



Vlaanderen
is wetenschap

23_063_14
WL rapporten

Stroomatlas Zeebrugge

Deelrapport 14 – Overzicht varende ADCP-metingen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Stroomatlas Zeebrugge

Deelrapport 14 – Overzicht varende ADCP-metingen

Plancke, Y.; Stark, J.; De Maerschallck, B.

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 2024
 D/2024/3241/276

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Stark, J.; De Maerschallck, B. (2024). Stroomatlas Zeebrugge: Deelrapport 14 – Overzicht varende ADCP-metingen. Versie 4.0. WL Rapporten, 23_063_14. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen





Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Port of Antwerp-Bruges	Ref.:	WL2024R23_063_14
Trefwoorden (3-5):	Stroming, ADCP, monitoring, Zeebrugge		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen > In situ metingen		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	26
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor:	Stark, J.	Getekend door: Jeroen Stark (Signature) Getekend op: 2024-09-24 16:48:50 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed  
Projectleider:	De Maerschallck, B.	Getekend door: Bart De Maerschallck (Sig) Getekend op: 2024-09-24 16:43:10 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op: 2024-09-24 22:24:42 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	---

Abstract

Voorliggend rapport presenteert de verwerkte stromingsmetingen van de meetcampagne die in augustus 2023 uitgevoerd werd door het Waterbouwkundig Laboratorium in samenwerking met DAB Vloot in het kader van de nieuwe stroomatlas voor de haven van Zeebrugge. Gedurende 13 meetdagen werd zowel binnen als buiten de voorhaven de stroming gemeten met behulp van ADCP, ingezet vanop een varend meetschip (MS Pierre Petit).

De metingen focusten zich op de stroming in de vaargeul, waarbij meetraaien werden gedefinieerd ter hoogte van de beide (rood, groen) boeienlijnen en het midden van de vaargeul. Een belangrijk aandachtsgebied betrof de zone ter hoogte van koppen van de strekdammen, aangezien deze zone wordt gekenmerkt door een gradiënt van beperkte stroming in de voorhaven, naar sterke stroming buiten de voorhaven.

De metingen tonen een sterke ruimtelijk variatie van de stroming: de voorhaven wordt gekenmerkt door aanzienlijk lagere snelheden (0,5 m/s) dan het gebied buiten de voorhaven (tot 1,5 à 2 m/s). Een bijzonder patroon treedt op net buiten de koppen van de strekdammen bij maximum vloed: net buiten de koppen neemt de snelheid eerst snel toe, waarna ca. 50 m buiten de koppen de snelheid terug afneemt; 200 m buiten de koppen neemt de snelheids grootte opnieuw toe (tot dezelfde grootte als bij de koppen), om verder zeewaarts, zeer geleidelijk af te nemen.

De stroming kent eveneens een variatie over de verticale. De snelheids grootte nabij het wateroppervlak is over het algemeen groter dan de snelheid nabij de bodem. Voor de snelheidsrichting - waarbij enkel de snelheden groter dan 0,5 m/s werden beschouwd – wordt zowel tijdens de vloed als de eb een verschil in richting waargenomen tussen de zone nabij het wateroppervlak en nabij de bodem van 20° à 30°. De oorzaak van deze verschillen is vermoedelijk toe te schrijven aan de lokale topo-bathymetrie, dichtheid-gedreven stroming, een verschillende invloed over de verticale van de strekdammen en de wind.

Een laatste vaststelling is de aanwezigheid van (grote) neren in de voorhaven, met name in de getijfase rond hoogwater. De instromende vloedstroming creëert een grote neer die roteert (~ 0,5 m/s oftewel 1 knoop) in wijzerzin, terwijl deze neer zelf een tweede neer initieert die roteert (~ 0,3 m/s oftewel 0,5 knoop) in tegenwijzerzin.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
Dankwoord	1
1 Introductie	2
2 Beschrijving meetcampagne	3
2.1 Studiegebied	3
2.2 Opzet meetcampagnes	4
2.3 Meettechnieken.....	7
2.4 Verwerking	9
2.4.1 ADCP-data.....	9
2.4.2 Koppeling GPS-data	9
2.4.3 Validatie metingen.....	9
3 Resultaten.....	10
3.1 Omgevingscondities	10
3.1.1 Getij.....	10
3.1.2 Wind.....	11
3.1.3 Golven.....	12
3.2 Stroming.....	13
3.2.1 Variatie binnen de getijcyclus.....	13
3.2.2 Variatie over de diepte	14
3.2.3 Stroombeeld nabij de koppen	15
3.2.4 Neren in de voorhaven	16
4 Conclusies	17
5 Referenties	18
Bijlage 1 Resultaten per getijfase van 30'	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht uitgevoerde metingen GF = getijfactor; HW = hoogwater; LW = laagwater	5
Tabel 2 – Overzicht karakteristieken ADCP	8

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzichtskaart haven van Zeebrugge (gebaseerd op www.portofantwerpbruges.com).....	3
Figuur 2 – Overzichtskaart met meetraaien.....	4
Figuur 3 – Ligging gemeten raaien op alle meetdagen	6
Figuur 4 – Gebruikte meettoestellen: ADCP RDI Workhorse Monitor (links) en Garmin GPS (rechts).....	7
Figuur 5 – Verloop van de waterstand te Zeebrugge Leopold II-dam tijdens de ADCP meetcampagne. De rode curves markeren de effectieve meetdagen. De horizontale stippellijnen geven de hoog- en laagwaters bij doodtij, gemiddeld getij en springtij.	10
Figuur 6 – Verloop van de wind te Zeebrugge Januskop.....	11
Figuur 7 – Verloop van de significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode te Zeebrugge (vast meetpunt West)	12
Figuur 8 – Surfaceplot van stroomsnelheid (cm/s) voor de periode HW-15’ tot HW+15’ voor een getijfactor > 1.....	13
Figuur 9 – Relatie tussen de snelheids grootte (links) en -richting (rechts) nabij het wateroppervlak en de bodem.....	14
Figuur 10 –Stroombeeld bij maximum vloed (16/8/2023 - 13u): stroomvectoren (links) en diepte-gemiddelde snelheid (rechts).....	15
Figuur 11 –Stroombeeld - grootte (boven) en richting (onder) - nabij de koppen bij maximum vloed (~ HW – 30’).	15
Figuur 12 – Stroombeeld in de voorhaven met vorming van neren rond het moment van hoogwater	16
Figuur 13 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 375’ tot HW – 345’	B2
Figuur 14 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 345’ tot HW – 315’	B3
Figuur 15 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 315’ tot HW – 285’	B4
Figuur 16 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 285’ tot HW – 255’	B5
Figuur 17 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 255’ tot HW – 225’	B6
Figuur 18 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 225’ tot HW – 195’	B7
Figuur 19 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 195’ tot HW – 165’	B8
Figuur 20 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 165’ tot HW – 135’	B9
Figuur 21 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 135’ tot HW – 105’	B10

Figuur 22 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 105' tot HW – 75'	B11
Figuur 23 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 75' tot HW – 45'	B12
Figuur 24 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 45' tot HW – 15'	B13
Figuur 25 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 15' tot HW + 15'	B14
Figuur 26 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 15' tot HW + 45'	B15
Figuur 27 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 45' tot HW + 75'	B16
Figuur 28 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 75' tot HW + 105'	B17
Figuur 29 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 105' tot HW + 135'	B18
Figuur 30 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 135' tot HW + 165'	B19
Figuur 31 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 165' tot HW + 195'	B20
Figuur 32 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 195' tot HW + 225'	B21
Figuur 33 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 225' tot HW + 255'	B22
Figuur 34 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 255' tot HW + 285'	B23
Figuur 35 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 285' tot HW + 315'	B24
Figuur 36 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 315' tot HW + 345'	B25
Figuur 37 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 345' tot HW + 375'	B26

Dankwoord

Bij het uitvoeren van terreinmetingen zijn verschillende partijen betrokken die niet op de voorgrond verschijnen. Vandaar een woord van dank aan de bij de voorbereiding betrokken collega's van het WL, MDK, Port of Antwerp-Bruges en het MRCC die ervoor zorgden dat de meetcampagnes konden plaatsvinden.

Daarnaast ook een grote dankbetuiging aan de verschillende bemanningen van de MS Pierre Petit, en in het bijzonder de schippers (Arno, Yuri, Stijn), die ervoor zorgden dat de metingen in uitdagende condities zonder problemen en volgens onze wensen konden worden uitgevoerd. Ook een expliciete bedanking aan de collega's van het WL (Yves, Bart, Erwin, Styn, Yann en Dieter) voor hun bijdrage bij het uitvoeren van de metingen, waarbij op bepaalde dagen de condities uitdagender waren dan op andere.

Tenslotte ook een woord van dank aan de GNA, de verkeersleiders van de post Zeebrugge en Port Control Zeebrugge die toestemming gaven en deze metingen mogelijk maakten in vaak drukbevaren regio van de haven van Zeebrugge.

1 Introductie

Port of Antwerp-Bruges is de tweede grootste haven van Europa, waar jaarlijks zo'n 290 miljoen ton internationale maritieme lading wordt behandeld. De nautische toegankelijkheid van de haven van Zeebrugge verloopt via Scheur en Pas van 't Zand naar de voorhaven. Dit gebied wordt gekenmerkt door getijden en bijbehorende stromingen. Daarnaast kunnen schepen via de Pierre Vandammesluis of de Visartsluis de achterhaven bereiken, waar er geen getij is.

De stromingen in de voorhaven en met name ter hoogte van de koppen kunnen een uitdaging vormen voor de scheepvaart. Voor containerschepen en LNG tankers is er dit moment een vaarbepmerking wat betreft de maximale dwarsstroming ter hoogte van de haventoeegang (2 knoop voor containerschepen en 1,5 knoop voor LNG). Een accuraat beeld van de mogelijke stromingen is daarom cruciaal voor de vaarweggebruikers. Dergelijke reeks van stroombeelden wordt gebundeld in een "stroomatlas". De meest recente stroomatlas van de haven van Zeebrugge dateert al van 2011 (Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust. Afdeling Kust. Vlaamse Hydrografie, 2012). Vanuit Port of Antwerp-Bruges is dan ook de vraag gekomen om hiervan een update te maken en de dwarsstroming ter hoogte van de koppen van de havendammen in Zeebrugge en de neer in de voorhaven opnieuw in kaart te brengen.

Vanuit het Waterbouwkundig Laboratorium is ervoor gekozen om deze vraag te beantwoorden door middel van een hybride aanpak: de nieuwe stroomatlas zal opgemaakt worden door terreinmetingen te combineren met numerieke modelsimulaties. De metingen brengen de reële stromingen in kaart, maar het is onmogelijk om alle condities op alle locaties te bemeten. Vandaar dat een numerieke model ingezet wordt. Dit model wordt eerste gevalideerd aan de hand van de terreinmetingen, en vervolgens zullen de ruimtelijk dekkende stroombeelden gegenereerd worden voor de verschillende getijcondities.

Voorliggend rapport presenteert de verwerkte stromingsmetingen van de meetcampagne die in augustus 2023 uitgevoerd werd door het Waterbouwkundig Laboratorium in samenwerking met DAB Vloot. Gedurende 13 meetdagen werd zowel binnen als buiten de voorhaven de stroming gemeten met behulp van ADCP, ingezet vanop een varend meetschip (MS Pierre Petit). De individuele factual data rapporten worden hieronder opgelijst:

- Meetdag 1. (7/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024a)
- Meetdag 2. (8/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024g)
- Meetdag 3. (9/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024h)
- Meetdag 4. (10/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024i)
- Meetdag 5. (11/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024j)
- Meetdag 6. (14/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024k)
- Meetdag 7. (16/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024l)
- Meetdag 8. (17/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024m)
- Meetdag 9. (18/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024n)
- Meetdag 10. (21/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024b)
- Meetdag 11. (22/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024c)
- Meetdag 12. (23/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024d)
- Meetdag 13. (24/8/2023): (Plancke & De Maerschalcck, 2024e)

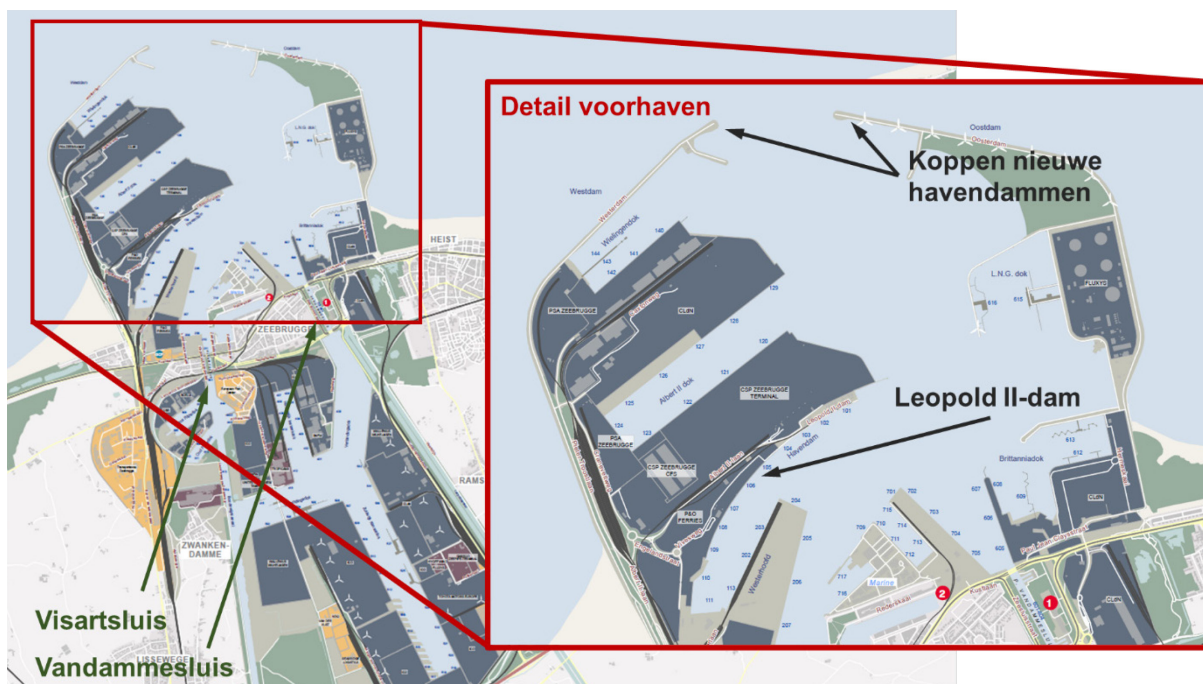
2 Beschrijving meetcampagne

2.1 Studiegebied

De haven van Zeebrugge is onderdeel van Port of Antwerp-Bruges en vormt sinds de fusie in 2022 samen met de haven van Antwerpen de grootste haven van België. De haven (Figuur 1) bestaat uit enerzijds de voorhaven, die aan getij onderhevig is, en anderzijds de achterhaven die te bereiken is via de Pierre Vandammesluis (1985) en de Visartsluis (1905). De achterhaven omvat drie grote dokken, het Verbindingsdok, het Noordelijk Insteekdok en het Zuidelijk Insteekdok, waarrond terminals met logistieke centra zijn gevestigd voor de behandeling, opslag en distributie van enerzijds nieuwe wagens en anderzijds voedingswaren. Deze ladingen krijgen in Zeebrugge dus een toegevoegde waarde (Simoen, 1982).

De voorhaven (Figuur 1 - detail) is op de zee gewonnen en uitgebouwd vanop de originele kustlijn. In 1907 werd de Leopold II-dam voltooid waardoor de nieuwe diepzeehaven op de kust ontstond. In 1985 werd de uitbouw voor de voorhaven met 2 nieuwe strekdammen (elk met lengte van meer dan 4 km) afgerond. Door de directe toegang vanuit zee en de grote waterdiepte is de voorhaven bijzonder geschikt voor roll-on/roll-off- en containerverkeer. Ook de schepen met vloeibaar aardgas (LNG) meren hier aan.

Om de toegankelijkheid van de haven te verbeteren, levert de Vlaamse overheid inspanningen om de vaargeul en de voorhaven (CDNB) te verdiepen en te onderhouden. Dankzij de baggerwerken kunnen schepen met een diepgang tot 16 m de haven binnenvaren. Door haar afmetingen en de sterke getijstromingen worden de vaargeul en de haveningang rond hoogwater echter gekenmerkt door sterke dwarsstromingen en is de veiligheid niet langer gegarandeerd. De toegankelijkheid van de haven van Zeebrugge wordt gelimiteerd. Het stroomcriterium stelt dat voor op- en afvarende containerschepen de stroomsnelheid beperkt dient te zijn tot 2,0 knoop. Voor LNG-tankers geldt een maximale stroomsnelheid gelijk aan 1,5 knoop. Een alternatieve bepaling van het stroomvenster, die door de kustloodsen als vuistregel gehanteerd wordt, betreft het tijdslot tussen 2u vóór tot 1u na hoog water (HW) (Verwilligen & Delefortrie, 2022). Deze vuistregel maakt geen onderscheid tussen doortij, gemiddeld getij en springtij.



Figuur 1 – Overzichtskaart haven van Zeebrugge (gebaseerd op www.portofantwerpbruges.com)

2.2 Opzet meetcampagnes

De metingen richten zich op het in beeld brengen van de stroompatronen binnen en buiten de voorhaven van de haven van Zeebrugge. Het gebied buiten de voorhaven strekt zich uit van de koppen van de havendammen tot de zandboei ("Z"). In dit gebied werden 3 meetraaien gedefinieerd (Figuur 2 – licht blauwe lijnen), die gedurende de meetcampagne op verschillende dagen (met verschillende getijcondities, zowel binnen de getijcyclus (eb/vloed) als binnen de springtij-doodtij-cyclus) bemeaten worden. De 3 raaien bevinden zich ter hoogte van respectievelijke de groene en rode boeienlijn en het midden van de vaargeul.

Het gebied binnen de voorhaven strekt zich uit van de koppen van de havendammen tot de oude Leopold II-havendam. Ook in dit gebied werden 3 meetraaien gedefinieerd (Figuur 2 – licht groene lijnen), die gedurende de meetcampagne op verschillende dagen (met verschillende getijcondities, zowel binnen de getijcyclus (eb/vloed) als binnen de springtij-doodtij-cyclus) bemeaten worden. De 3 raaien bevinden zich ter hoogte van respectievelijke de groene en rode boeienlijn en het midden van de vaargeul.

Tabel 1 geeft een overzicht van de metingen uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium in samenwerking met DAB Vloot tijdens de meetcampagne in augustus 2023. Op moment van springtij is er enkel binnen de voorhaven gemeten kunnen worden omwille van de te hoge golfcondities op zee.

Bij Zeebrugge is de getijfactor voor een gemiddeld springtij 1,18 ((Vlaamse Hydrografie (MDK), 2023). Tijdens de meting op 18 augustus bedroeg de getijfactor 1,16. Hoewel dit in de periode rond gemiddeld getij valt, komt dit het meest in de buurt van het getijverschil bij gemiddeld springtij. Er is op deze dag zowel binnen de havendammen als buiten de voorhaven gemeten.

Figuur 3 geeft een overzicht van alle bemeeten raaien tijdens de volledige duur van de meetcampagne. Opgemerkt kan worden dat de uiteindelijke bemeeten raaien niet louter de 6 theoretische raaien omvatten, maar ook dwarsraaien. De reden hiervoor is dat gedurende de meetcampagne de focus voornamelijk kwam te liggen op de stroming ter hoogte van de koppen van de strekdammen. Deze zone wordt gekenmerkt door een sterke gradiënt in stroming, met een eerder beperkte stroming in de voorhaven, naar sterke stroming (vooral bij maximum vloed) buiten de voorhaven. Het merendeel van de metingen werd dan ook uitgevoerd in een zone van 1000 m zeewaarts en 1000 m binnen de voorhaven, telkens geteld vanaf de koppen.

