



Vlaanderen
is wetenschap



19_065_4
WL rapporten

Actualisatie evaluatiemethodiek Schelde-Estuarium

Deelrapport 4
Gecondenseerde bevaarbaarheidsparameters

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Actualisatie evaluatiemethodiek Schelde-Estuarium

Deelrapport 4 – Gecondenseerde bevaarbaarheidsparameters

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Plancke, Y.; Meire, D.

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 2022
D/2022/3241/121

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Plancke, Y.; Meire, D. (2022). Actualisatie evaluatiemethodiek Schelde-Estuarium: Deelrapport 4 – Gecondenseerde bevaarbaarheidsparameters. Versie 5.0. WL Rapporten, 19_065_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2022R19_065_4
Trefwoorden (3-5):	VNSC, bevaarbaarheid, Schelde-estuarium, oevereffecten, kielspeling, dwarsstroming, evaluatiemethodiek.		
Kennisdomeinen:	Havens en vaarwegen > Manoeuvreergedrag > Invloed kielspeling > Simulaties Havens en vaarwegen > Manoeuvreergedrag > Oevers > Simulaties Havens en vaarwegen > Manoeuvreergedrag > Stroming > Simulaties Havens en vaarwegen > Veiligheid > Risico-analyse > Simulaties		
Tekst (p.):	23	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verwilligen, J.
------------	-----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Eloot, K.; Plancke, Y.	Getekend door: Katrien Eloot (Signature) Getekend op: 2022-10-14 10:08:17 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2022-11-08 08:38:16 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Katrien Eloot</i> <i>Yves Plancke</i>
Projectleider:	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2022-10-17 14:00:15 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2022-10-14 11:13:11 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



Abstract

In Verwilligen *et al.* (2022) ontwikkelde het Waterbouwkundig Laboratorium een methodologie om de bevaarbaarheid van een vaarweg te beoordelen op basis van fasttime vaarsimulaties met een track controller. De signaalparameters afstand tot referentietraject (als maat voor het ruimtegebruik door het schip) en roergebruik (als maat voor de manoeuvreerreserve van het schip) worden hierbij toegepast als maat voor de bevaarbaarheid. Voor deze twee parameters werd per jaar en per vaarrichting (op- en afvaart) een contourplot gegenereerd in functie van de afstand langs het traject (horizontale as) en de tijconditie (verticale as). De bevaarbaarheid van de Westerschelde is immers afhankelijk van zowel de locatie (bochten, ondieptes en oevers) als van de tijconditie (waterstand en stroming), die op deze manier voorgesteld kon worden.

Om een meer globale (en makkelijk interpreteerbare) beoordeling toe te laten werd voor acht vaarsectoren op de Westerschelde de bevaarbaarheidsparameter roergebruik gecondenseerd tot een maximale waarde binnen de vaarsector en over de volledige tijcyclus. Het maximum wordt bepaald op een middeling van het roergebruik over een vaarafstand gelijk aan drie scheepslengtes (de invloeds lengte).

Het maximale roergebruik per vaarsector condenseert de bevaarbaarheidsanalyse tot acht waarden voor opvaart en acht waarden voor afvaart op basis waarvan een globaal beeld bekomen kan worden over de evolutie van de bevaarbaarheid op de Westerschelde.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Situering.....	1
1.1 Evaluatiemethodiek.....	1
1.2 Nautische aspecten - bevaarbaarheid	1
1.3 Gecondenseerde bevaarbaarheidsparameters.....	3
2 Signaalparameters invloedslengte schip	4
3 Geografische analyse per vaarsector	9
3.1 Vaarsectoren	9
3.2 Maximale bevaarbaarheidsparameters per vaarsector	12
4 Roergebruik voor minst gunstige tijconditie	17
5 Beoordeling bevaarbaarheid	21
6 Samenvatting.....	22
7 Referenties	23

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor afstand tot referentietraject gemiddeld over invloedslengte voor opvaart in jaren 2011, 2015 en 2019.....	18
Tabel 2 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor roergebruik gemiddeld over invloedslengte voor opvaart in jaren 2011, 2015 en 2019	18
Tabel 3 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor afstand tot referentietraject gemiddeld over invloedslengte voor afvaart in jaren 2011, 2015 en 2019.....	19
Tabel 4 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor roergebruik gemiddeld over invloedslengte voor afvaart in jaren 2011, 2015 en 2019	19
Tabel 5 – Maximale roergebruik (gemiddeld over invloedslengte) per vaarsector als gecondenseerde parameter voor de bevaarbaarheid.	22

