepen ter hoogte van de Kennedytunnel (TAW)

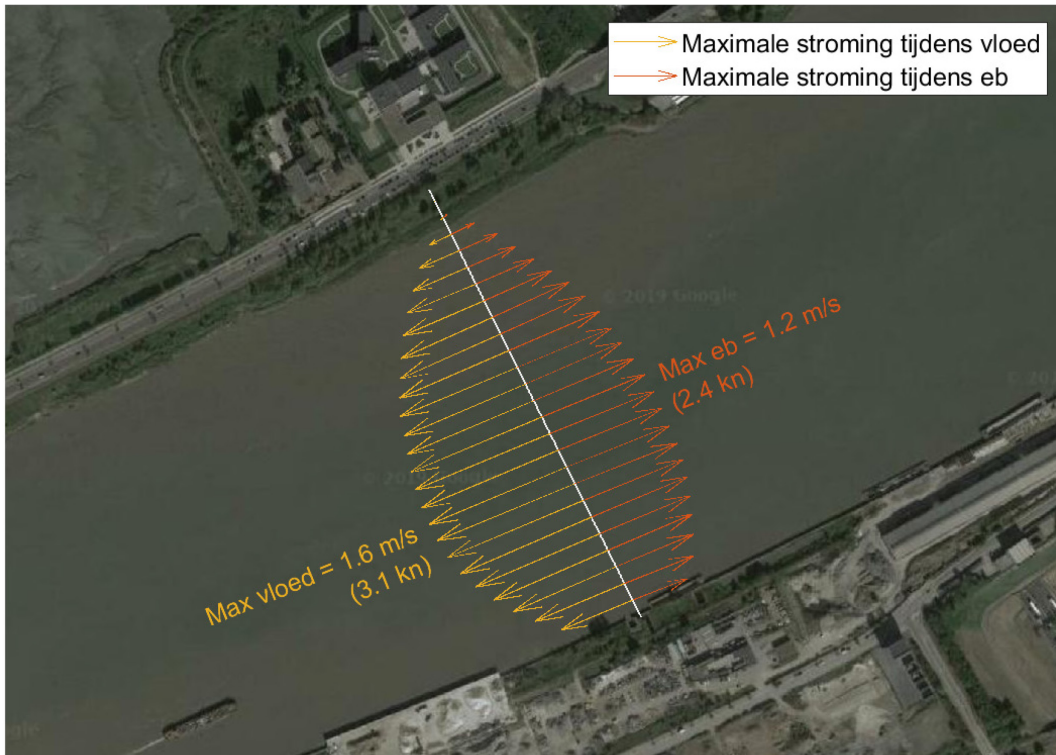


Figuur 33 – Bathymetrie ter hoogte van de huidige cruiseterminal (TAW)