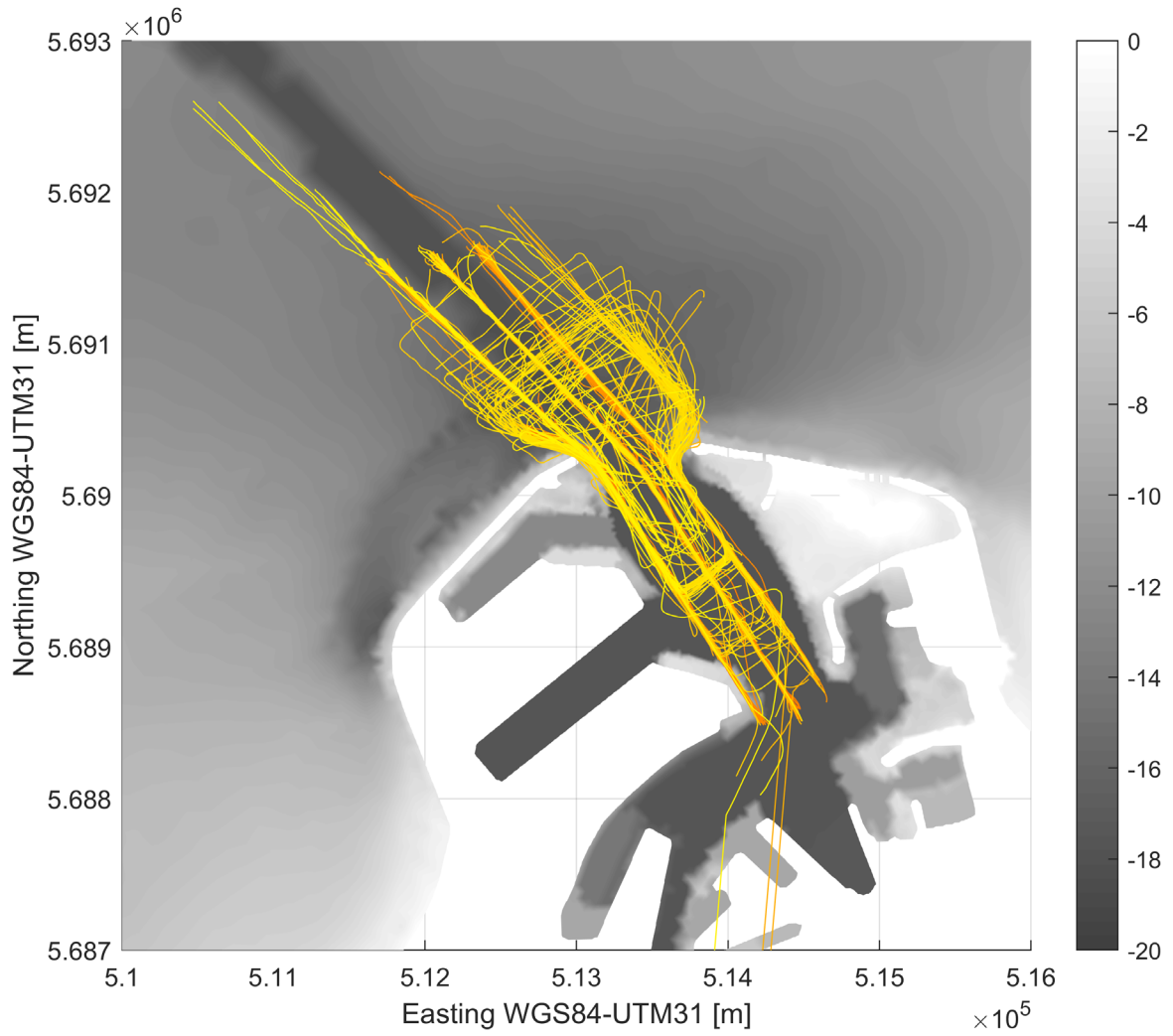


Figuur 2 – Overzichtsk kaart met meetraaien

Tabel 1 – Overzicht uitgevoerde metingen
 GF = getijfactor; HW = hoogwater; LW = laagwater

<i>Datum</i>	<i>GF stijging</i>	<i>GF daling</i>	<i>Start meting</i>	<i>HW [mTAW]</i>	<i>LW [mTAW]</i>	<i>Einde meting</i>	<i># raaien</i>	<i>Opmerking</i>
07/08/2023	1,07	1,10	09:00	+4,63 17:55	+0,74 11:40	17:03	42	Matig springtij Voorhaven - mid
08/08/2023	0,98	0,97	08:42	+4,55 18:20	+0,99 12:10	16:27	35	Gemiddeld tij Voorhaven – west Voorhaven – oost
09/08/2023	0,85	0,88	08:43	+4,36 7:05	+1,16 15:05	16:30	26	Matig doodtij Zee – oost + voorhaven – oost
10/08/2023	0,81	0,79	08:31	+3,79 8:10	+0,93 14:30	16:16	28	Doodtij Zee – west + voorhaven – west
11/08/2023	0,75	0,72	08:42	+3,80 9:20	+1,04 16:00	16:30	26	Doodtij Zee – west + voorhaven – west
14/08/2023	0,87	0,96	08:44	+4,12 12:40	+0,97 6:40	14:52 ¹	22	Gemiddeld tij Zee – oost + voorhaven – oost
16/08/2023	0,97	1,10	08:47	+4,33 13:40	+0,81 7:50	16:36	30	(Matig) springtij Combinatie van raaien
17/08/2023	1,03	1,14	08:54	+4,43 14:30	+0,68 8:20	16:49	25	Matig springtij Combinatie van raaien
18/08/2023	1,06	1,15	09:46	+4,43 15:50	+0,58 8:50	17:38	28	Springtij (grootste GF tijdens campagne) Zee – west & mid Voorhaven – west & mid
21/08/2023	1,02	1,05	09:23	+4,39 16:20	+0,69 10:20	17:04	16	Gemiddeld tij Oost-west lus
22/08/2023	0,98	0,97	09:42	+4,39 16:50	+0,82 10:40	17:29	18	Gemiddeld tij Oost-west lus
23/08/2023	0,91	0,93	10:44	+4,19 17:20	+0,90 11:25	18:31	32	Matig doodtij Combinatie van raaien
24/08/2023	0,86	0,85	10:12	+4,11 18:00	+0,99 12:00	18:20	29	Doodtij Zee en voorhaven – west + extra raaien nabij koppen

¹ Door een probleem met de registratie van de metingen, zijn slechts meetgegevens beschikbaar tot 14:52 en zijn er geen meetgegevens beschikbaar van de periode erna waarop ook gemeten werd (tot 16:44).



Figuur 3 – Ligging gemeten raaien op alle meetdagen

2.3 Meettechnieken

De stroming werd gemeten aan de hand van een ADCP. De karakteristieken zijn hieronder weergegeven in Tabel 2. De plaatsbepaling gebeurde door middel van een externe GPS (Garmin GPSmap 60Cx), waarbij de positie elke 4s (identiek aan registratie-interval ADCP) werd geregistreerd.



Figuur 4 – Gebruikte meettoestellen: ADCP RDI Workhorse Monitor (links) en Garmin GPS (rechts)

Tabel 2 – Overzicht karakteristieken ADCP

Toesteleigenschappen	
Type	RDI Workhorse Monitor
Frequentie	600 kHz
Configuratie	Down-looking vanaf meetschip
Diepgang meetschip	130 cm (MS Pierre Petit)
Insteekdiepte ADCP	110 cm
Beam hoek	20°
Aantal beams	4
Snelheidsresolutie	0,1 cm/s
Accuraatheid	0,3%
Ping rate	2 Hz (typical)
Instellingen	
Cel grootte	0,5 m
Eerste cel (midden)	2,00 m onder wateroppervlak
Maximaal bereik	30 m
Ensemble interval	4 s
Pings per ensemble	4
Water Mode	12
Reference	BT

2.4 Verwerking

2.4.1 ADCP-data

De ADCP-metingen werden ingewonnen via WinRiver II. Deze software laat toe de meetgegevens als ASCII te exporteren. Deze gegevens werden vervolgens ingelezen in Matlab waar met behulp van eigen scripts de verdere verwerking en presentatie gebeurde.

2.4.2 Koppeling GPS-data

De positie van het meetschip werd geregistreerd door middel van een extern GPS-toestel. In de verwerking werd het GPS-signaal gekoppeld met het ADCP-signaal op basis van de tijd.

2.4.3 Validatie metingen

De ADCP geeft resultaten voor het volledige bereik van de cellen. Op basis van de diepte van bodem, bepaald via de bodemdetectie functie ("bottom-track"), werden alle metingen beneden dit niveau verwijderd.

Vervolgens werden de metingen met een "Percentage Good" score lager of gelijk aan 80% verwijderd.

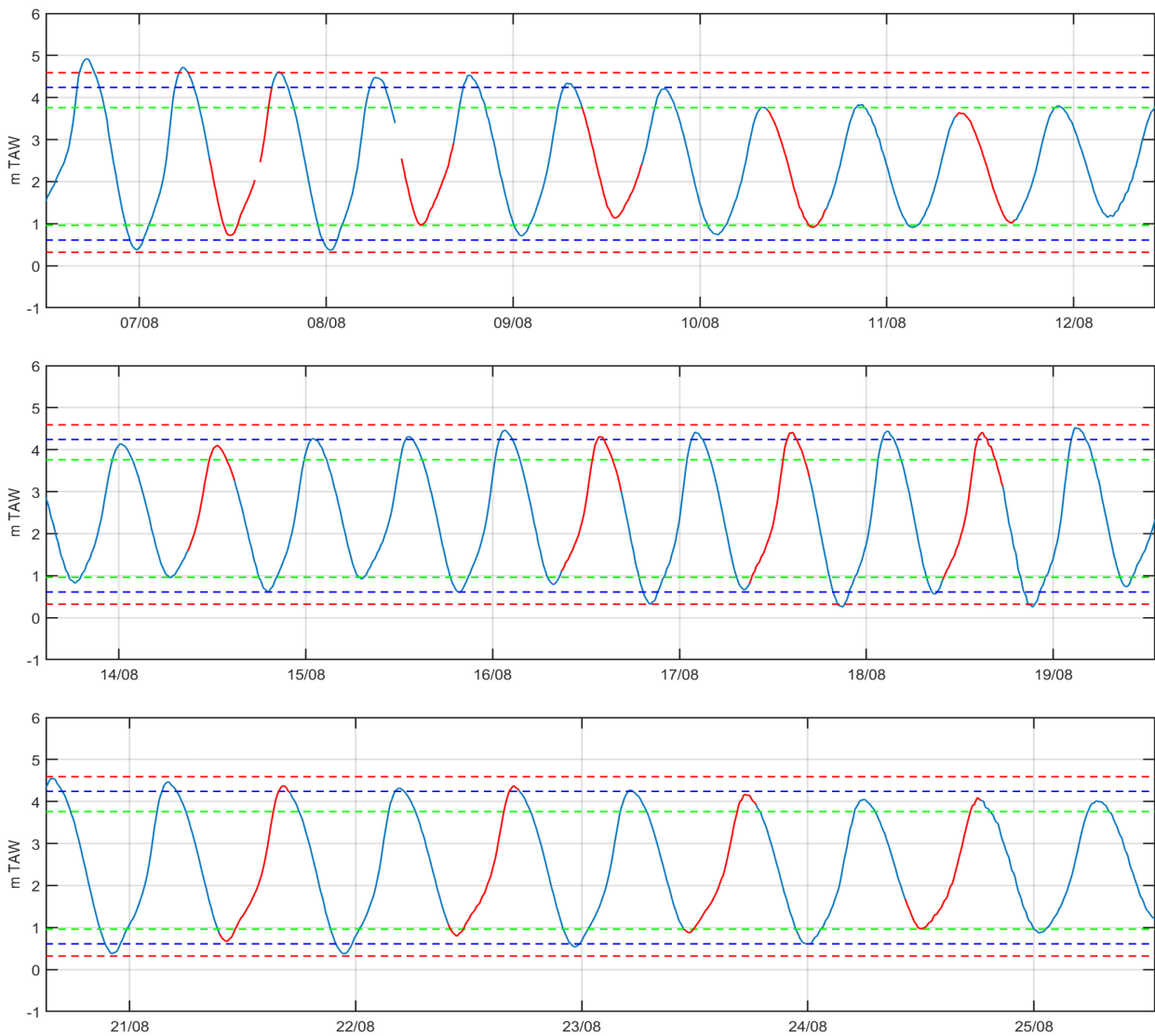
Daarnaast werden ook alle metingen (en dit voor alle parameters) met onrealistische waarden (cfr. dummy waarde = -32768) verwijderd. Er werd geen gedetailleerde validatie uitgevoerd, waardoor in de metingen bepaalde uitschieters nog kunnen aanwezig zijn.

3 Resultaten

3.1 Omgevingscondities

3.1.1 Getij

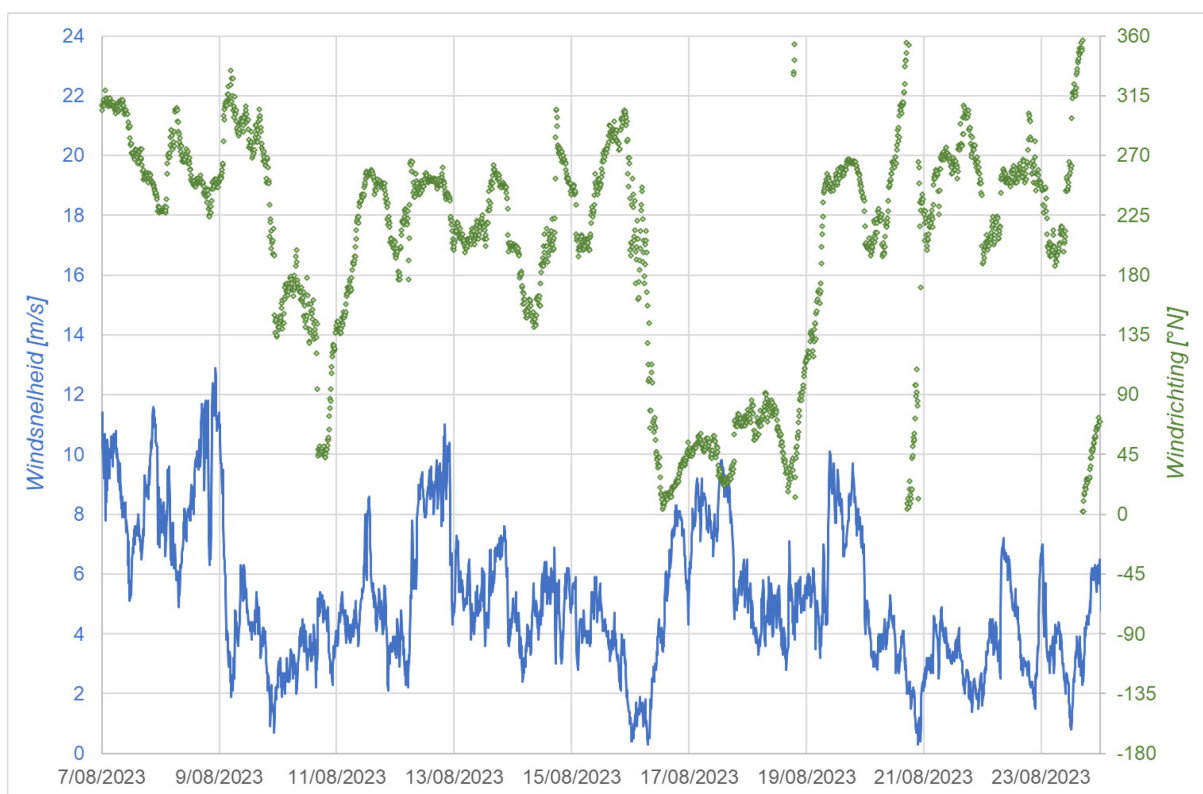
Figuur 5 geeft het verloop van de gemeten waterstanden weer te Zeebrugge (Leopold II-dam). Uit de grafiek blijkt dat de meetcampagne startte bij springtij-condities. Vervolgens neemt het getijverschil af, met de kleinste getijverschillen (~ 260 cm) rond 12 augustus 2023. In het midden van de meetcampagne (rond 18 augustus 2023) was er opnieuw een periode met grotere getijverschillen (springtij, > 400 cm getijverschil). De laatste week neemt het getijverschil opnieuw af om te eindigen bij gemiddeld getijcondities. Het getij volgt een normaal verloop, zonder uitzonderlijke condities (e.g. stormtij).



Figuur 5 – Verloop van de waterstand te Zeebrugge Leopold II-dam tijdens de ADCP meetcampagne. De rode curves markeren de effectieve meetdagen. De horizontale stippellijnen geven de hoog- en laagwaters bij doottij, gemiddeld getij en springtij.

3.1.2 Wind

Figuur 6 geeft het verloop van de windsnelheid en -richting weer te Zeebrugge gemeten ter hoogte van de Januskop. Uit de grafiek blijkt dat bij aanvang van de varende metingen, er een sterke W-wind heerst. In het midden van de eerste week zwakte de wind af tot een matige ZO-wind (3 Bft). Op 12 augustus 2023 nam de windkracht gedurende één dag toe tot 5 Bft om vervolgens terug af te zwakken te een matige wind. Rond 16 augustus draait de wind naar N-NW en neemt ook de windkracht opnieuw toe (5 à 6 Bft). Na 3 à 4 dagen draait de wind terug naar ZW-richting en varieert de windsnelheid tussen 0 en 8 m/s (2 à 4 Bft).



Figuur 6 – Verloop van de wind te Zeebrugge Januskop

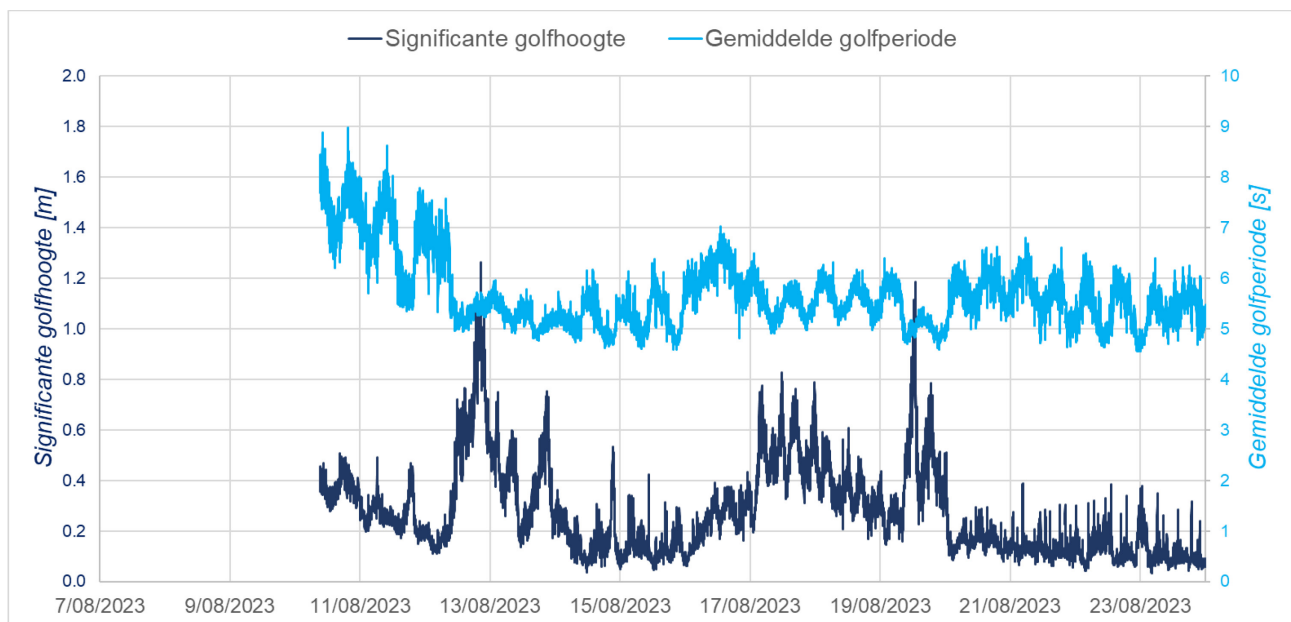
3.1.3 Golven

Figuur 7 geeft het verloop van de significante golfhoogte (H_s) en de gemiddelde golfperiode weer te Zeebrugge gemeten ter hoogte van de vaste meetopstelling “West”. Aangezien de vaste meettoestellen omwille van de heersende golfcondities pas in het midden van de eerste meetweek konden uitgezet worden, ontbreken meetgegevens voor de eerste 3 dagen.

Uit de grafiek blijkt dat op het einde van de eerste week de golfhoogte zakte van ca. 0,4 m naar 0,2 m. Wanneer de wind in de 2^e week toenam, neemt ook de significante golfhoogte toe: op 12 en 13 augustus stijgt de significante golfhoogte tot meer dan 1 m, om vervolgens bij het begin van de 2^e meetweek terug af te nemen. In de 2^e helft van deze week bleef de significante golfhoogte grotendeels beneden 0,2 m. Nadien neemt deze terug toe tot 0,4 à 0,6 m bij het begin van de laatste meetweek. Naar het einde van de campagne met varende metingen zakte de significante golfhoogte terug tot onder de 0,2 m.