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Contourplots voor afstand tot traject en roergebruik voor opvaart in 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder)	2
Figuur 2 – Contourplots afstand tot traject opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen <i>et al.</i> (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslengte.	5
Figuur 3 –Contourplots roergebruik opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen <i>et al.</i> (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslengte.....	6
Figuur 4 – Contourplots afstand tot traject afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen <i>et al.</i> (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslengte.	7
Figuur 5 – Contourplots roergebruik afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen <i>et al.</i> (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslengte.....	8
Figuur 6 – Opdeling vaartraject Westerschelde in vaarsectoren	10
Figuur 7 – Opdeling vaartraject Westerschelde in vaarsectoren weergegeven voor opvaart 2019 lopend gemiddelde over invloedslengte	11
Figuur 8 –Contourplots afstand tot traject opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector.....	13
Figuur 9 – Contourplots roergebruik opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector	14
Figuur 10 – Contourplots afstand tot traject afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector.....	15
Figuur 11 – Contourplots roergebruik afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector	16
Figuur 12 – Contourplots roergebruik per vaarsector met aanduiding maximale conditie (O) als gecondenseerde bevaarbaarheidsparameter voor opvaart (links) en afvaart (rechts).....	20

1 Situering

1.1 Evaluatiemethodiek

6-jaarlijks wordt een evaluatie opgemaakt door de VNSC omtrent de toestand van het Schelde - estuarium, op basis van de drie hoofdfuncties: veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid. Deze evaluatie wordt opgemaakt op basis van een vooropgestelde evaluatiemethodiek (Holzhauer *et al.*, 2011). Na de T2015, de evaluatie van de monitoringsresultaten voor de periode 2010-2015, wordt gewerkt aan een actualisatie van deze evaluatiemethodiek, die zal toegepast worden in de evaluatie van de periode 2016-2021 (T2021). In het kader van deze actualisatie wordt door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) nagegaan of en hoe enkele parameters zouden toegevoegd kunnen worden in de evaluatiemethodiek voor het Schelde-estuarium. Hierbij wordt gekeken naar getijvoortplanting (bij stormen), nautische aspecten en sedimentbalans. In dit rapport wordt een methode verfijnd voor de evaluatiemethodiek van de nautische aspecten, onderdeel van de functie toegankelijkheid.