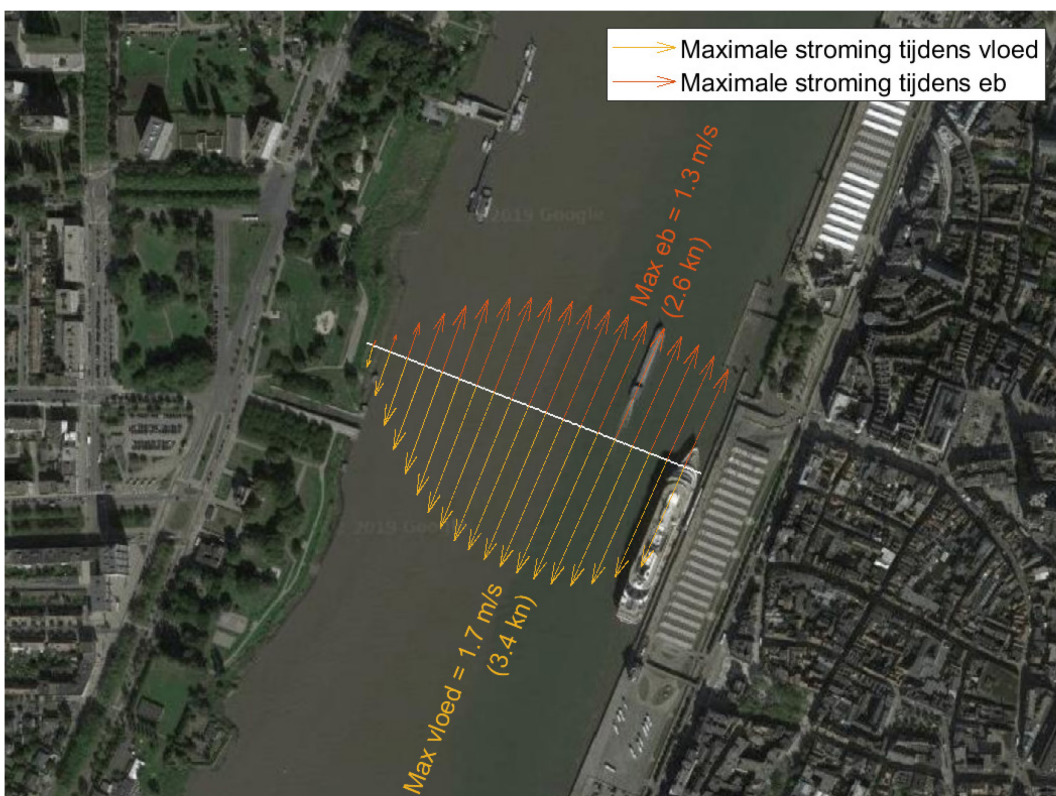


Maximale eb- en vloedstroom bij gemiddeld springtij

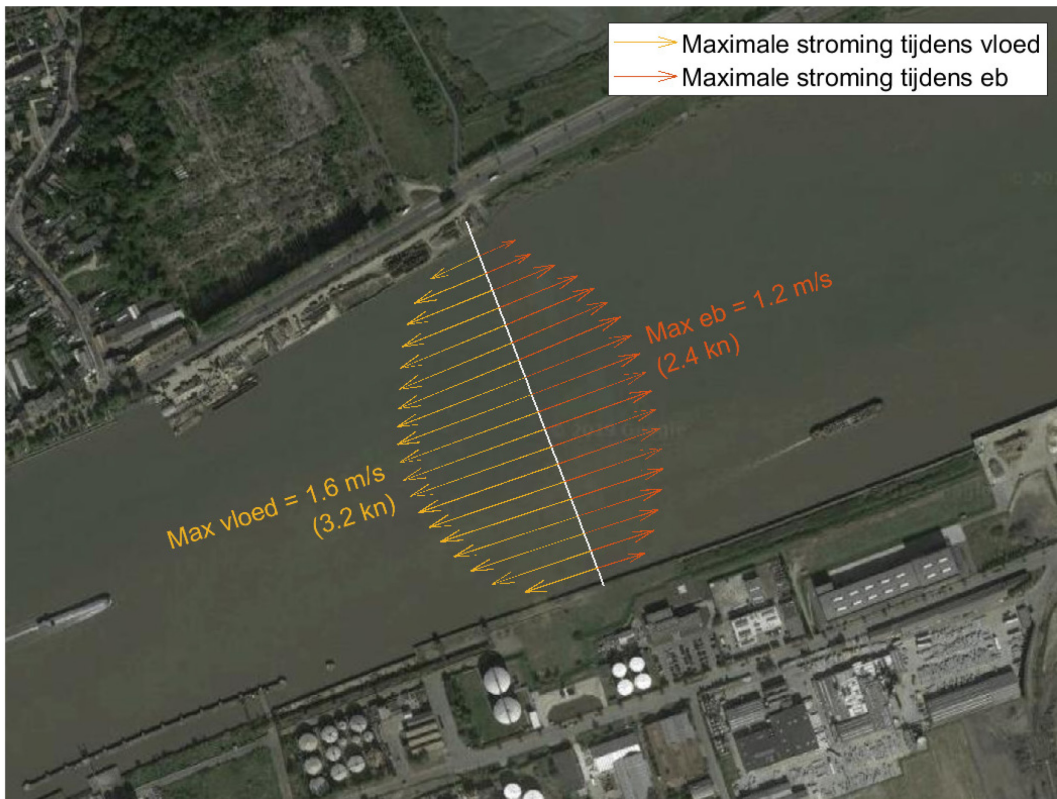
Figuur 34 – Maximale strooming (dieptegemiddeld) ter hoogte van de huidige zwaaizone



Figuur 35 – Maximale strooming (dieptegemiddeld) ter hoogte van de huidige cruiseterminal



Figuur 36 – Maximale strooming (dieptegemiddeld) opwaarts van de huidige zwaaizone



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