In de periodes wanneer de significante golfhoogte boven 0,4 m uitsteeg, was het moeilijk om buiten de voorhaven te meten. De golfcondities maakte het hierbij moeilijk om de theoretische raai aan te houden en ook het risico op signaal-verlies van de ADCP nam toe. Desalniettemin is er geprobeerd om maximaal te zone net buiten de koppen te bemeten. Enkele tijdens de eerste meetdagen bleek dit niet mogelijk te zijn (7-9/8/2023). Gelukkig waren gedurende een groot deel van de meetcampagne de golfcondities een stuk rustiger, waardoor op voldoende dagen zonder problemen buiten de voorhaven kon gemeten worden.

De gemiddelde golfperiode varieerde gedurende het merendeel van de meetperiode tussen de 5 en 6 s, met enkel bij aanvang van de campagne een ietwat langere golfperiode (tot 8 s). Dit is vermoedelijk te wijten aan de restanten van de sterkere windcondities of stormdepressies op de Noordzee in de dagen vooraf. Hiermee gaat deining gepaard die nadat ze gecreëerd is op zee, haar weg vindt richting de kustzone.



Figuur 7 – Verloop van de significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode te Zeebrugge (vast meetpunt West)

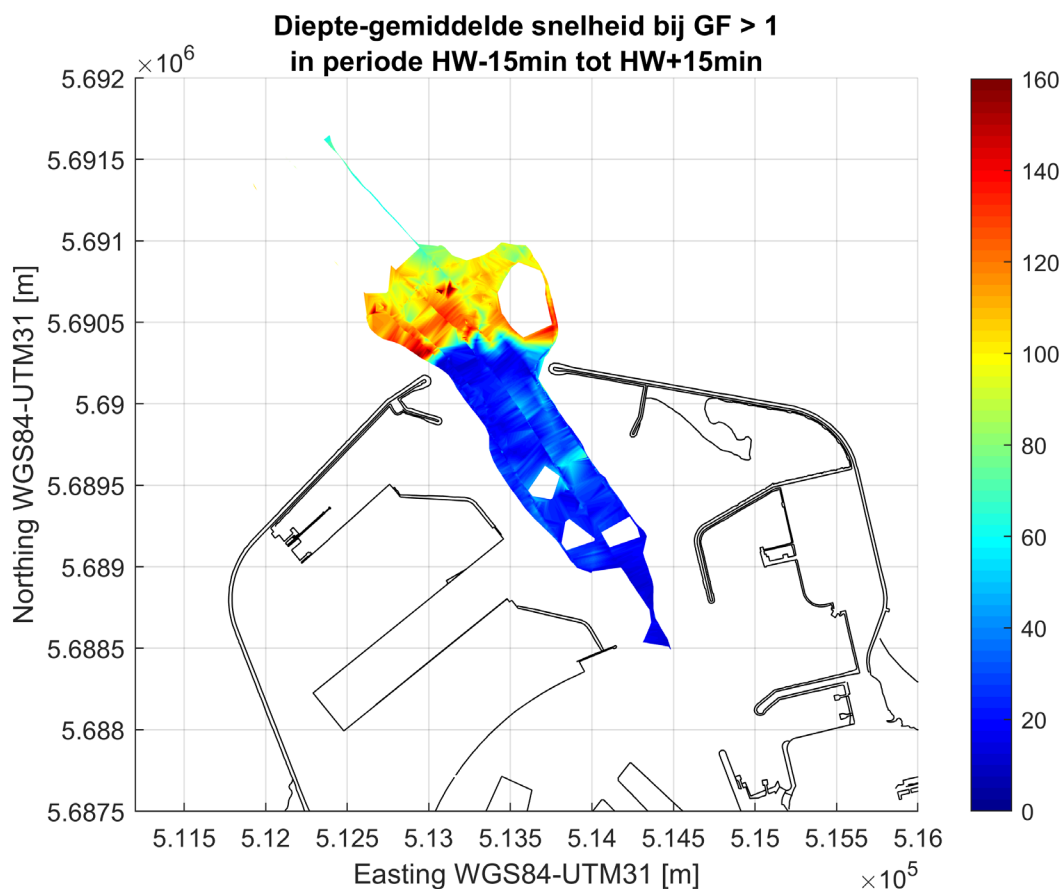
3.2 Stroming

3.2.1 Variatie binnen de getijcyclus

Op basis van alle metingen over de volledige meetperiode, zijn in Bijlage 1 Resultaten per getijfase van 30' stroombeelden samengesteld voor de verschillende fases in het getij. Hierbij werden alle metingen die in een tijdsperiode van 30' (ten opzichte van het moment het dichtstbij zijnde hoogwater) beschikbaar zijn, samen voorgesteld. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er tevens een variatie in stroomsterkte en -richting aanwezig is omwille van het moment binnen de springtij-doodtij-cyclus. Hiervoor werd een kleurvariatie gehanteerd in de figuren.

Naast de vectorvoorstelling opgenomen in bijlage, is getracht om een ruimtelijk beeld van de stroomsterkte te genereren. Omwille van de beperkte hoeveelheid data (tijd, ie. springtij-doodtij-cyclus & getijcyclus, en ruimte als beschouwde factoren), leveren deze surfaceplots voor de meeste momenten geen toegevoegde waarde. Ter illustratie wordt één van de beste momenten (periode van 15' voor en na hoogwater bij getijden met getijfactor > 1) hieronder in Figuur 8 getoond: hieruit is enerzijds het patroon zichtbaar met lage snelheden in de voorhavens en sterkere stroomsnelheden buiten de voorhavens, maar valt anderzijds ook op dat de combinatie van meetdata bij zowel gemiddeld getij als springtij, een ruimtelijke variatie (buiten de voorhavens) oplevert die niet representatief is voor het beschouwde moment. Om deze variatie te vermijden, zal de finale stroomatlas dan ook aan de hand van een gevalideerd numeriek model opgesteld worden.

De variatie in de maximale snelheid ter hoogte van koppen in functie van de getijfactor is wel opgemaakt op basis van de continue metingen. Hiervoor wordt verwezen naar (Plancke & De Maerschallck, 2024f).



Figuur 8 – Surfaceplot van stroomsnelheid (cm/s) voor de periode HW-15' tot HW+15' voor een getijfactor > 1

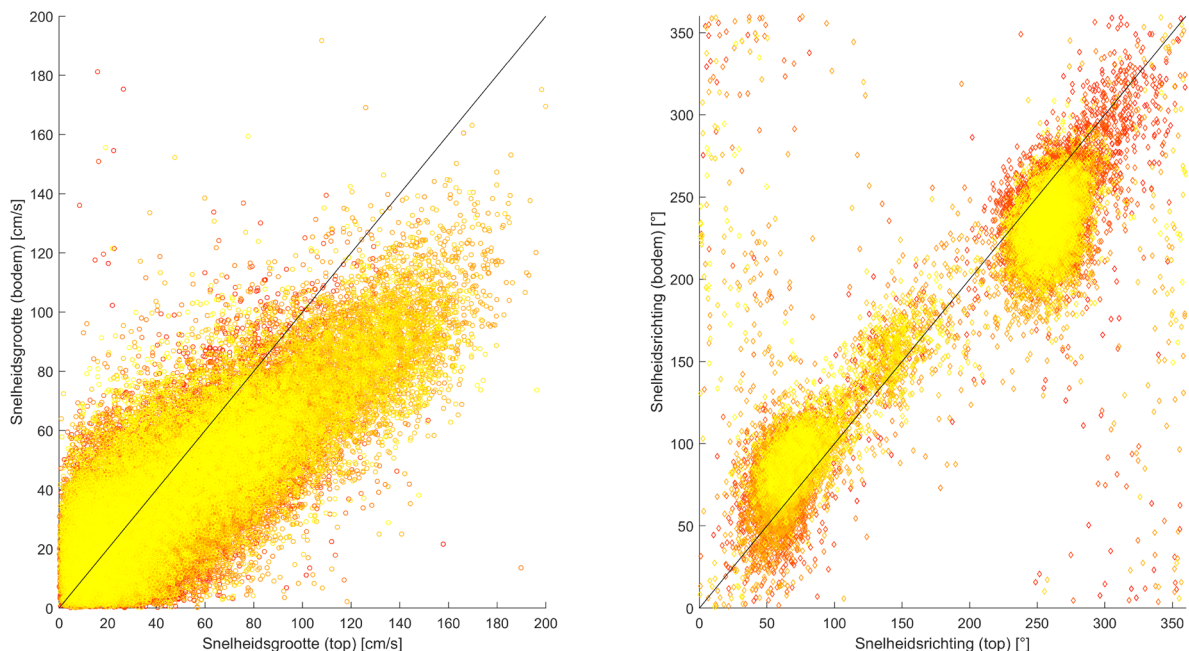
3.2.2 Variatie over de diepte

De ADCP meet een quasi volledig verticaal profiel van de stroomsnelheid, enkel nabij het wateroppervlak (ten gevolge van de diepgang van het schip en een “blanking distance”) en de bodem (“side lobe” effect) is er een beperkt deel van de waterkolom onbemeten. Op basis van de meetgegevens over de verticale, is een vergelijking gemaakt tussen de snelheids grootte en -richting in de bovenste en onderste beschikbare gemeten cel (Figuur 9). Voor deze vergelijking van de richtingen is een filter gebruikt waarbij enkel de snelheden groter dan 0,5 m/s beschouwd worden, aangezien voor lagere snelheden de richting meer variatie kent. Dit zorgt er voor dat de metingen binnen de voorhavens, die hoofdzakelijk gekenmerkt worden door snelheden lager dan 0,5 m/s niet in deze vergelijking aanwezig zijn.

De snelheids grootte nabij het wateroppervlak is over het algemeen groter dan de snelheid nabij de bodem (Figuur 9 – links). Dit is wat te verwachten is wanneer uitgegaan wordt van een logaritmisch snelheidsprofiel. Er zijn echter ook punten – vooral bij waarden lager dan 0,8 m/s – waarbij de snelheid nabij de bodem hoger is dan deze nabij het oppervlak. Een mogelijke oorzaak hiervoor zijn effecten van de wind, die vooral inspeelt op de bovenste waterlaag. Wanneer de windrichting tegengesteld is aan de stroomrichting zal de bovenste waterlaag “afgeremd” worden, terwijl de stroming nabij de bodem hier weinig effect van ondervindt.

Bij de snelheidsrichting zijn 3 clusters van punten terug te vinden (Figuur 9 – rechts): één cluster met een richting die varieert rond 40°-110° (ten opzichte van het noorden); dit is de vloedstroming; één cluster met een richting die varieert rond 200°-280° (ten opzichte van het noorden); dit is de ebstroming; tenslotte is er nog een cluster rond 150° die overeenkomt met de instroming ter hoogte van de koppen bij, waarbij de snelheid de gehanteerde grenswaarde van 0,5 m/s overschrijdt.

Bij vloed is de richting nabij het wateroppervlak ca. 70°, terwijl deze nabij de bodem eerder ~ 90° bedraagt. Bij eb is de richting nabij het wateroppervlak ca. 260°, terwijl deze nabij de bodem eerder ~ 230° bedraagt. Mogelijke verklaringen voor deze verschillen zijn de lokale topo-bathymetrie, dichtheid-gedreven stroming (al is deze over het algemeen laag bij de haventoeegang van Zeebrugge), een verschillende invloed over de verticale van de strekdammen en de wind.



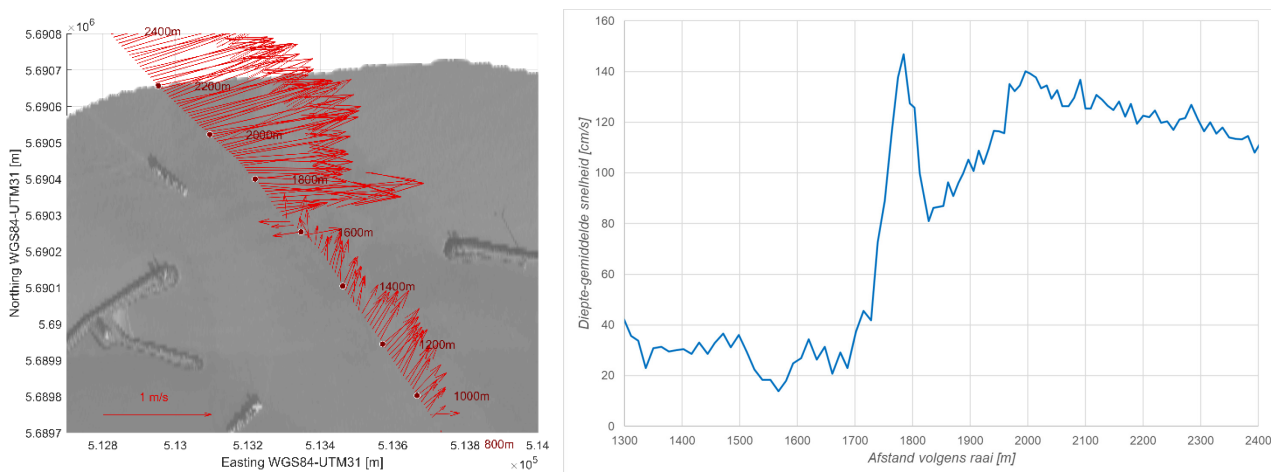
Figuur 9 – Relatie tussen de snelheids grootte (links) en -richting (rechts) nabij het wateroppervlak en de bodem

3.2.3 Stroombeeld nabij de koppen

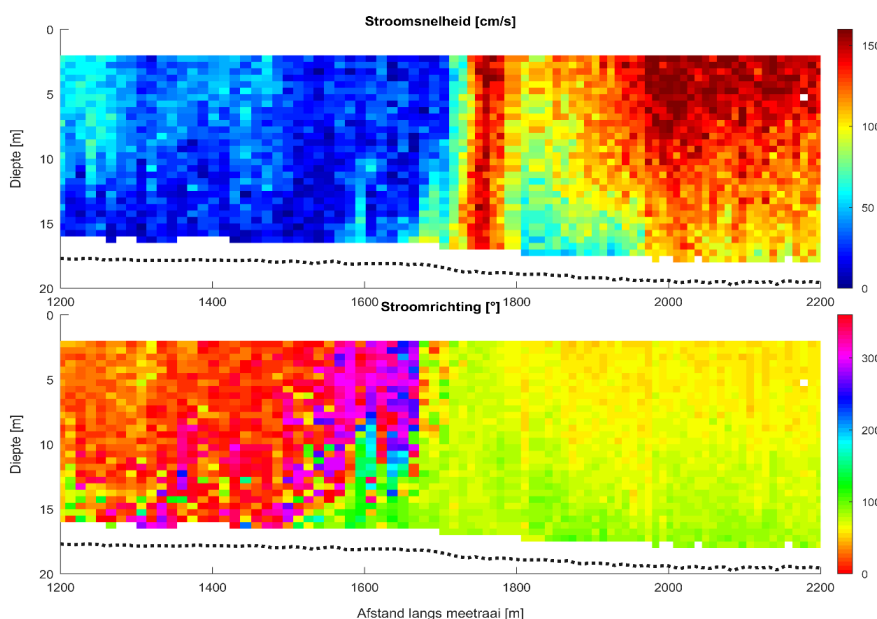
Tijdens de uitvoering van de metingen, werd vastgesteld dat gedurende de periode van ca. 1u bij maximale vloedstroming (HW-60' tot HW), de stroming nabij de koppen een bijzondere ruimtelijke variatie kennen. Dit wordt in Figuur 10 en Figuur 11 geïllustreerd voor gemiddeld getijcondities (GF = 0,97).

Binnen de voorhavens blijven de snelheden beperkt tot 0,4 m/s. Net buiten de koppen neemt de snelheid dan toe (hier tot 1,4 m/s); echter deze toename treedt slechts op over een afstand van 50 m, waarna de snelheid terug afneemt (tot 0,8 m/s). Deze afname manifesteert zich vooral in de onderste helft van de waterkolom (Figuur 11). 200 m buiten de koppen neemt de snelheids grootte opnieuw toe (opnieuw tot 1,4 m/s), om verder zeewaarts, zeer geleidelijk af te nemen tot 1,2 m/s. Potentiële oorzaken voor deze ruimtelijke variatie zijn de lokale topo-bathymetrie of een verschillende invloed over de verticale van de strekdammen, waardoor de stroming lokaal een complexere opbouw kent in de verticale.

Wanneer deze waarden vergeleken worden met deze uit de stationaire metingen (Plancke & De Maerschalc, 2024f), en dit bij eenzelfde getijverschil, zien we voor positie west een maximale vloedstroming van 1,5 à 1,6 m/s, terwijl voor positie oost de maximale vloedstroming varieert rond 1,4 m/s. Er treedt dus een (beperkte) laterale gradiënt in de vloedstroom op, die afneemt van west naar oost, en waarbij de resultaten uit de gevaren ADCP-raaien hier bij aansluiten.



Figuur 10 –Stroombeeld bij maximum vloed (16/8/2023 - 13u): stroomvectoren (links) en diepte-gemiddelde snelheid (rechts)

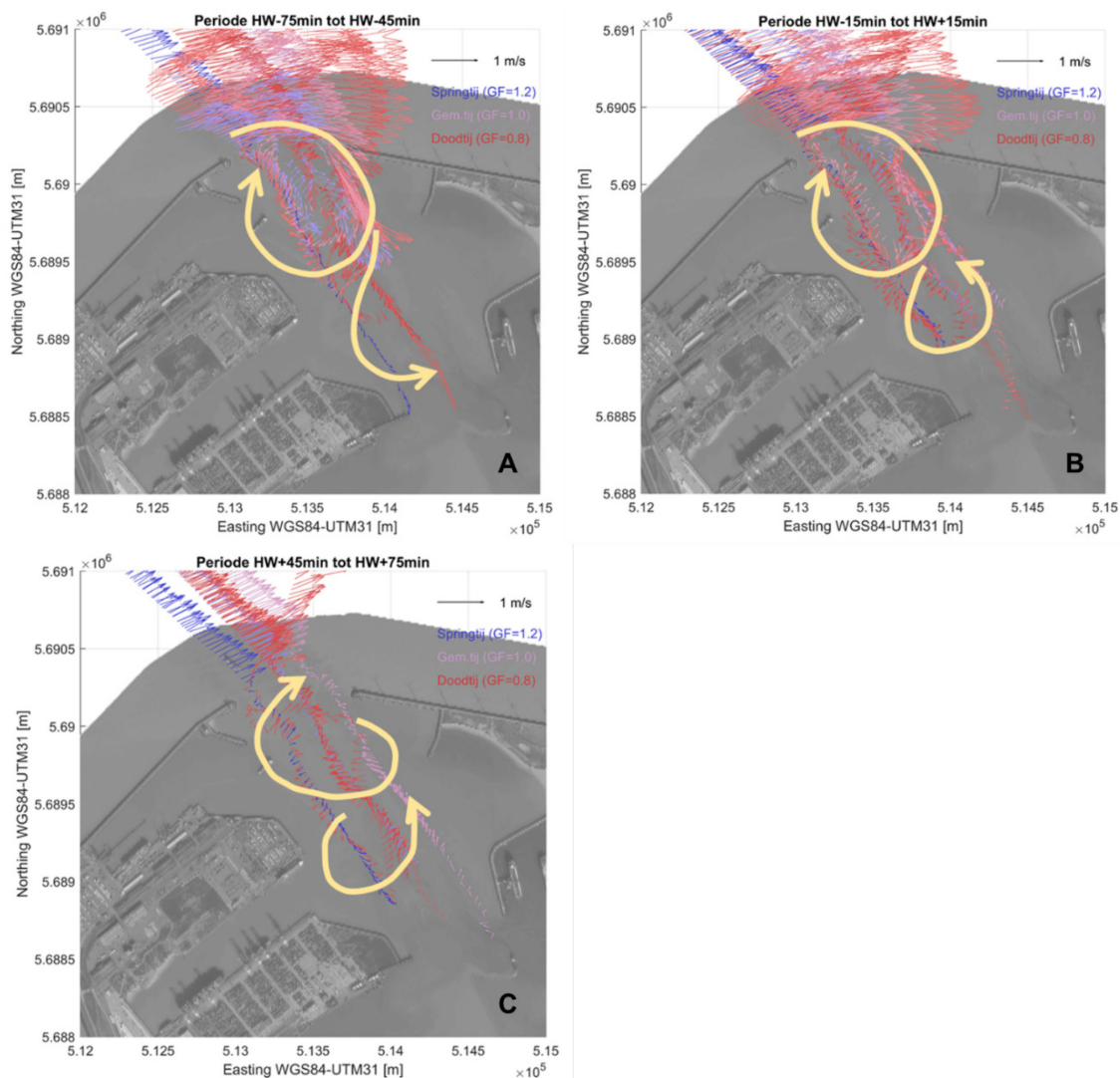


Figuur 11 –Stroombeeld - grootte (boven) en richting (onder) - nabij de koppen bij maximum vloed (~ HW – 30')

3.2.4 Neren in de voorhaven

De stroming binnen de voorhaven wordt, vooral rond het moment van maximum vloed (HW-60' – HW) en juist erna (HW – HW+60'), gekenmerkt door de vorming van grote neren. De vloedstroming, die parallel met de kust loopt, stroomt geconcentreerd de voorhaven in ter hoogte van de kop van de oostelijke strekdam. De stroming kan hier oplopen tot ca. 1 m/s. De instroom vormt de drijvende kracht achter de vorming van een grote neer (diameter ca. 600 m, snelheden tot maximaal 0,5 m/s - Figuur 12-A) die in wijzerzin roteert in het noordelijke deel van het CDNB (Centraal Deel Nieuwe Buitenhaven). Deze neer vormt op haar beurt de drijvende kracht voor de vorming van een tweede neer (Figuur 12-A), meer zuidelijk in het CDNB. Deze tweede neer draait in tegenwijzerzin en wordt gekenmerkt door lagere snelheden (maximaal 0,3 m/s). Tijdens de periode van maximum vloed (HW-60' – HW) blijft de noordelijke neer eerder stabiel, terwijl de zuidelijke neer zich verder kan ontwikkelen (Figuur 12-B). Na hoogwater zorgt de uitstroom van water uit de voorhaven ervoor dat de noordelijke neer zich meer zeewaarts verplaatst, waardoor ook de zuidelijke neer mee opschuift (Figuur 12-C).