1.2 Nautische aspecten - bevaarbaarheid

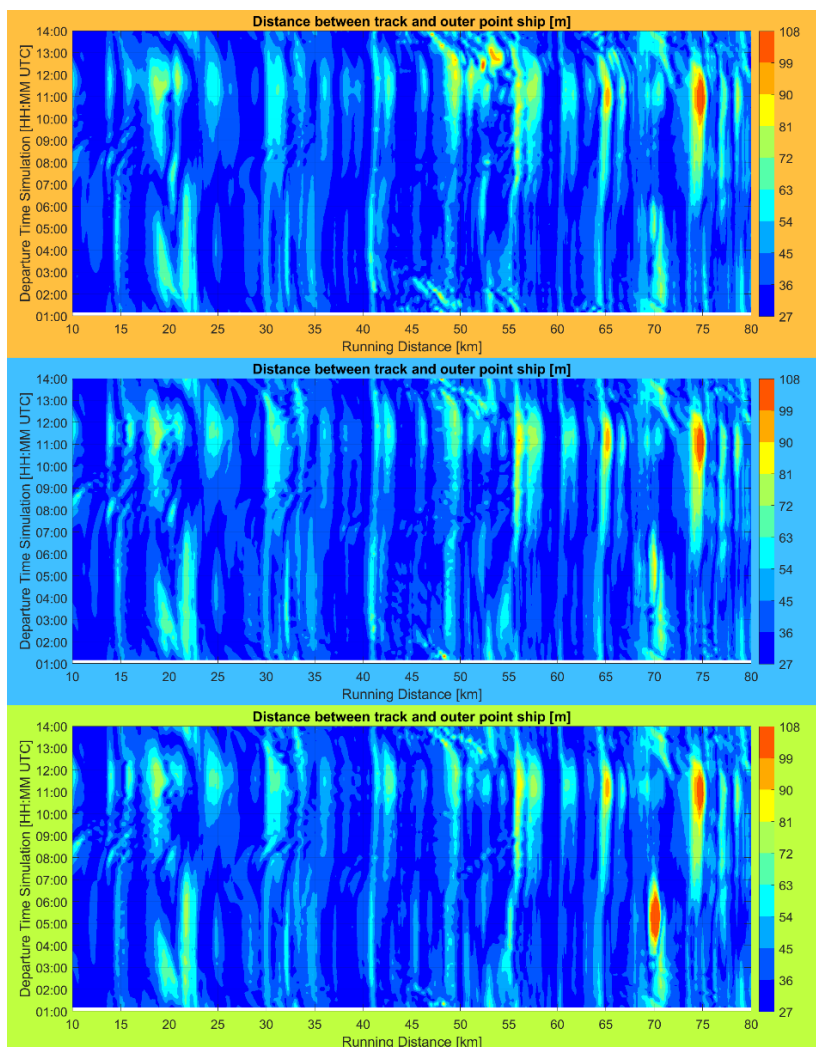
Ter beoordeling van de nautische aspecten, onderdeel van de functie toegankelijkheid, wordt een criterium voor de bevaarbaarheid van de Westerschelde ontwikkeld (opgenomen onder de nieuwe communicatie-indicator Hydrodynamiek van de geactualiseerde evaluatiemethodiek). In Verwilligen *et al.* (2022) ontwikkelde het Waterbouwkundig Laboratorium een methodologie om de bevaarbaarheid van een vaarweg te beoordelen op basis van fasttime vaarsimulaties. Het voorliggende rapport betreft een addendum op Verwilligen *et al.* (2022) en is er onlosmakelijk mee verbonden. Voor een correcte interpretatie van voorliggend rapport is kennis over Verwilligen *et al.* (2022) noodzakelijk. In Verwilligen *et al.* (2022) worden de signaalparameters afstand tot referentietraject (als maat voor het ruimtegebruik door het schip) en roergebruik (als maat voor de manoeuvreerreserve van het schip) gedefinieerd als maat voor de bevaarbaarheid. Voor deze twee parameters wordt per jaar een contourplot (zie Figuur 1) weergegeven in functie van de afstand langs het traject (horizontale as) en de tijconditie (verticale as). De bevaarbaarheid van de Westerschelde is immers afhankelijk van zowel de locatie (bochten, ondieptes en oevers) als van de tijconditie (waterstand en stroming). De contourplots van de signaalparameters tonen duidelijk de meest kritische condities. Zo stemt de locatie op 69 km omstreeks 05h00 overeen met de passage van Bocht van Bath bij laag water als de meest kritische conditie.

De methode laat toe om een kwalitatieve beoordeling van de bevaarbaarheid van een vaaromgeving uit te voeren en is aldus toepasbaar voor het vergelijken van verschillende scenario's (historische evolutie, toekomstige morfologische ontwikkelingen, bagger- en stortstrategieën).

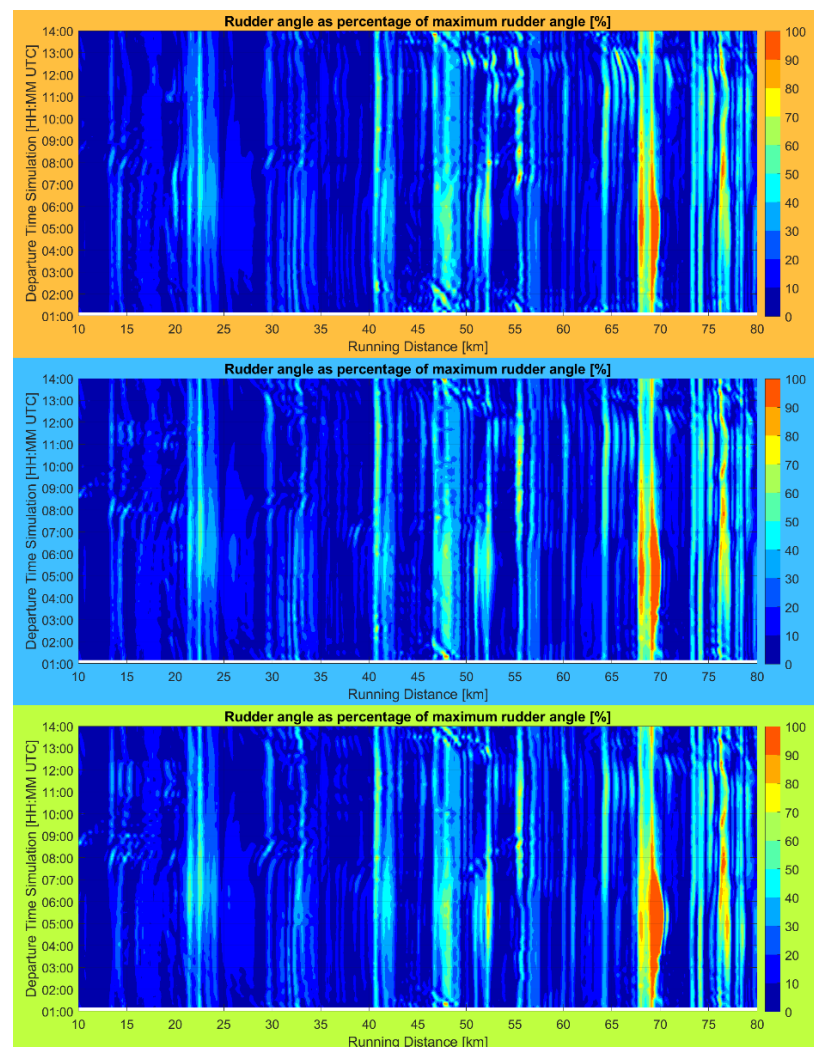
De methodologie werd toegepast op de bevaarbaarheid van de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde met als doel om opgenomen te worden in de evaluatiemethodiek van het Schelde-estuarium die zesjaarlijks uitgevoerd wordt onder leiding van de Vlaams-Nederlandse Schelde-Commissie. Ter illustratie van de evaluatiemethodiek werd de methodologie ingezet voor drie condities van het Schelde-estuarium overeenkomstig de jaren 2011, 2015 en 2019 (zie Figuur 1).

Voor meer details over de voorgestelde methodologie wordt verwezen naar Verwilligen *et al.* (2022).

Afstand tot traject (opvaart)



Roergebruik (opvaart)



Figuur 1 – Contourplots voor afstand tot traject en roergebruik voor opvaart in 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder) (Verwilligen *et al.*, 2022)

1.3 Gecondenseerde bevaarbaarheidsparameters

De output onder de vorm van contourplots (zie Figuur 1) gegenereerd in Verwilligen *et al.* (2022) laat een kwalitatieve analyse toe van de bevaarbaarheid van de Westerschelde. Op basis van deze contourplots kunnen evoluties in bevaarbaarheid inzichtelijk gemaakt worden en kan de oorzaak van de afwijkingen gerelateerd worden aan de bijhorende oorzaak. Zo blijkt de signaalparameter afstand tot referentietraject voornamelijk beïnvloed te worden door dwarsstroming, bochtmanoeuvres of door een belangrijke overschrijding van de manoeuvreerreserves. Een meer gedetailleerd inzicht in de manoeuvreerreserves, wordt geboden door de tweede signaalparameter roergebruik. Deze blijkt voornamelijk beïnvloed door de kielspeling, oevereffecten en langsstroming maar ook hier kan de invloed van dwarsstroming en de stromingsgradiënt waargenomen worden.