Opgemerkt dient te worden dat de meetcampagne zich focuste op de zone tot het Albert II-dok. Verder landinwaarts de voorhaven werden slechts sporadisch metingen verricht, waardoor eventuele neren hier niet in beeld werden gebracht. Wel zal de snelheid binnen deze neren verder afnemen naarmate men zich verder van de koppen verwijderd.



Figuur 12 – Stroombeeld in de voorhaven met vorming van neren rond het moment van hoogwater

4 Conclusies

In opdracht van Port of Antwerp-Bruges wordt door het Waterbouwkundig Laboratorium een nieuwe stroomatlas opgemaakt voor de haven van Zeebrugge. Vanuit het WL is ervoor gekozen om deze vraag te beantwoorden door middel van een hybride aanpak: de nieuwe stroomatlas zal opgemaakt worden door terreinmetingen te combineren met numerieke modelsimulaties. De metingen brengen de reële stromingen in kaart, maar het is onmogelijk om alle condities op alle locaties te bemeten. Vandaar dat een numerieke model ingezet wordt.

De stromingsmetingen werden uitgevoerd in augustus 2023, waarbij er gedurende 13 meetdagen, zowel binnen als buiten de voorhaven, gevaren ADCP-metingen werden gedaan. Deze metingen werden uitgevoerd bij verschillende getijcondities, op 3 verschillende meetraaien (west – midden – oost).

Een eerste vaststelling betreft de ruimtelijk variatie van de stroming: de voorhaven wordt gekenmerkt door aanzienlijk lagere snelheden (0,5 m/s oftewel 1 knoop) dan het gebied buiten de voorhaven (tot 1,5 à 2 m/s, oftewel 3 à 4 knoop). Een bijzonder patroon treedt op net buiten de koppen van de strekdammen, en dit bij maximum vloed: net buiten de koppen neemt de snelheid eerst snel toe, waarna ca. 50 m buiten de koppen de snelheid terug afneemt; 200 m buiten de koppen neemt de snelheids grootte opnieuw toe (tot dezelfde grootte als bij de koppen), om verder zeewaarts, zeer geleidelijk af te nemen.

Een tweede aspect dat geanalyseerd is, is de variatie van de stroming over de verticale. De snelheids grootte nabij het wateroppervlak is over het algemeen groter dan de snelheid nabij de bodem. Er zijn echter ook punten – vooral bij waarden lager dan 0,8 m/s – waarbij de snelheid nabij de bodem hoger is dan deze nabij het oppervlak. Voor de snelheidsrichting werden enkel de snelheden groter dan 0,5 m/s beschouwd. Bij vloed is de richting nabij het wateroppervlak ca. 70°, terwijl deze nabij de bodem eerder ~90° bedraagt. Bij eb is de richting nabij het wateroppervlak ca. 260°, terwijl deze nabij de bodem eerder ~230° bedraagt.

Een laatste vaststelling is de aanwezigheid van (grote) neren in de voorhaven, met name in de getijfase rond hoogwater. De instromende vloedstroming creëert een grote neer die roteert (~ 0,5 m/s oftewel 1 knoop) in wijzerzin, terwijl deze neer zelf een tweede neer initieert die roteert (~ 0,3 m/s oftewel 0,5 knoop) in tegenwijzerzin.

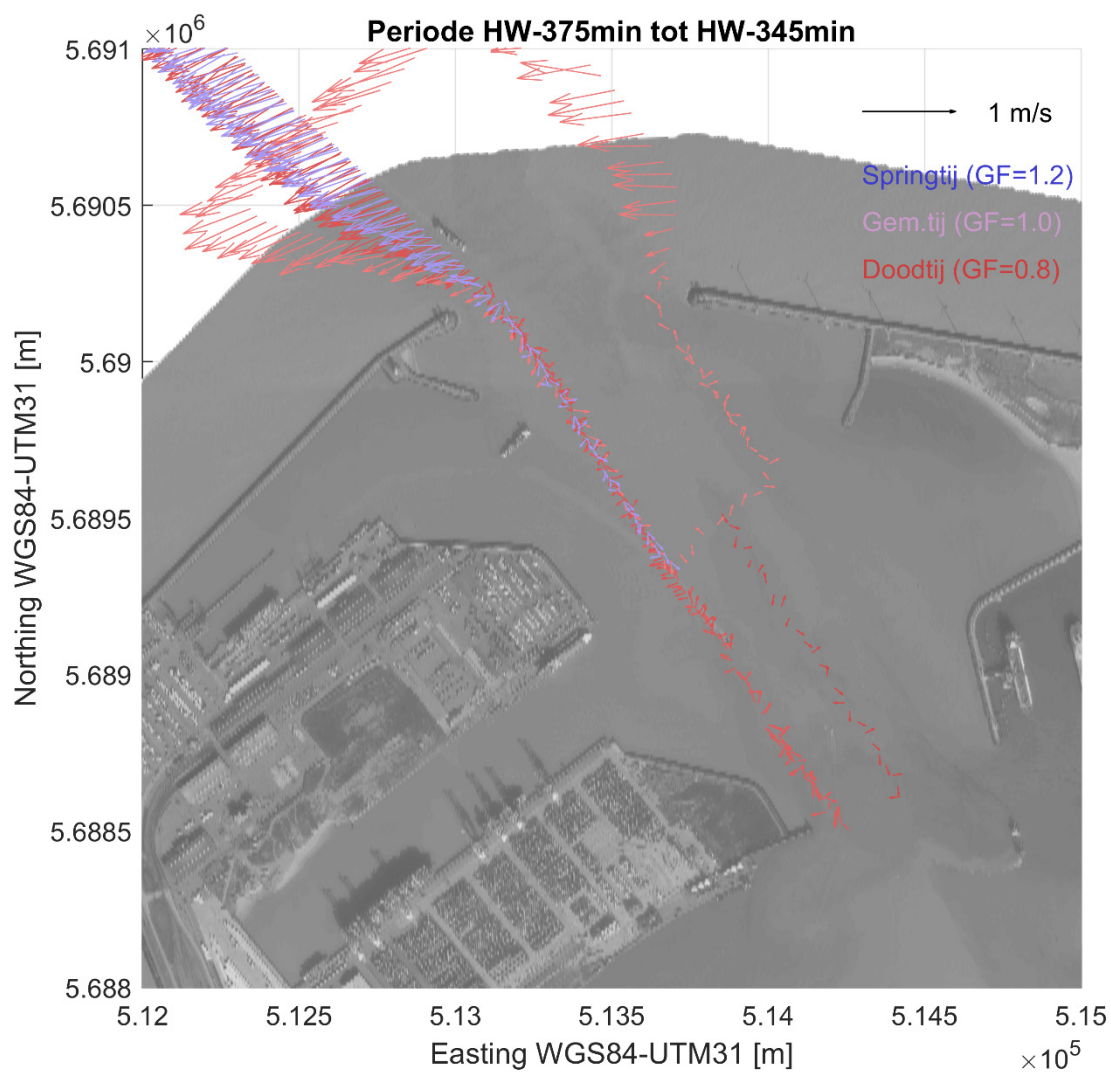
5 Referenties

- Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust. Afdeling Kust. Vlaamse Hydrografie.** (2012). Stroomatlas Pas van het Zand en Haven Zeebrugge - 2011
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024a). Stroomatlas Zeebrugge: Deelrapport 1. Factual data rapport ADCP-metingen 07/08/2023. Versie 4.0. *WL Rapporten, 23_063_1*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024b). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 10. Factual data rapport ADCP-metingen 21/08/2023
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024c). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 11. Factual data rapport ADCP-metingen 22/08/2023
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024d). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 12. Factual data rapport ADCP-metingen 23/08/2023
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024e). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 13. Factual data rapport ADCP-metingen 24/08/2023
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024f). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 15. Resultaten stationaire metingen. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_15*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=392121>
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024g). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 2. Factual data rapport ADCP-metingen 08/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_2*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024h). Stroomatlas Zeebrugge: Deelrapport 3. Factual data rapport ADCP-metingen 09/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_3*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024i). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 4. Factual data rapport ADCP-metingen 10/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_4*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=391086>
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024j). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 5. Factual data rapport ADCP-metingen 11/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_5*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=391087>
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024k). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 6. Factual data rapport ADCP-metingen 14/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_6*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024l). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 7. Factual data rapport ADCP-metingen 16/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_7*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024m). Stroomatlas Zeebrugge: Deelrapport 8. Factual data rapport ADCP-metingen 17/08/2023. Versie 3.0. *WL Rapporten, 23_063_8*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=391094>
- Plancke, Y.; De Maerschallck, B.** (2024n). Stroomatlas Zeebrugge: deelrapport 9. Factual data rapport ADCP-metingen 18/08/2023
- Simoen, R.** (1982). Uitbouw van de haven van brugge-zeebrugge. *West-Vlaanderen Werkt*: 215–224

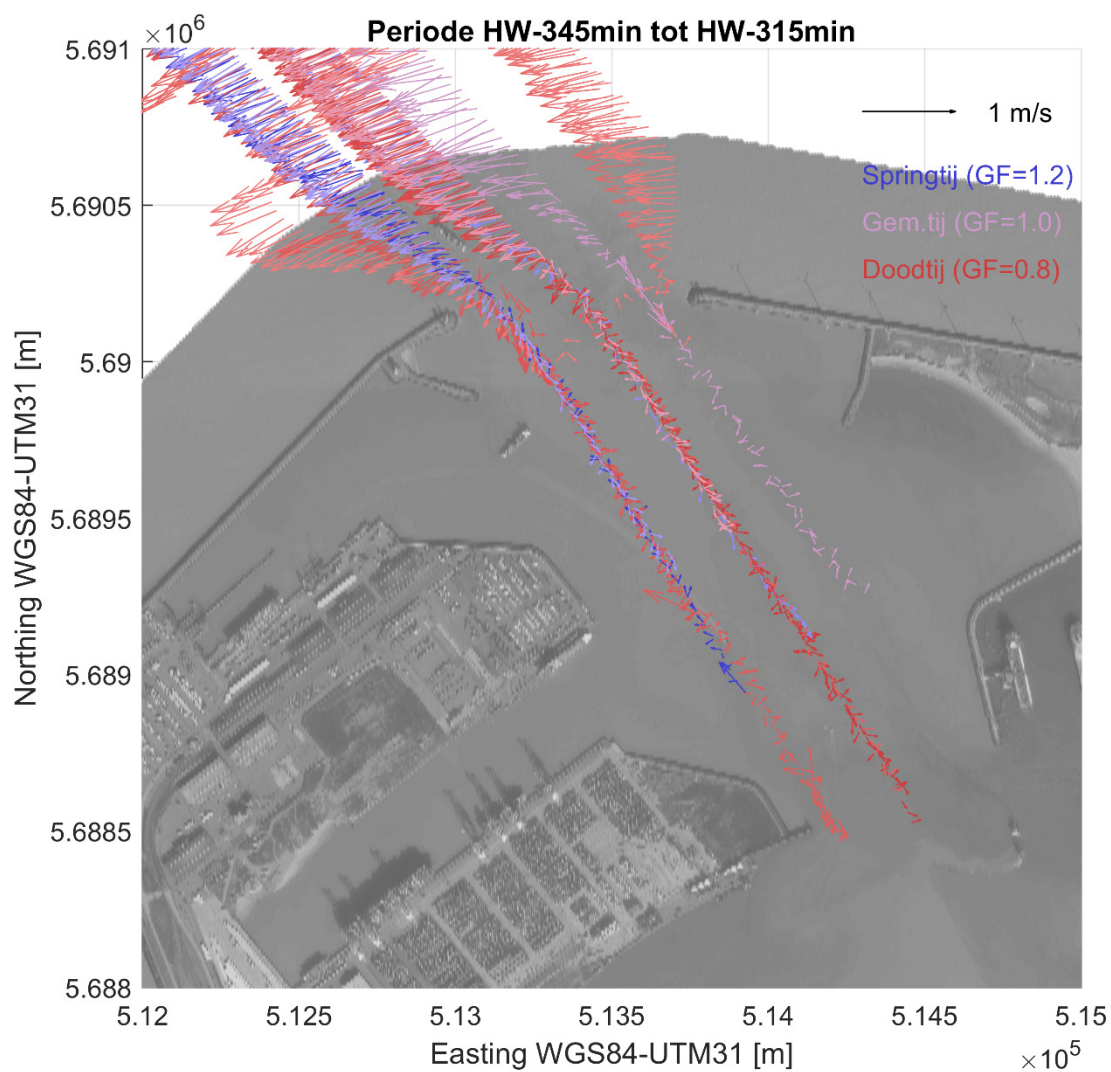
Verwilligen, J.; Delefortrie, G. (2022). Toegankelijkheid Containerschepen Zeebrugge: Eindrapport – Deterministische Evaluatie. versie 1.0. *WL Rapporten*, 20_104. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Vlaamse Hydrografie (MDK). (2023). Getijtafels 2024 voor Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge, Zeebrugge, Vlissingen, Prosperpolder, Antwerpen en Wintam

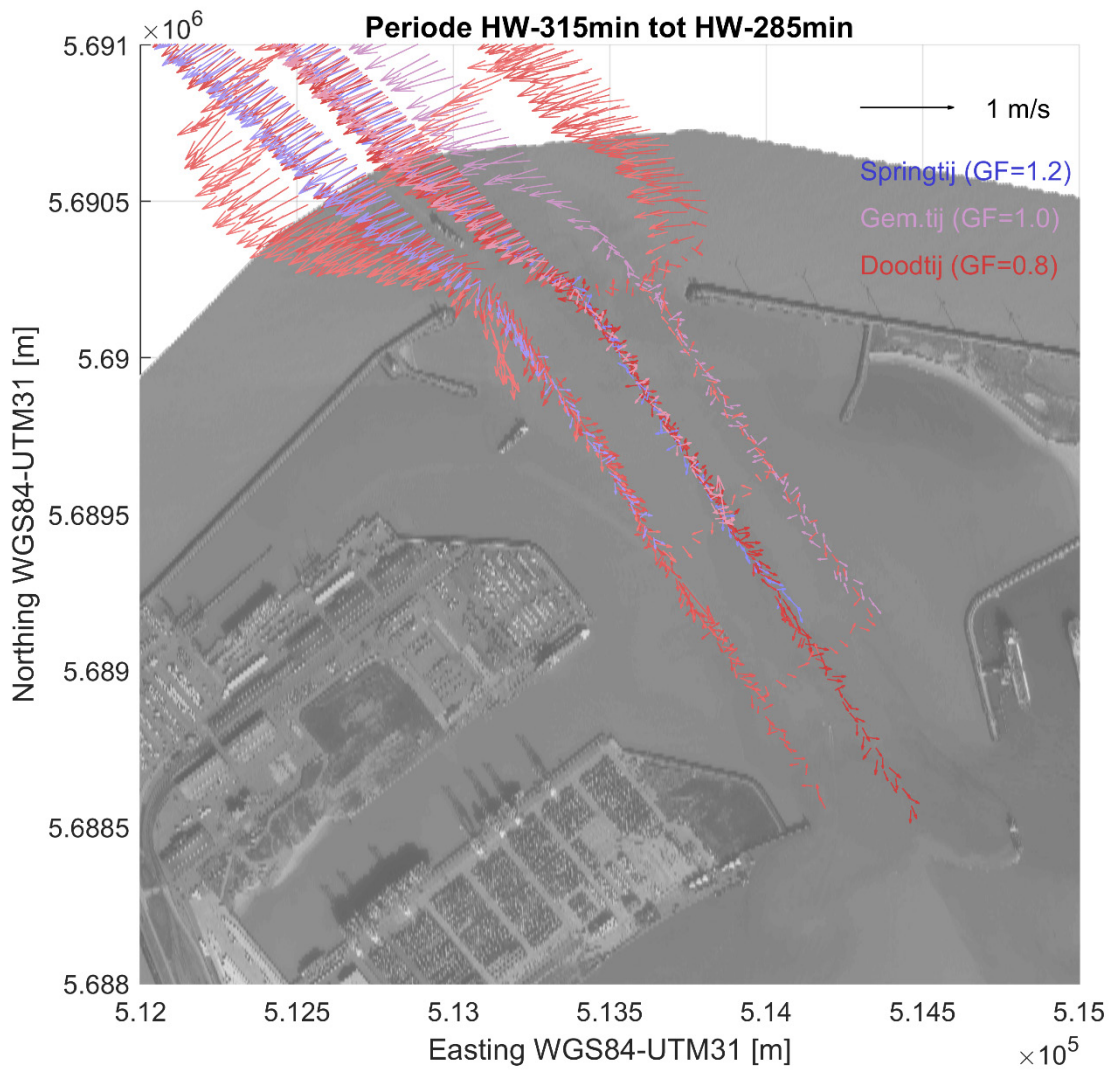
Bijlage 1 Resultaten per getijfase van 30'



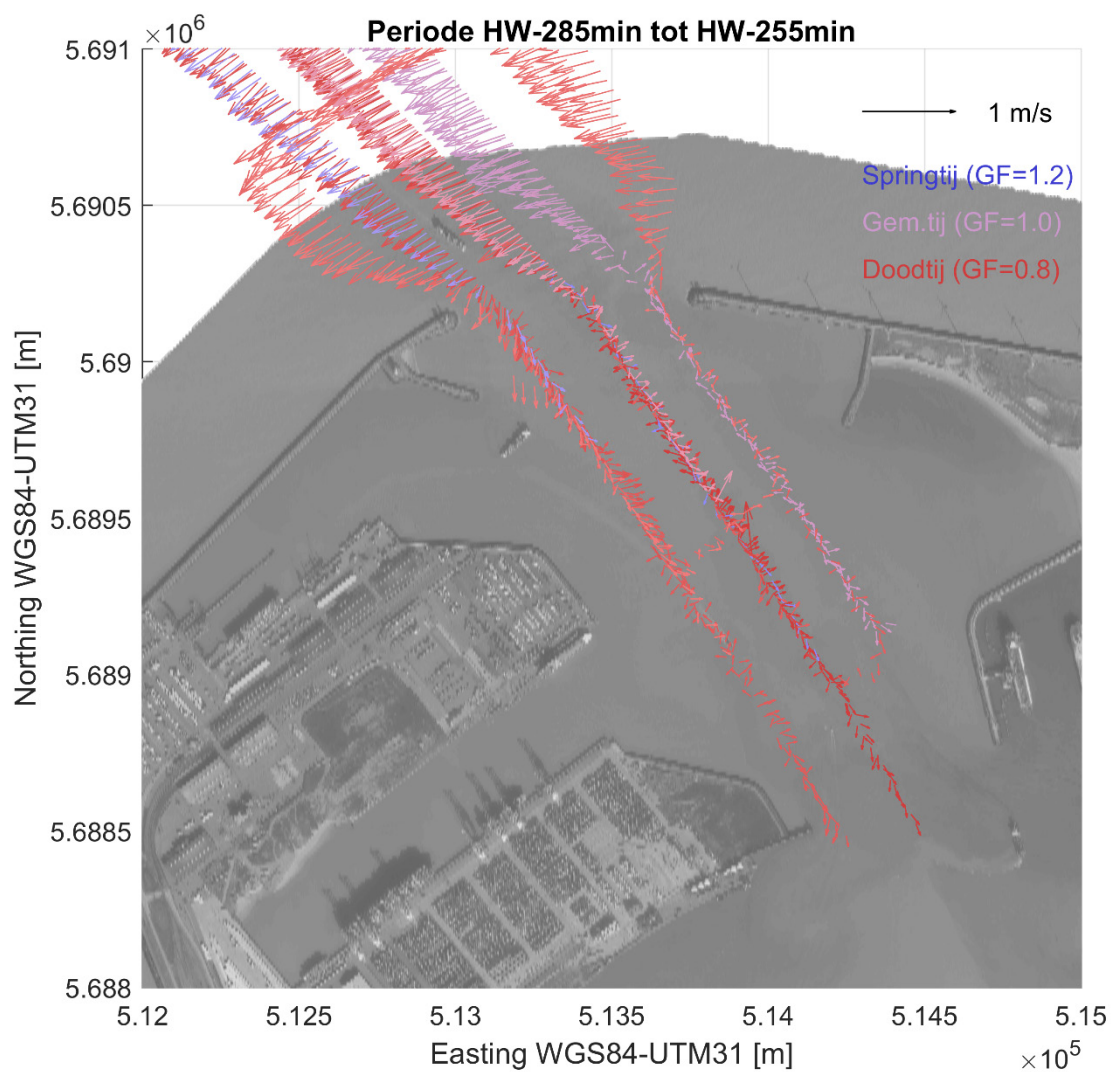
Figuur 13 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 375' tot HW – 345'