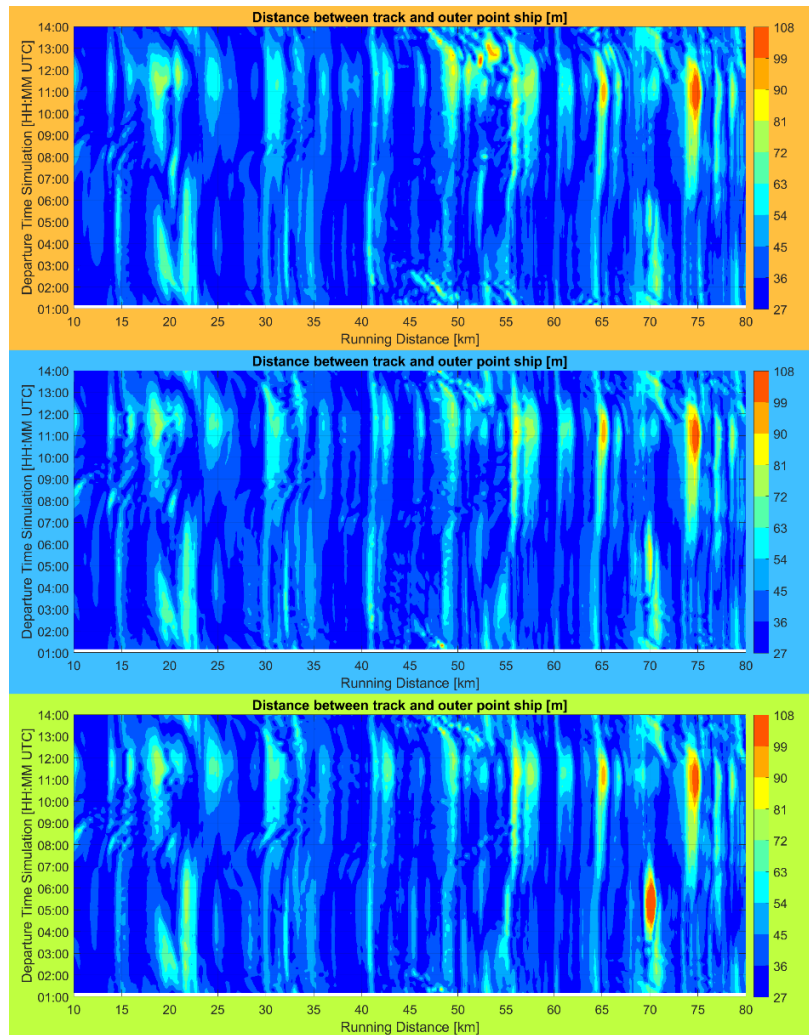
De interpretatie van de aangeboden figuren is echter complex en de historische evolutie van de bevaarbaarheid is niet eenvoudig af te leiden uit de grafische output. De opdrachtgever vroeg om de signaalparameters voor bevaarbaarheid op een meer gecondenseerde manier weer te geven. Hoewel gegrond, is deze vraag niet eenvoudig te beantwoorden. In het Schelde-estuarium wordt de bevaarbaarheid immers beïnvloed door een samenspel van verschillende parameters zoals onder andere bochten, vaarsnelheden, oevereffecten, (dwars)stromingen en kielspeling. Dit complexe samenspel laat zich moeilijk condenserend in één of een beperkt aantal beoordelingsparameters voor het volledige gebied.

2 Signaalparameters invloedslengte schip

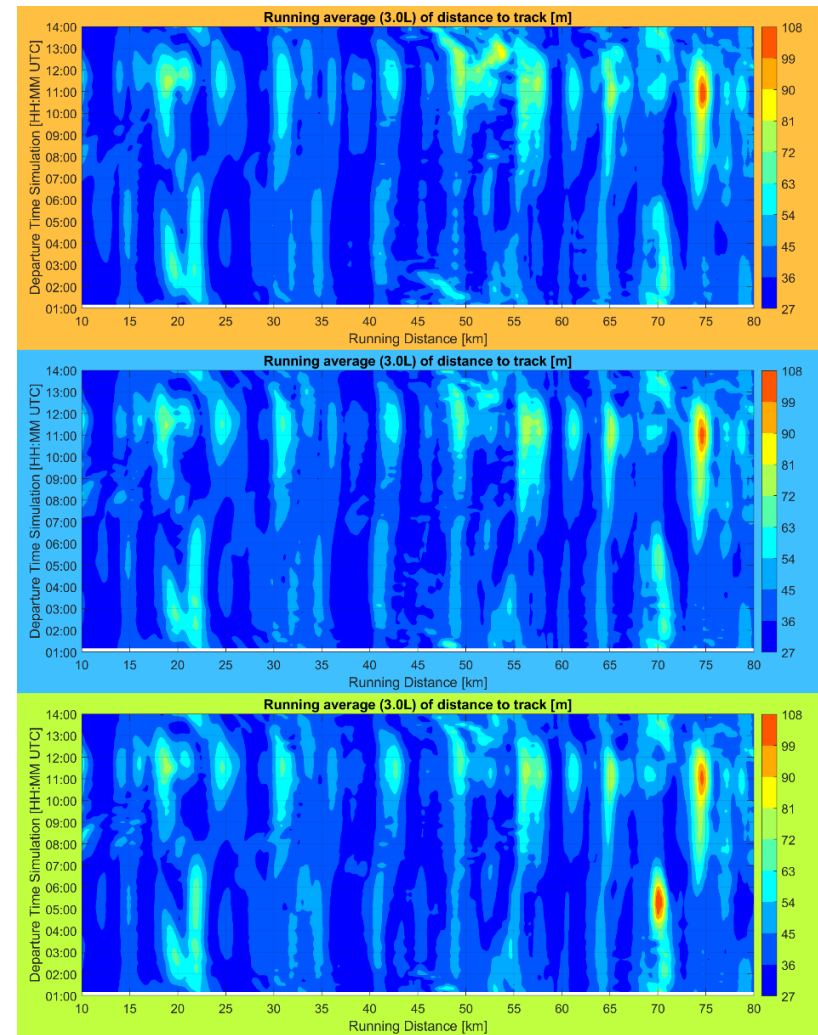
In eerste instantie werden de (**absolute waarden** van de) signaalparameters **gemiddeld** over een **invloedslengte** rond het schip. Hierbij werd de invloedslengte gedefinieerd als **drie scheepslengtes**, zijnde één scheepslengte voor het schip, de lengte van het schip zelf en één scheepslengte achter het schip. De toepassing van een invloedslengte stemt overeen met de aannames die in verband met de ruimte rond een schip gehanteerd worden in verkeersmodellen van zeevaart. Zo wordt de manoeuvreerzone in (Verwilligen *et al.*, 2021) gedefinieerd als één scheepslengte voor de boeg tot één scheepslengte na het hek (3L) en wordt in ten Hove *et al.* (2005) een veiligheidscontour gedefinieerd tussen 2.3L en 3.5L.

De resultaten van de verwerking van de signaalparameters op basis van invloedslengte ten opzichte van de originele verwerking uit Verwilligen *et al.* (2022) worden weergegeven in Figuren 2 tot 5. Door voor de signaalparameters een **lopend (absoluut) gemiddelde** te berekenen over de **invloedslengte** wordt (voornamelijk voor het roergebruik) een meer continu beeld van de signaalparameters over het vaartraject bekomen, waardoor deze middeling meer geschikt is voor het uitvoeren van een globale vergelijking. Desalniettemin gaat door een middeling over drie scheepslengtes de beoordeling van bevaarbaarheid verloren. De bevaarbaarheid van een rivier wordt immers bepaald door een roergebruik over een veel kortere afstand dan drie scheepslengtes. Zo wordt er aangenomen dat bij kritieke manoeuvres de loods minder dan 10 seconden de tijd heeft om te anticiperen op een onverwachte conditie. Een dergelijke tijdspanne stemt overeen met een vaarlengte gelijk aan ca. 60 m (bij snelheid 12 kn). De middeling over drie scheepslengtes dient dan ook beschouwd als een methode om globale veranderingen in de vaaromgeving die zich over langere afstand manifesteren (sedimentatie, dwarsstroom, neervorming) inzichtelijk te maken.