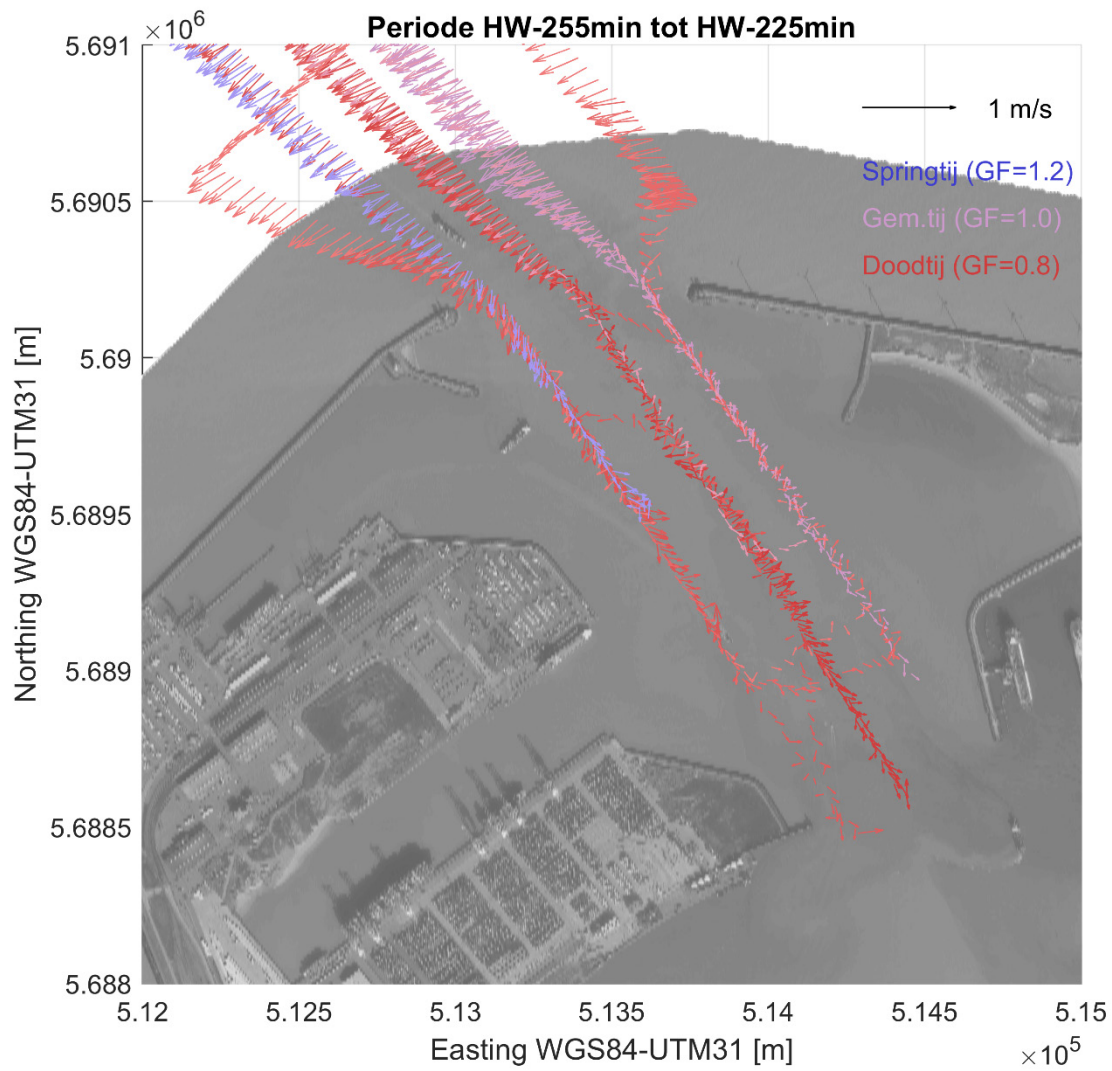
Figuur 14 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 345' tot HW – 315'



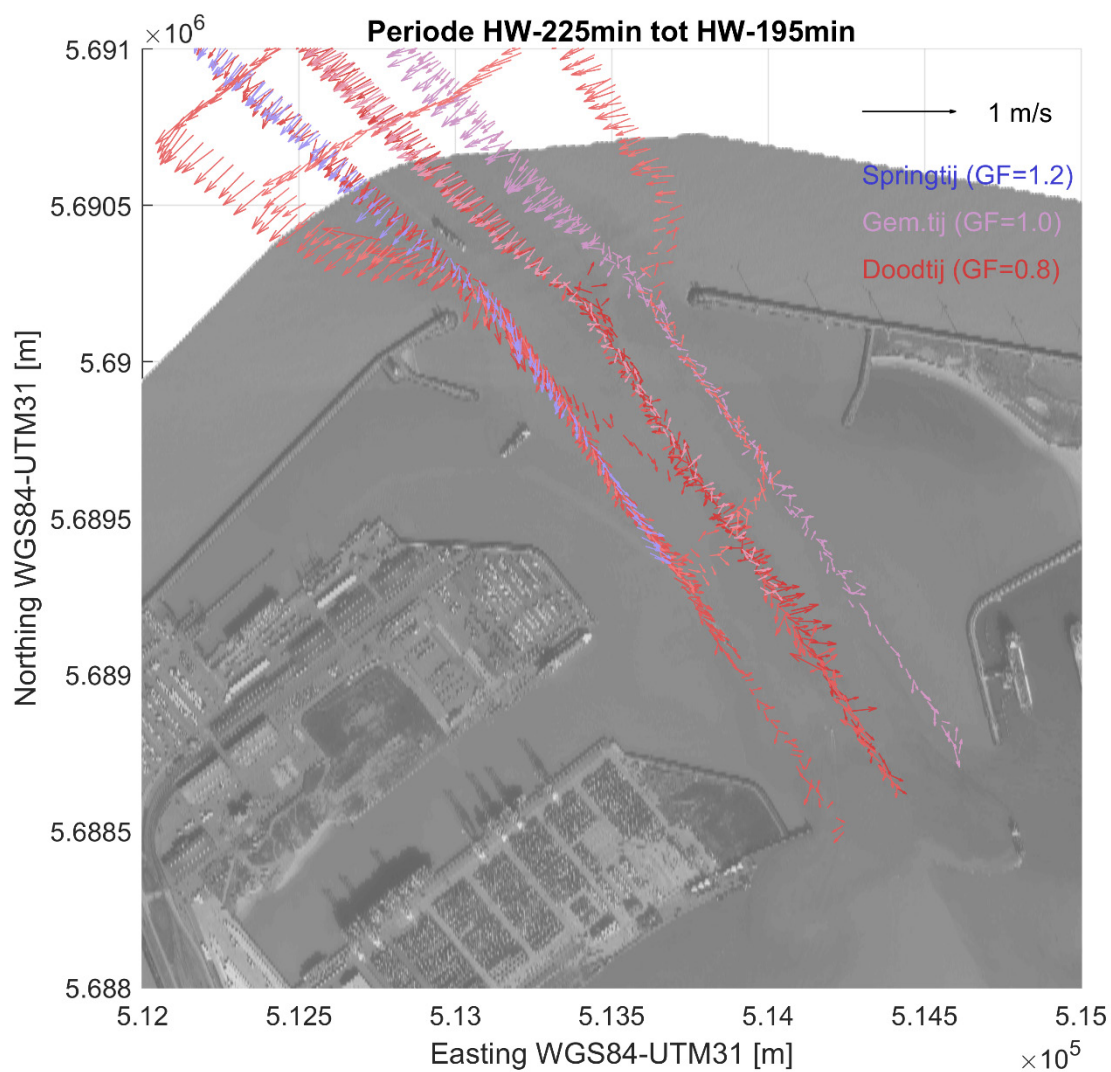
Figuur 15 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 315' tot HW – 285'



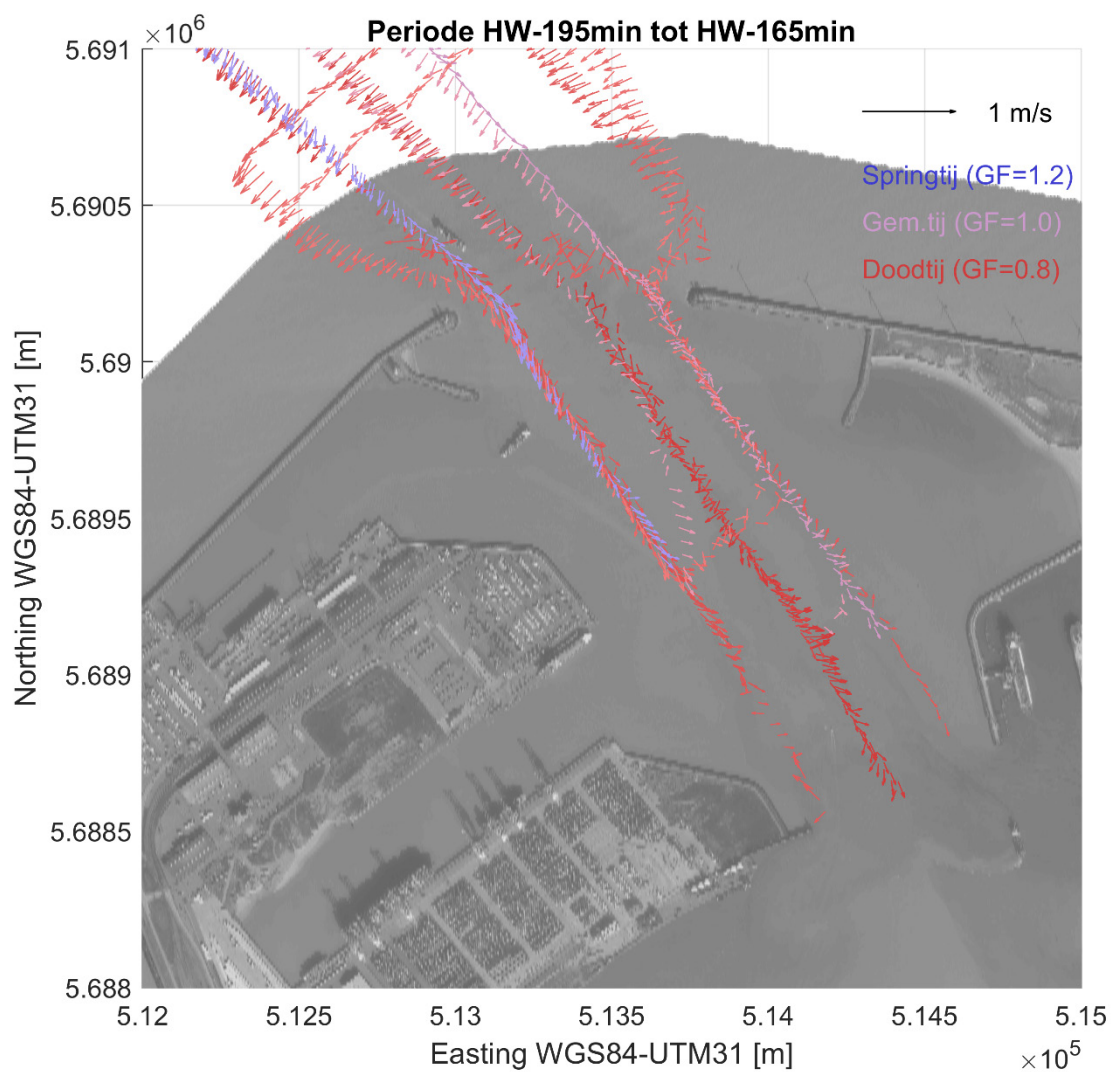
Figuur 16 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 285' tot HW – 255'



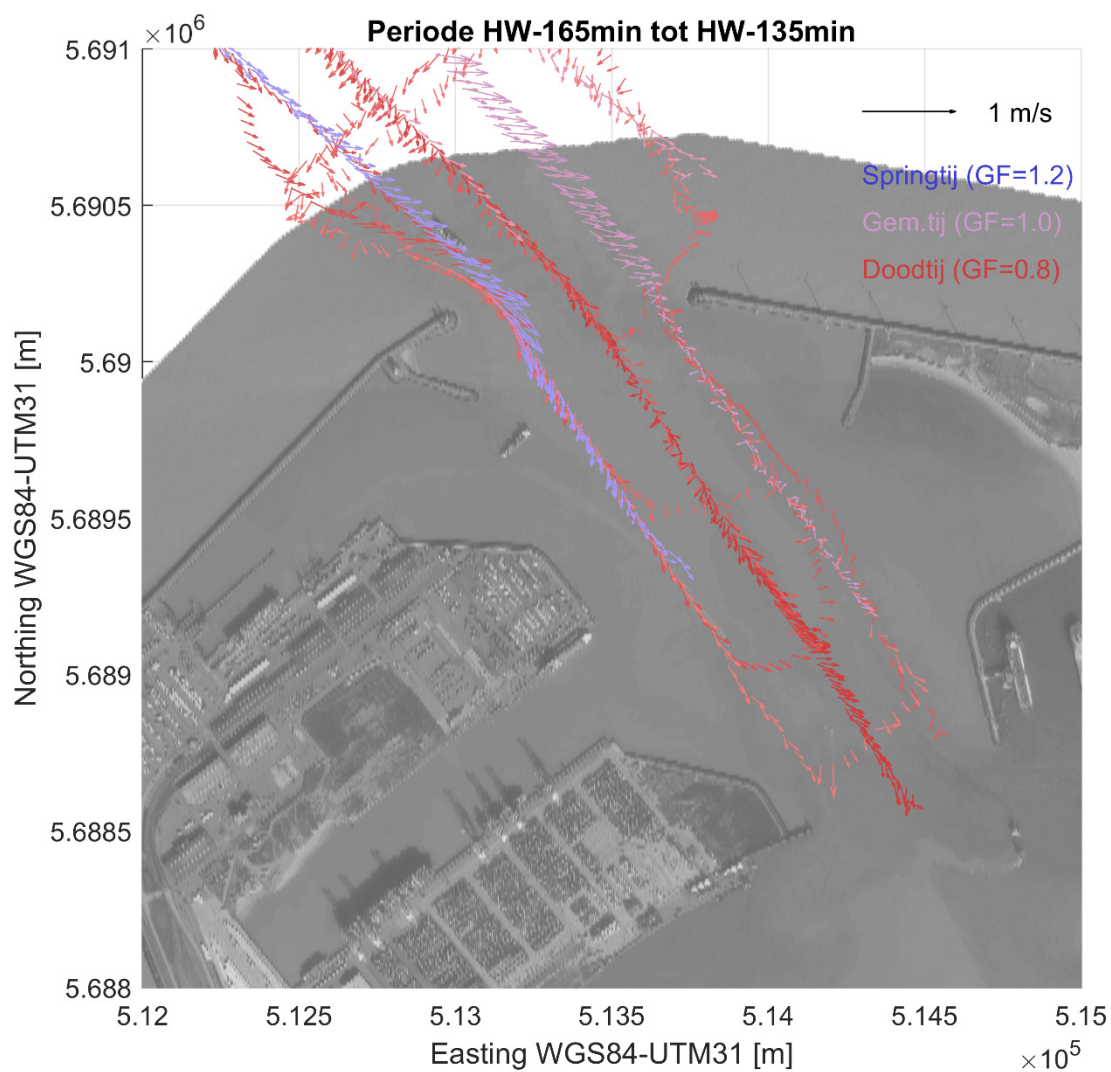
Figuur 17 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 255' tot HW – 225'



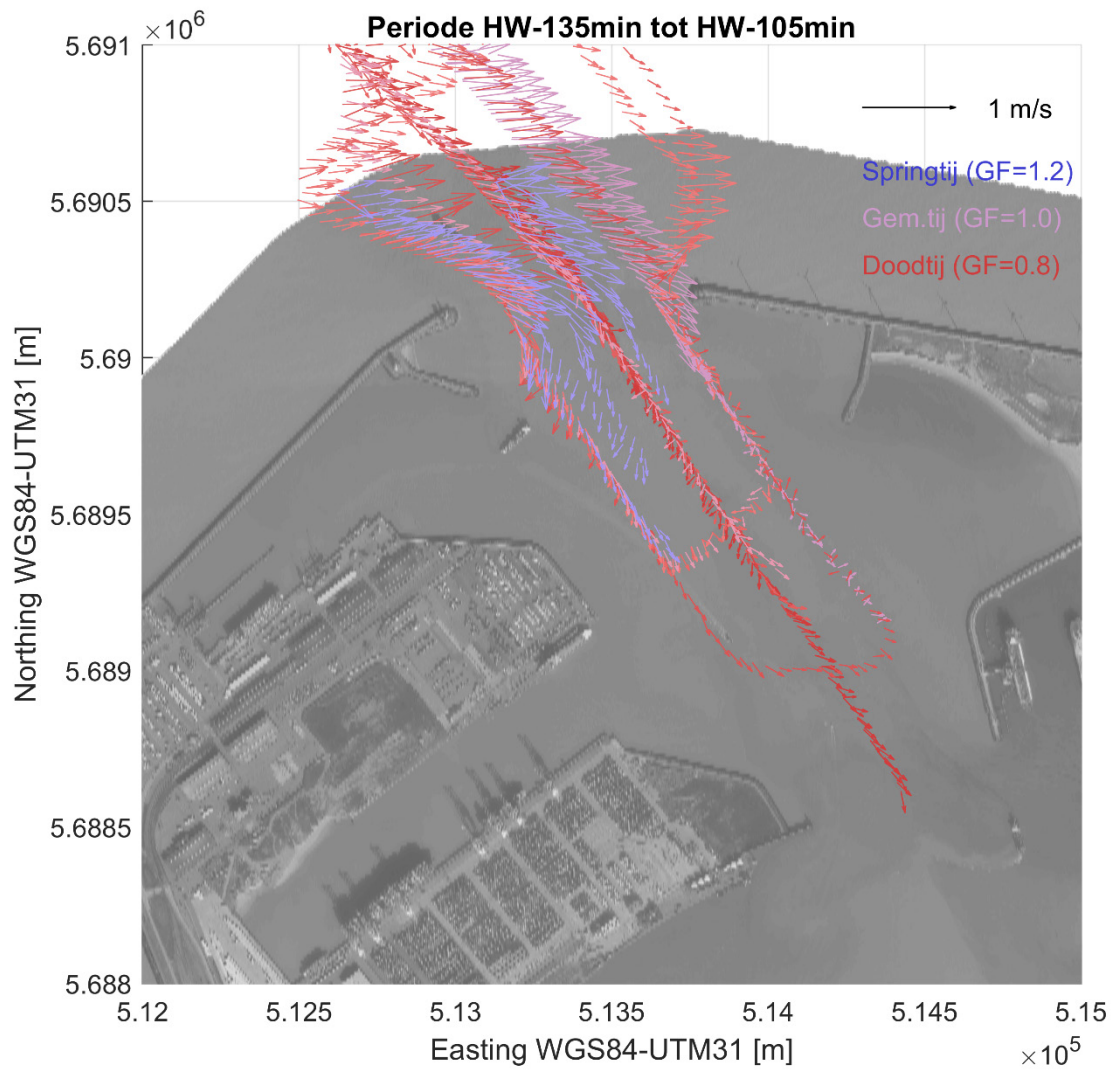
Figuur 18 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 225' tot HW – 195'



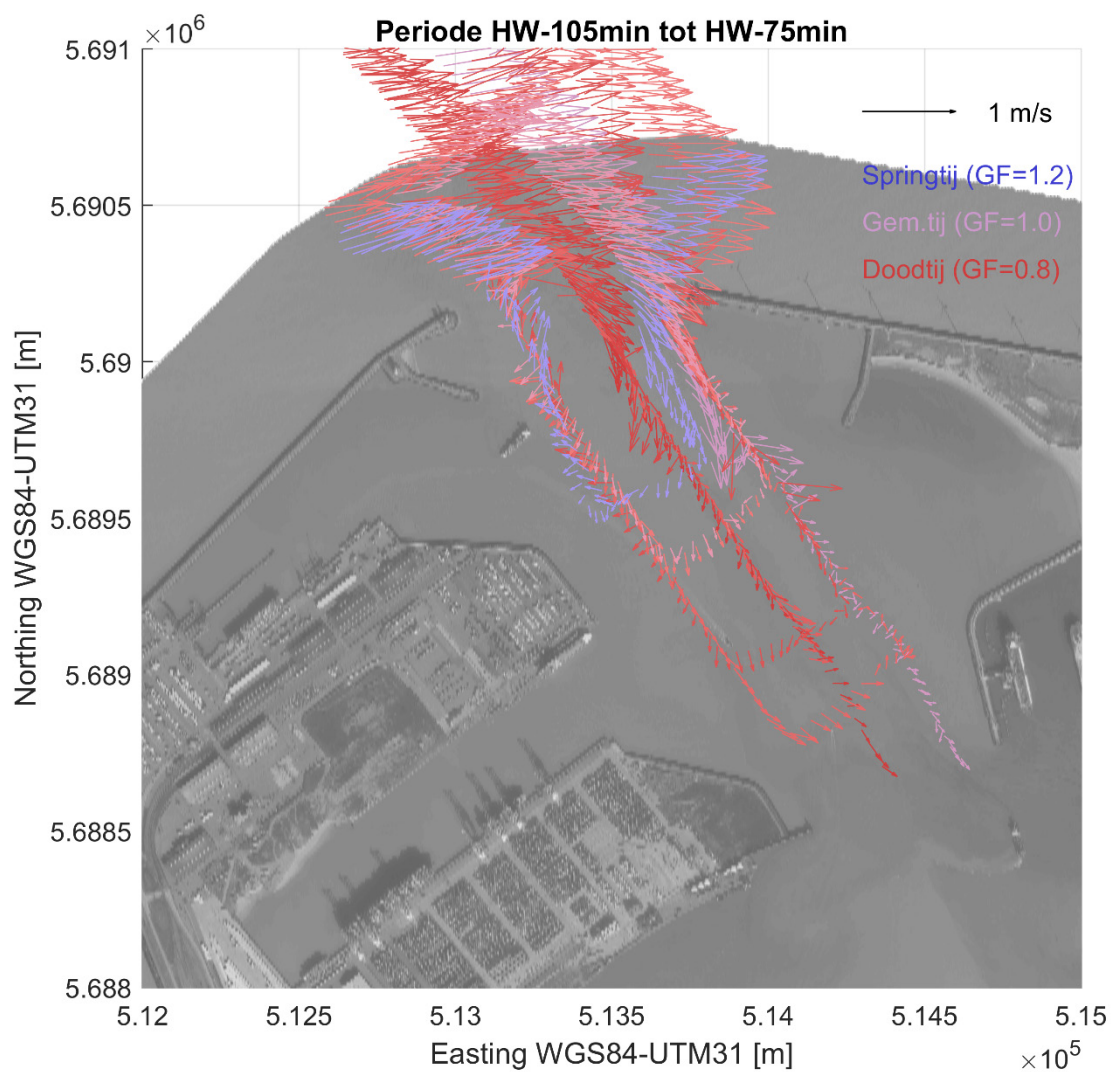
Figuur 19 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 195' tot HW – 165'



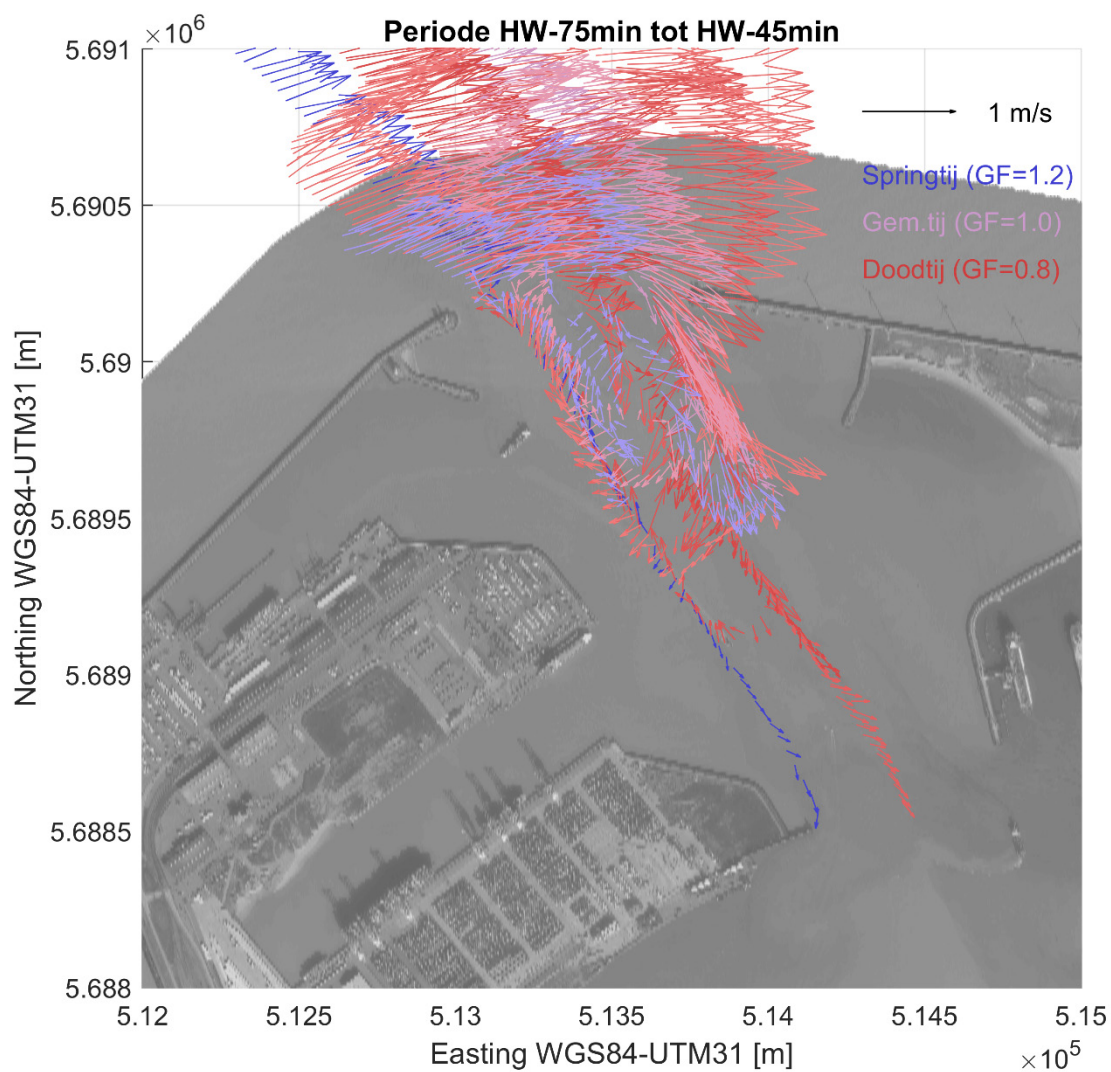
Figuur 20 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 165’ tot HW – 135’



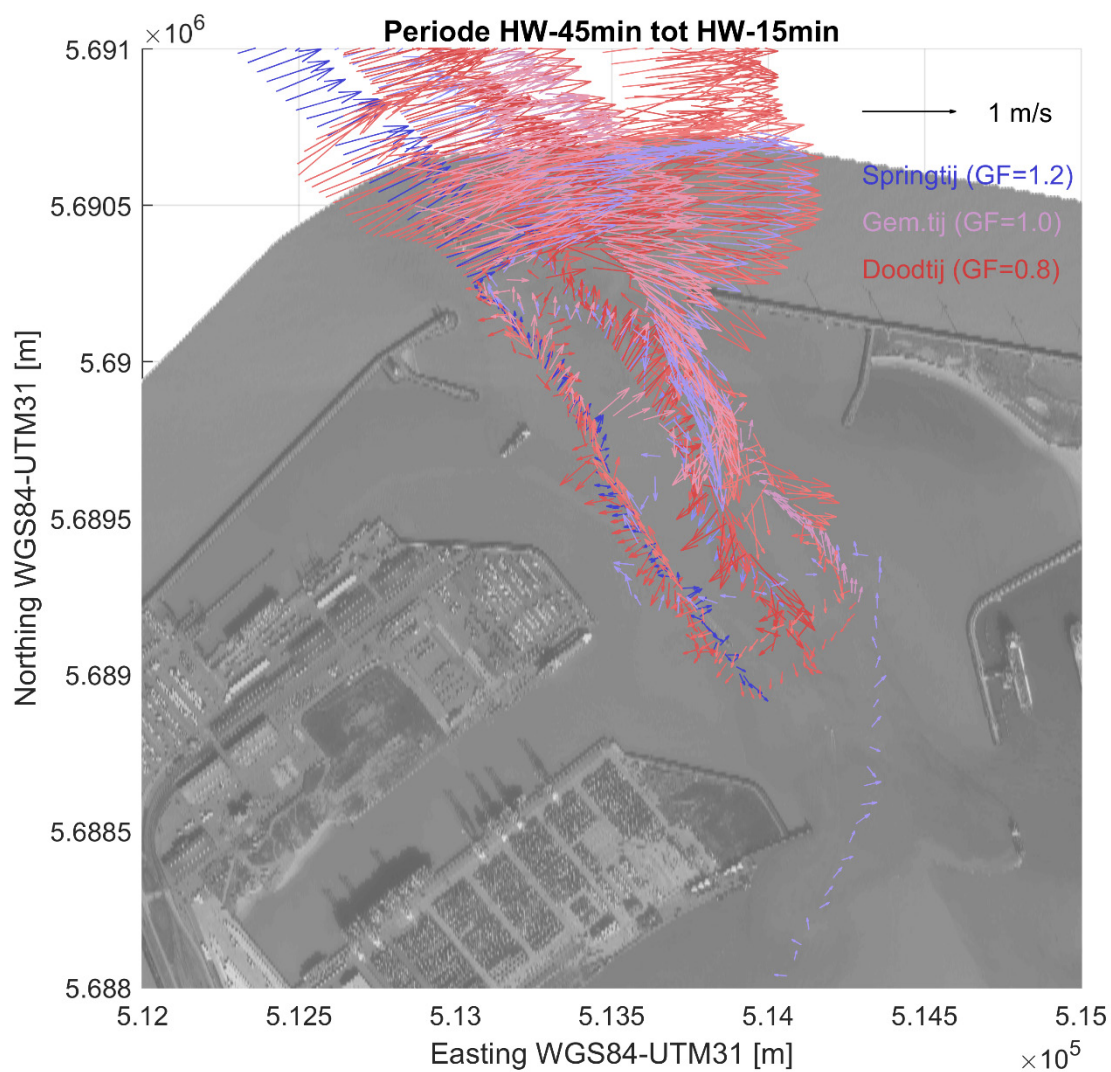
Figuur 21 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 135' tot HW – 105'



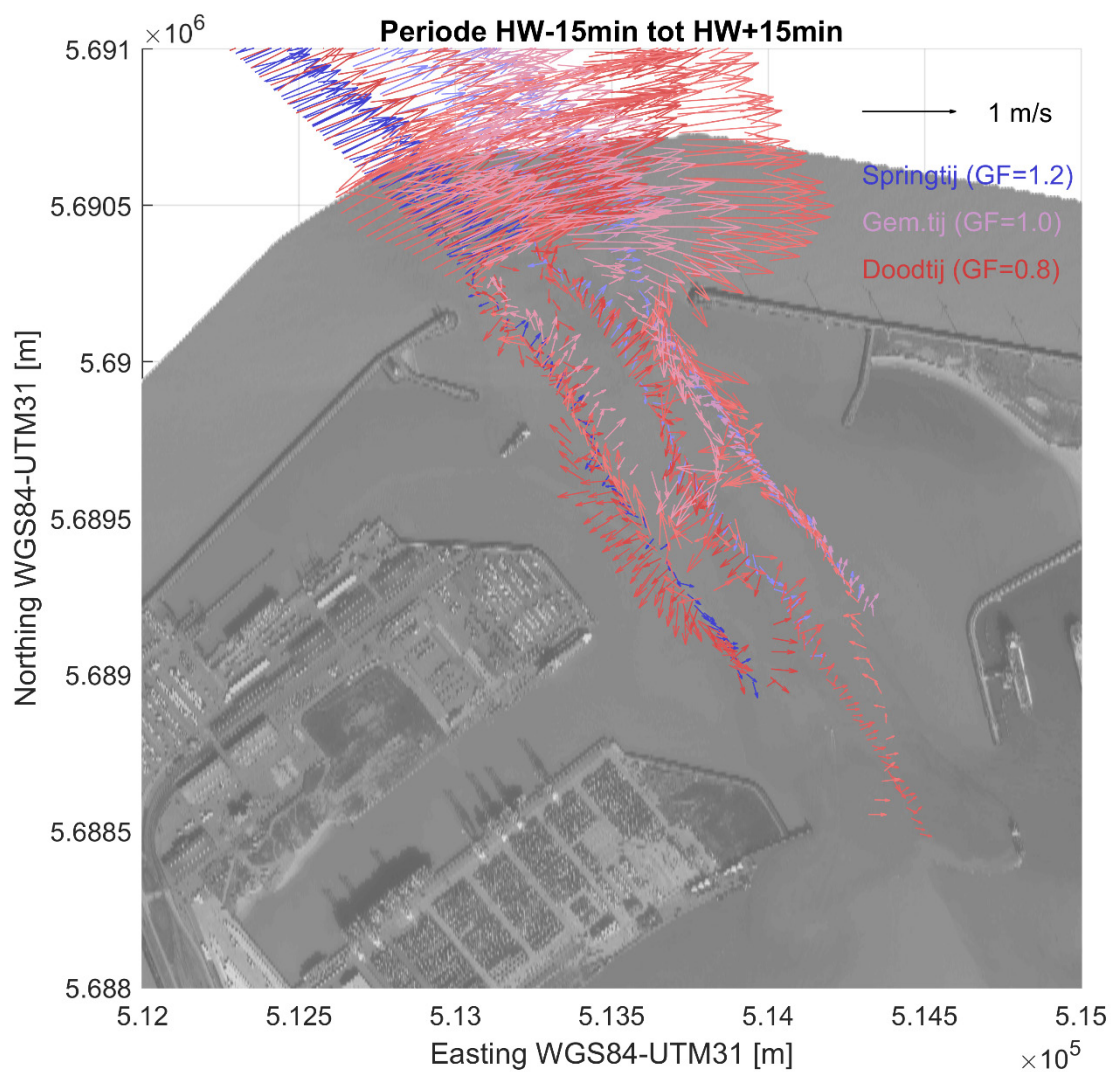
Figuur 22 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 105' tot HW – 75'



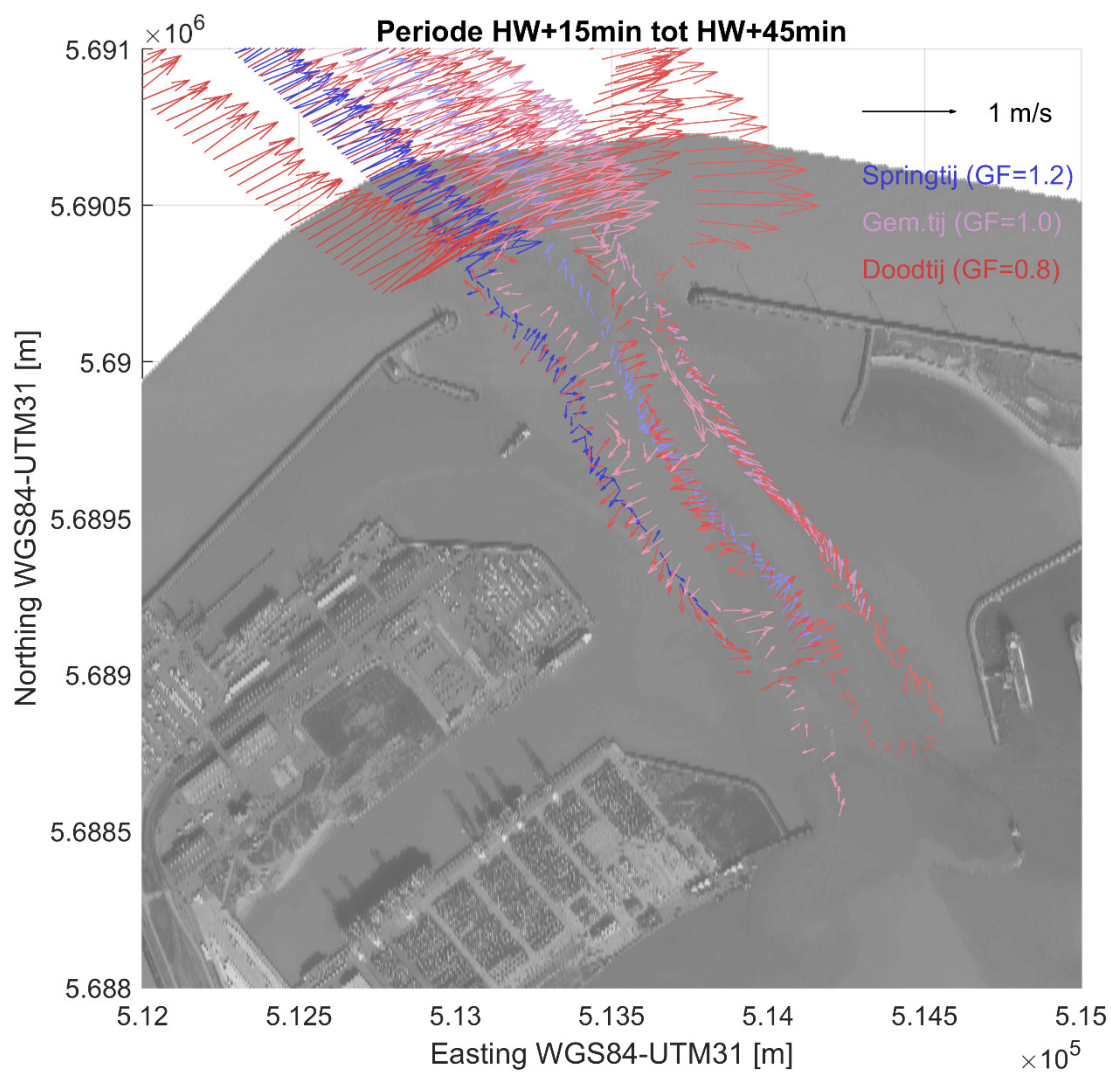
Figuur 23 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 75' tot HW – 45'



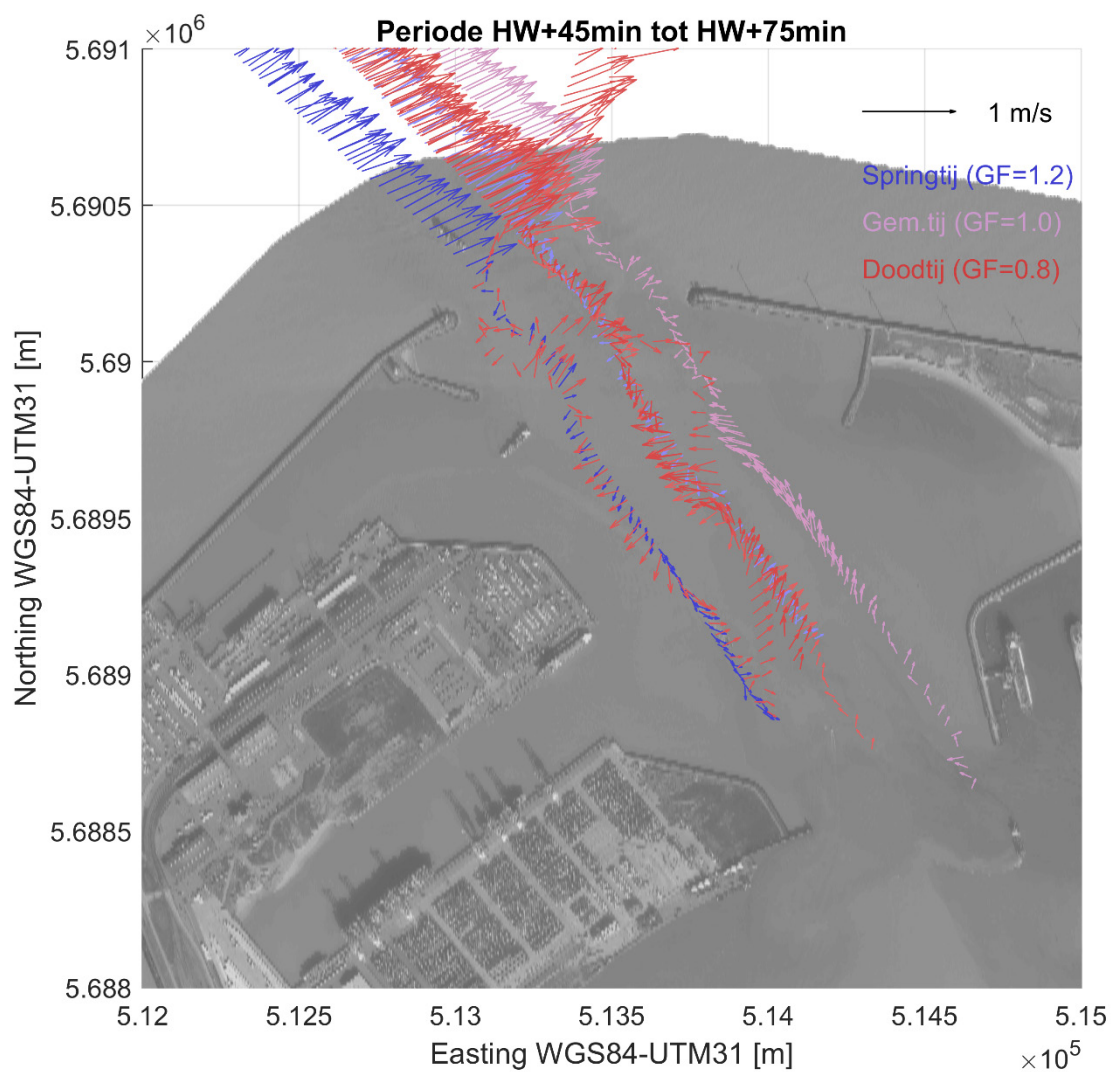
Figuur 24 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 45' tot HW – 15'



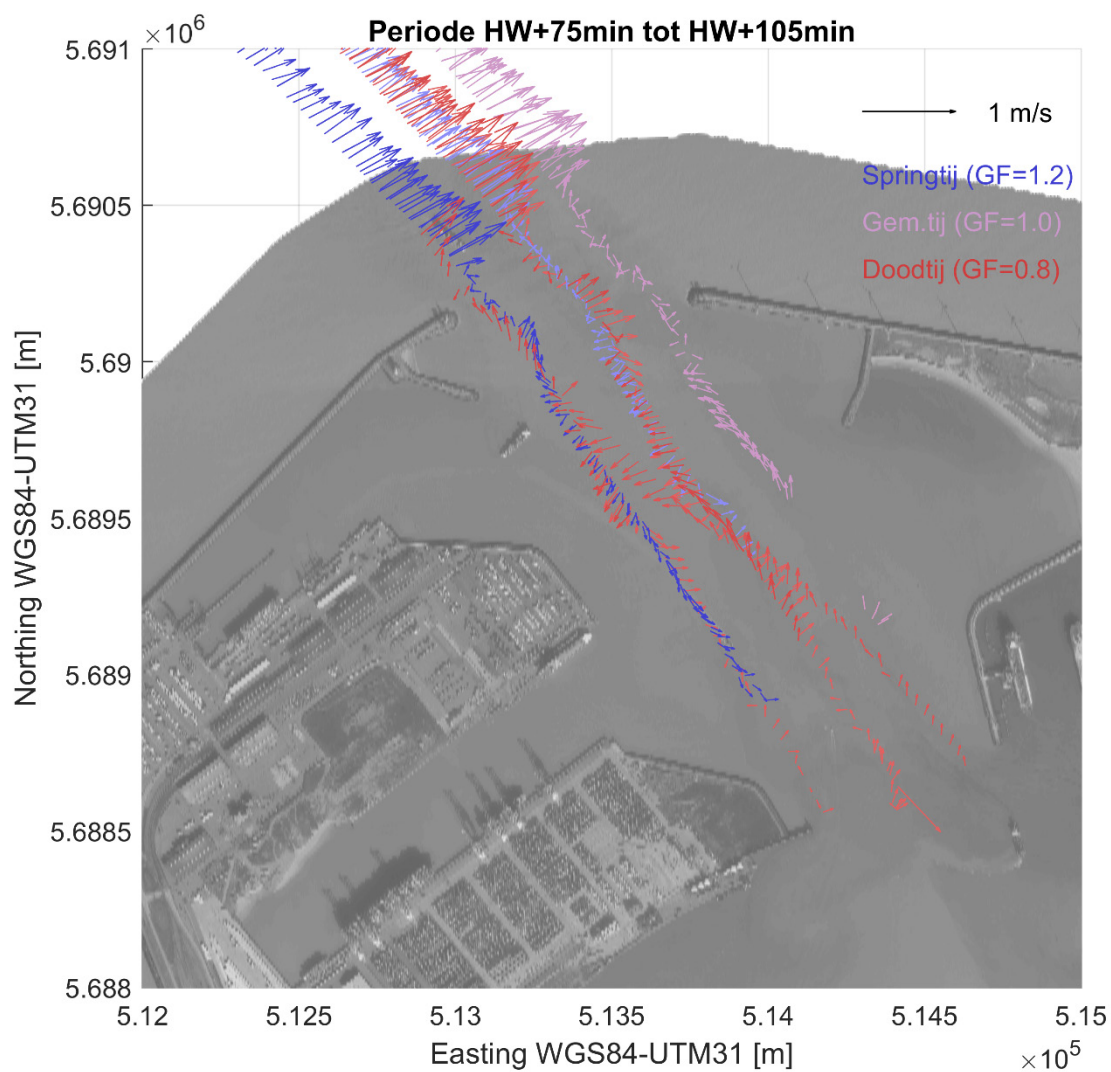
Figuur 25 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW – 15' tot HW + 15'



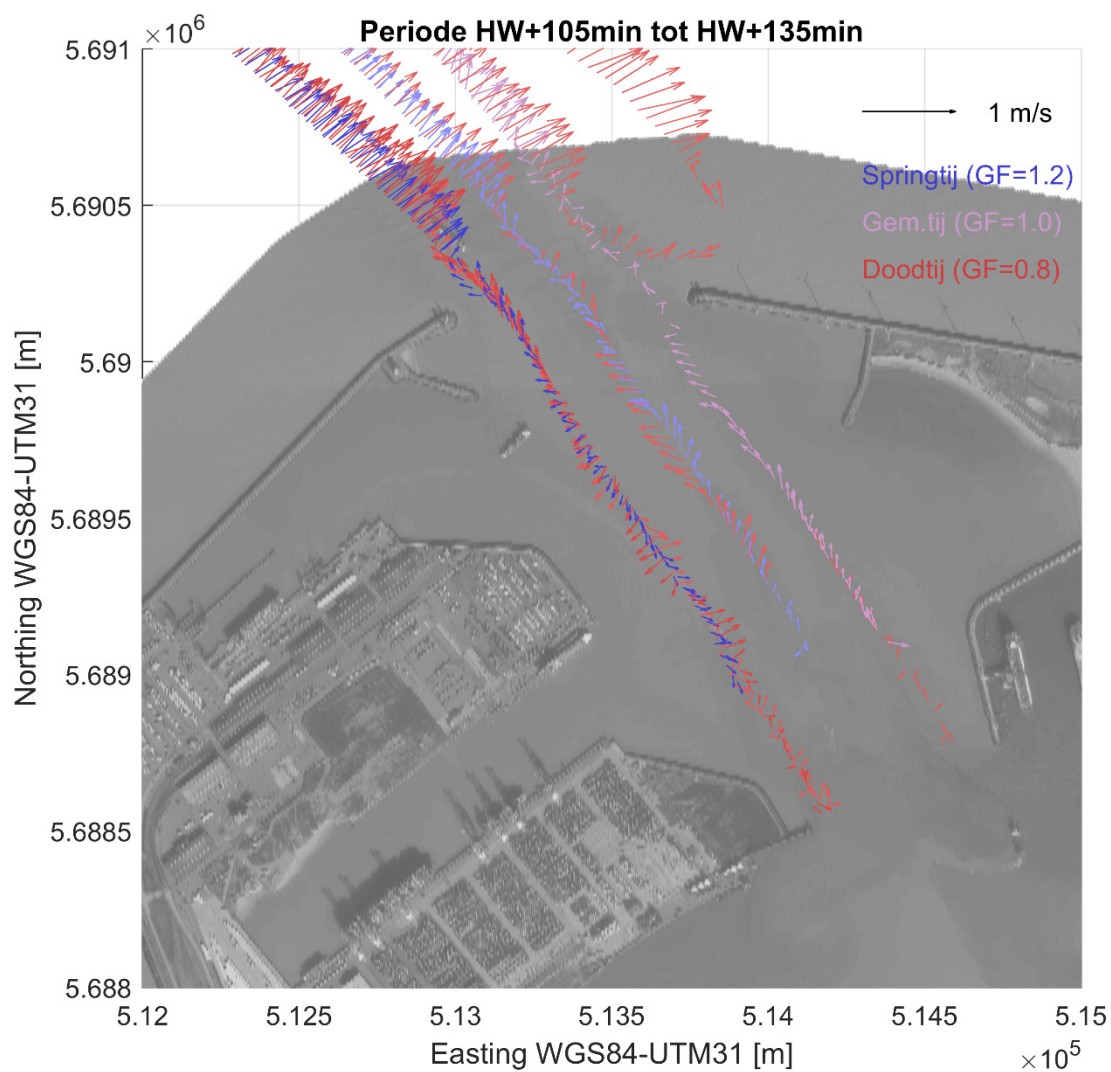
Figuur 26 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 15' tot HW + 45'



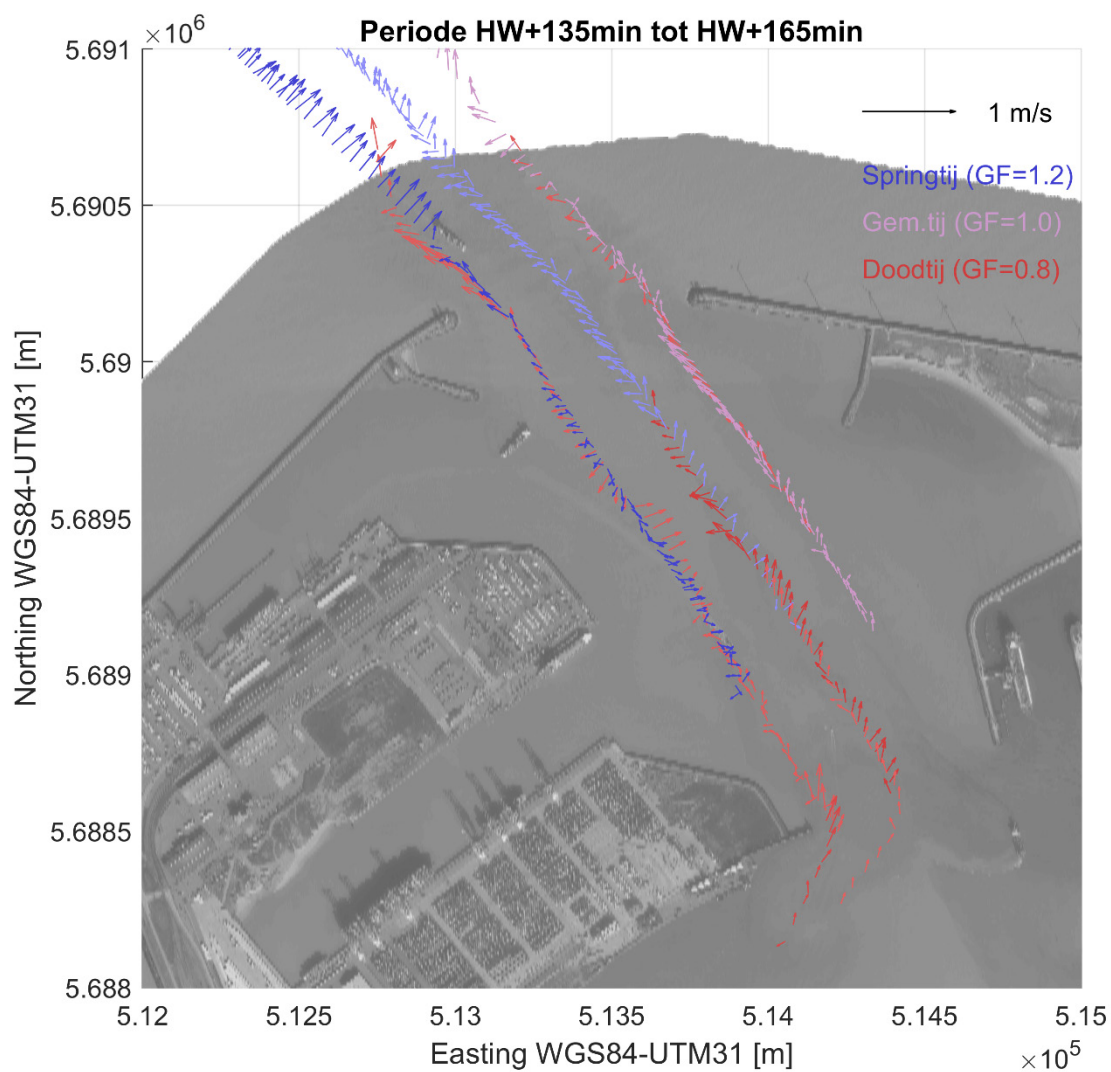
Figuur 27 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 45' tot HW + 75'



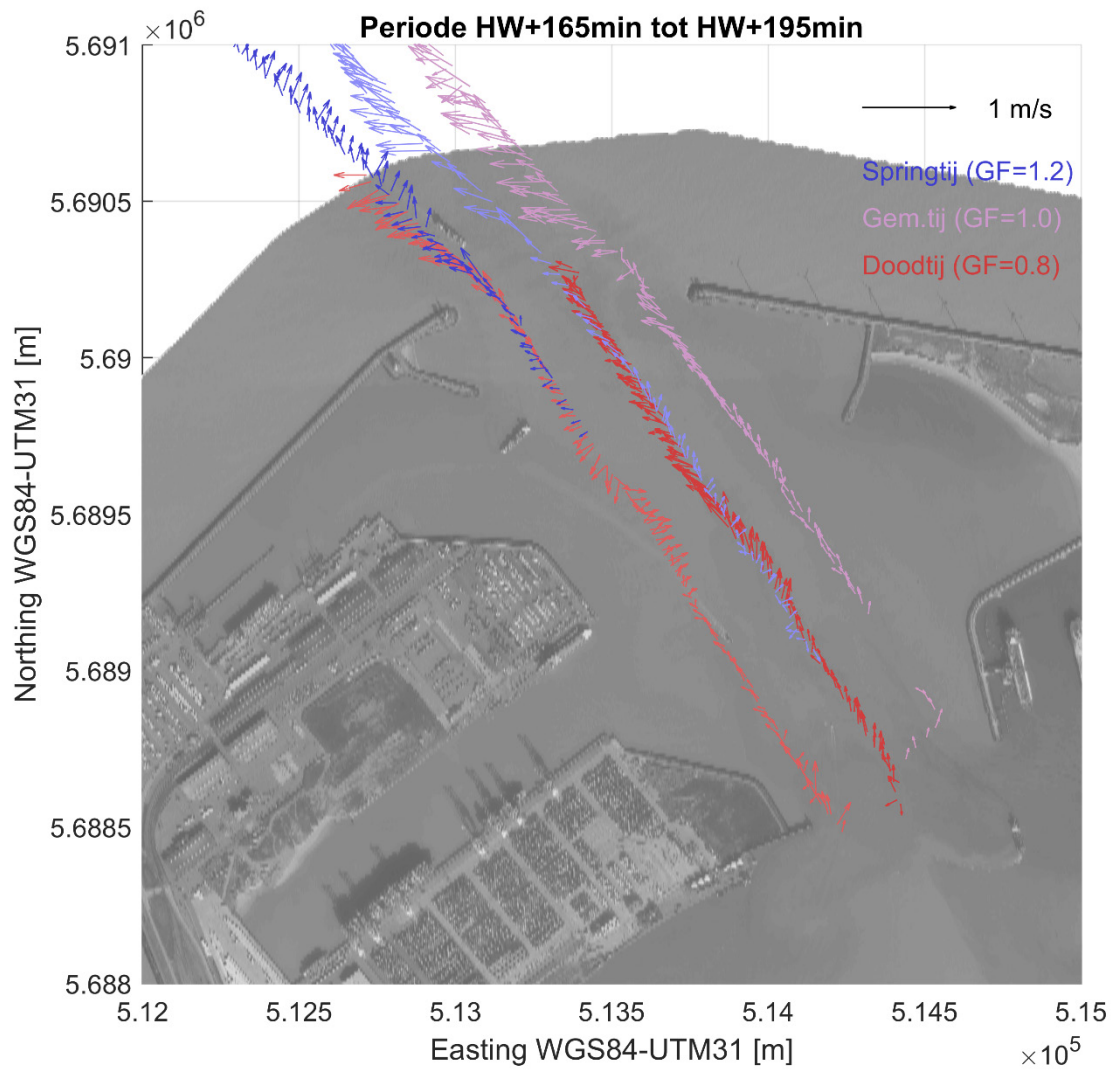
Figuur 28 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 75' tot HW + 105'



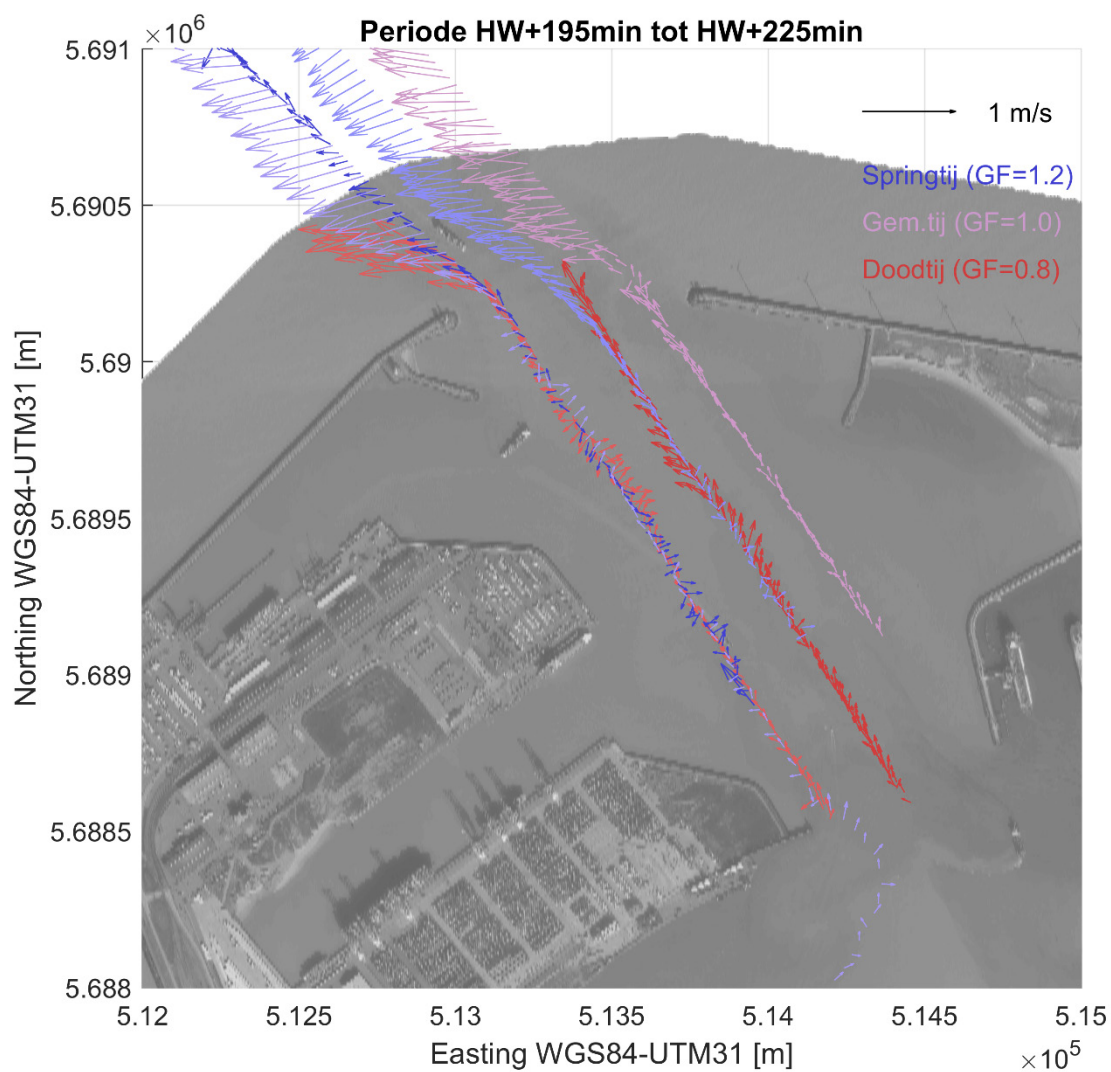
Figuur 29 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 105' tot HW + 135'



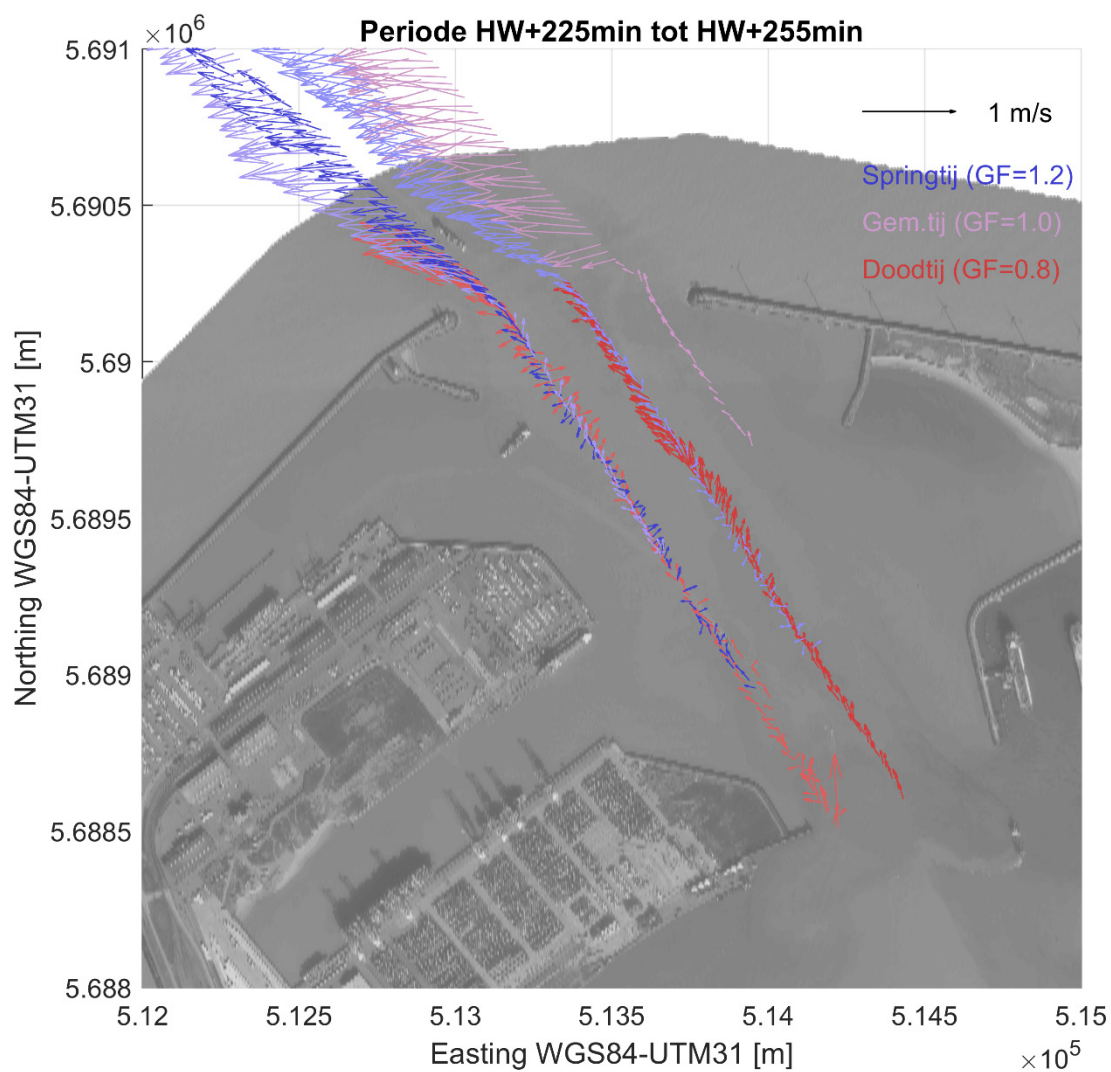
Figuur 30 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 135' tot HW + 165'



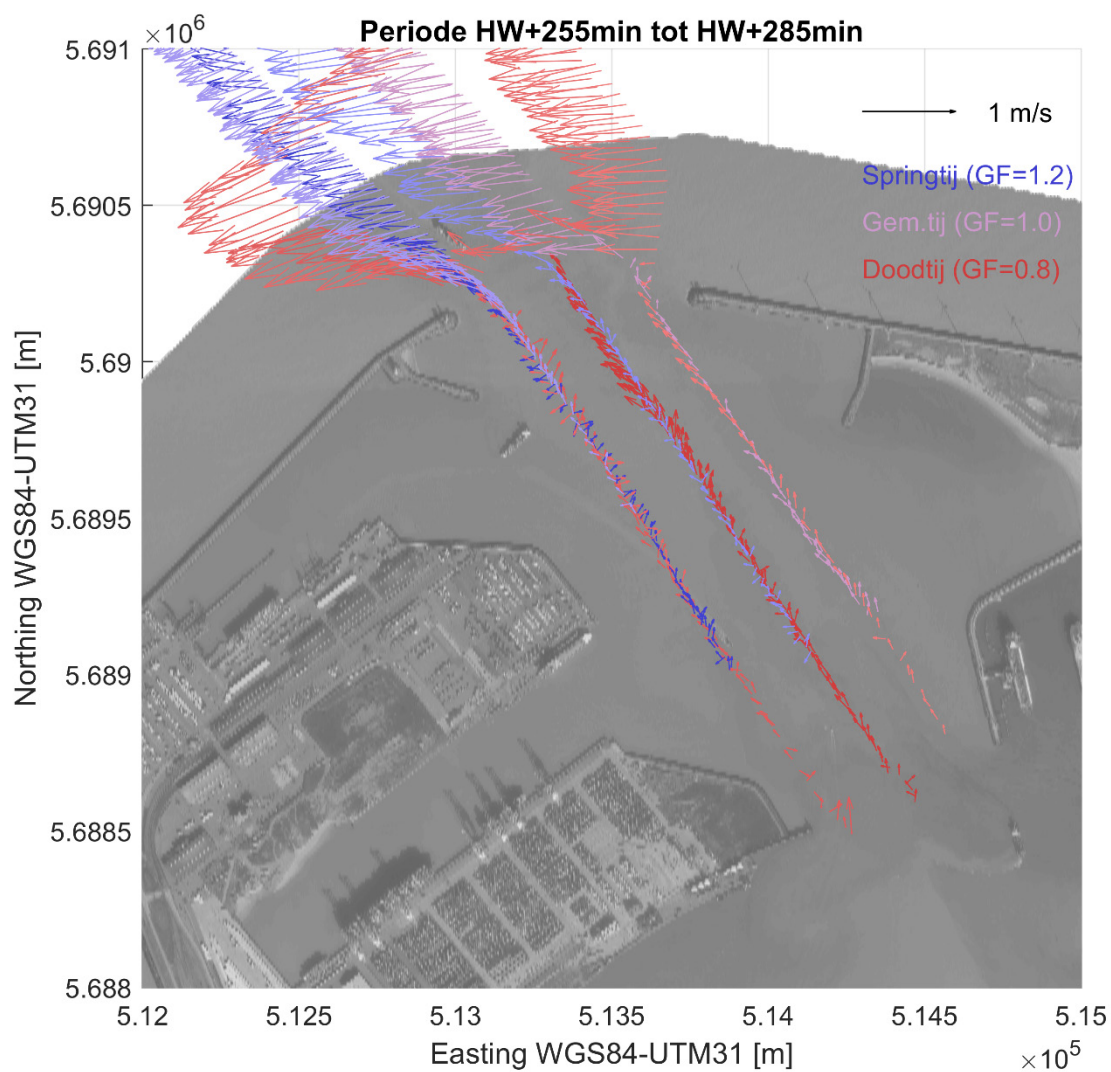
Figuur 31 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 165' tot HW + 195'



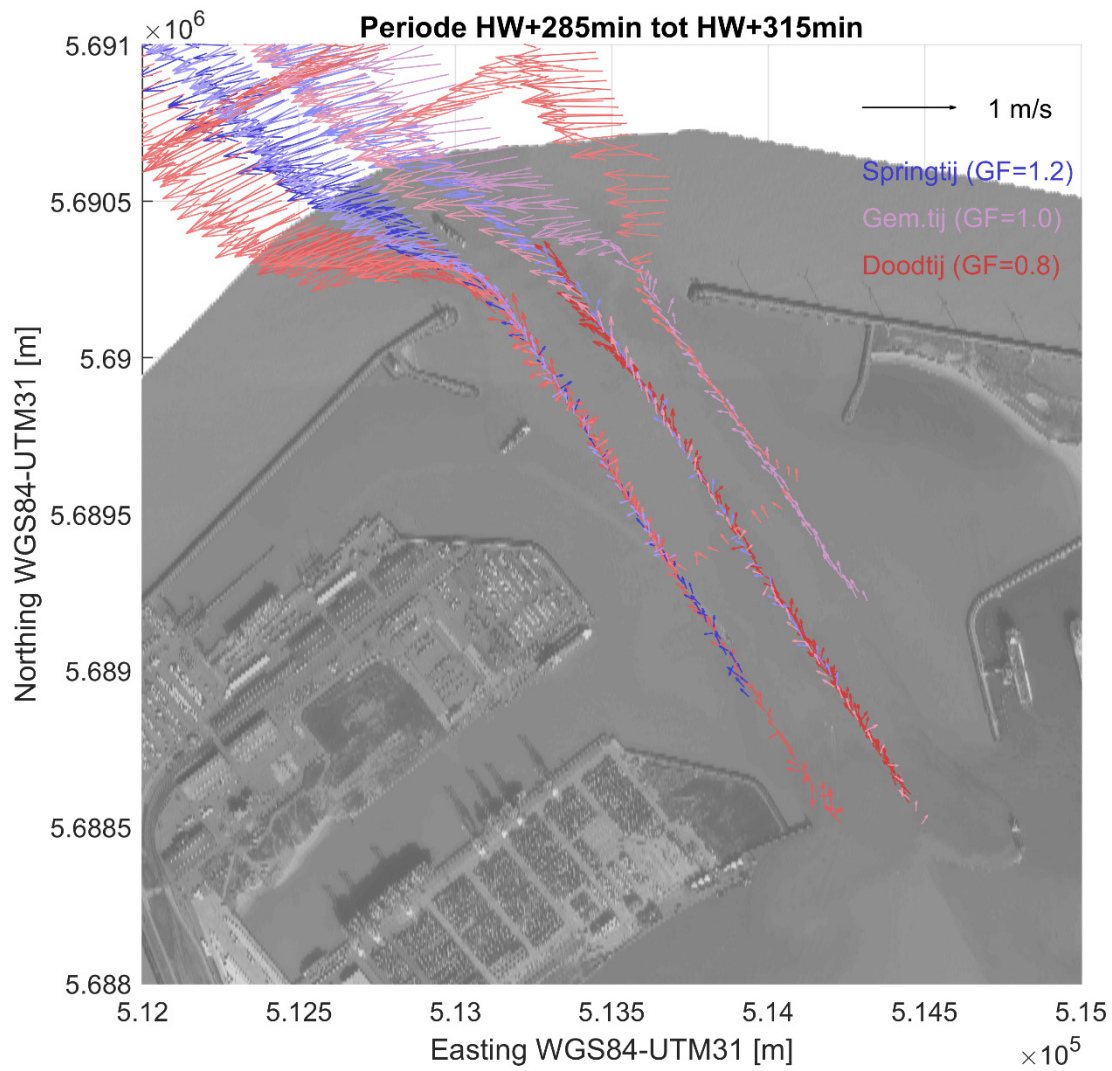
Figuur 32 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 195' tot HW + 225'



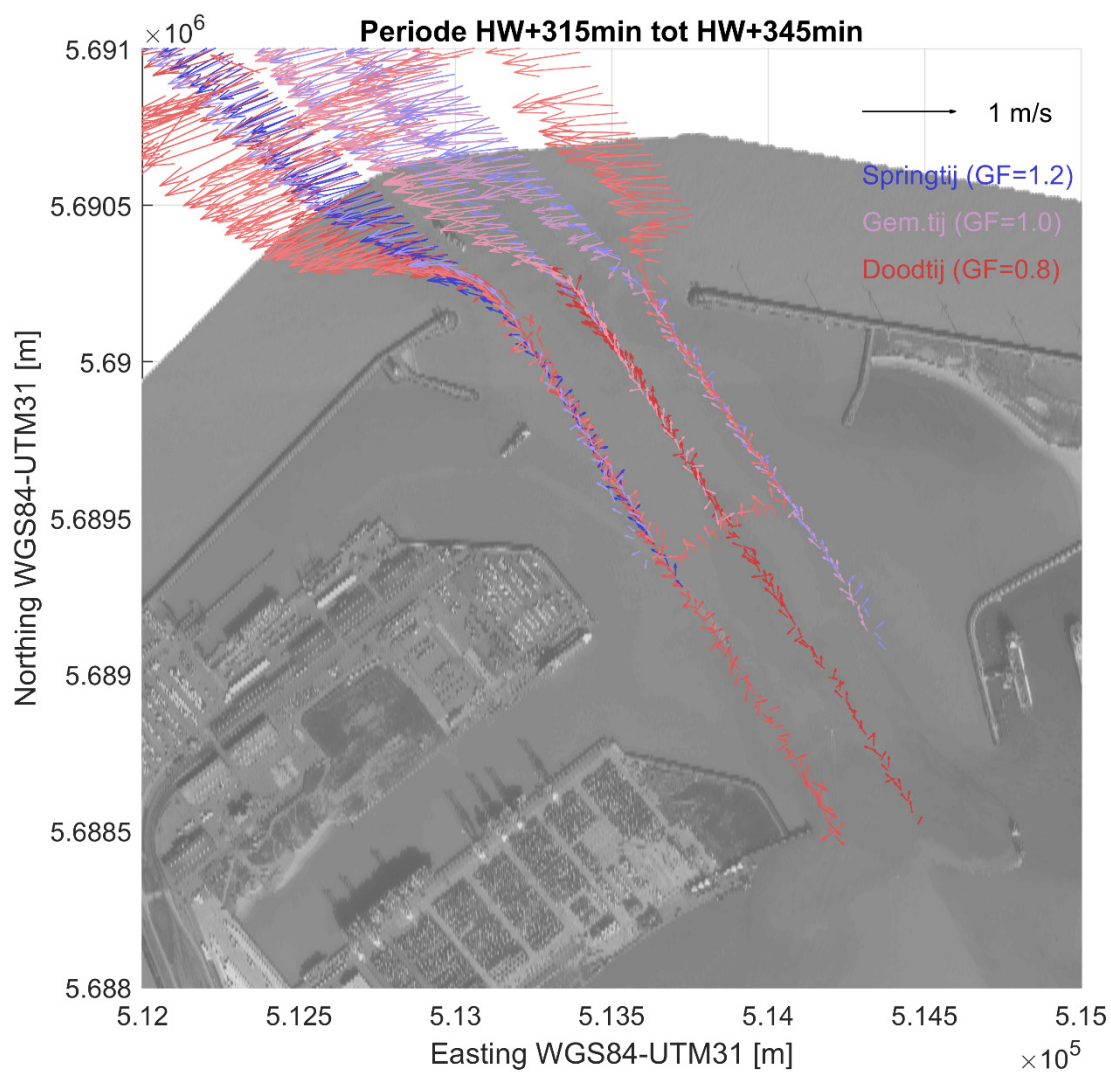
Figuur 33 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 225' tot HW + 255'



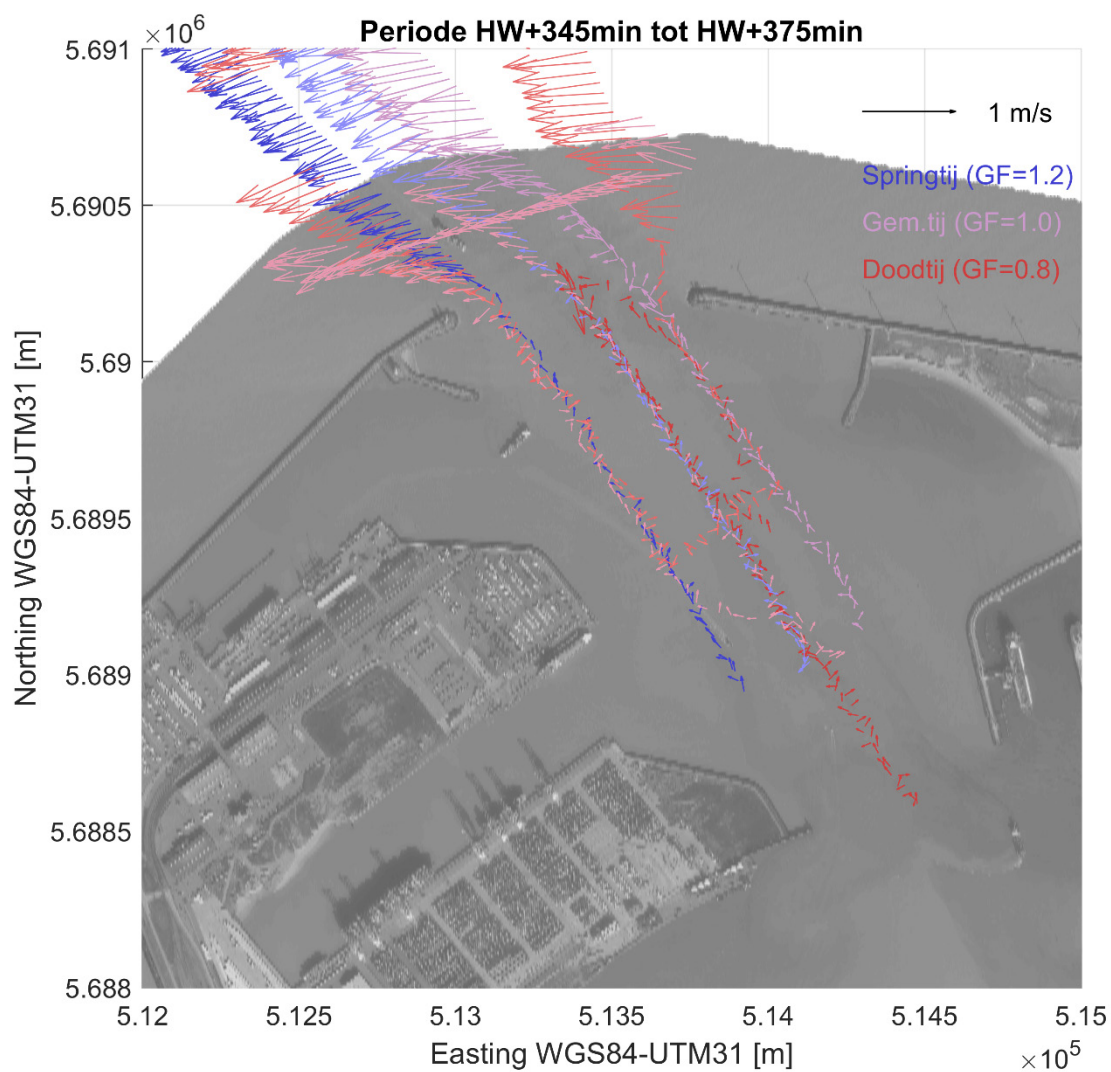
Figuur 34 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 255' tot HW + 285'



Figuur 35 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 285' tot HW + 315'



Figuur 36 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 315' tot HW + 345'



Figuur 37 – Combineerde stroomgegevens van alle gevaren raaien in de getijfase HW + 345' tot HW + 375'

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