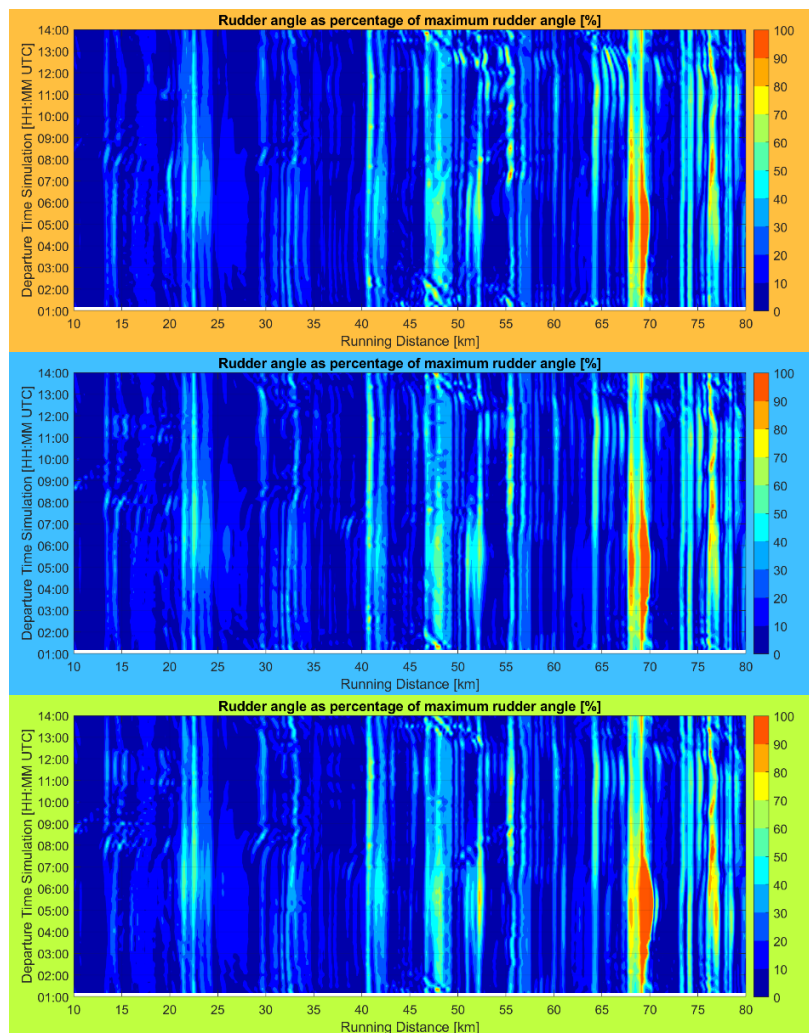
Afstand tot traject (opvaart)



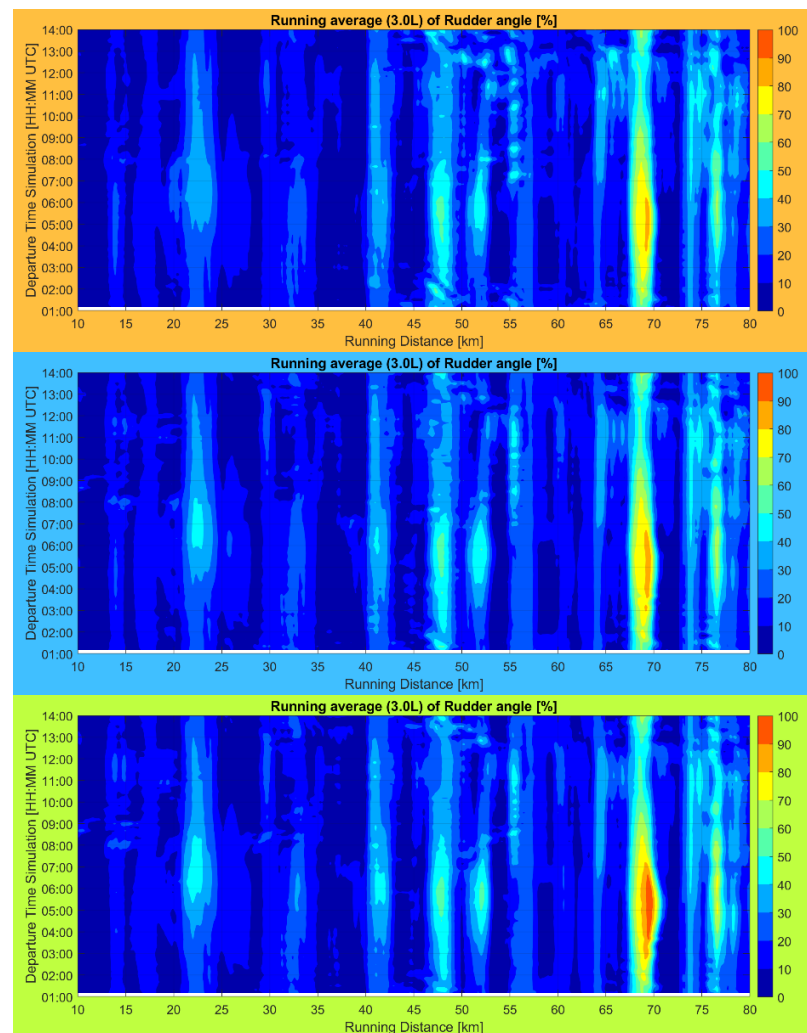
Middeling (3L) afstand tot traject (opvaart)

Figuur 2 – Contourplots afstand tot traject opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen *et al.* (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslenkte.

Roergebruik (opvaart)

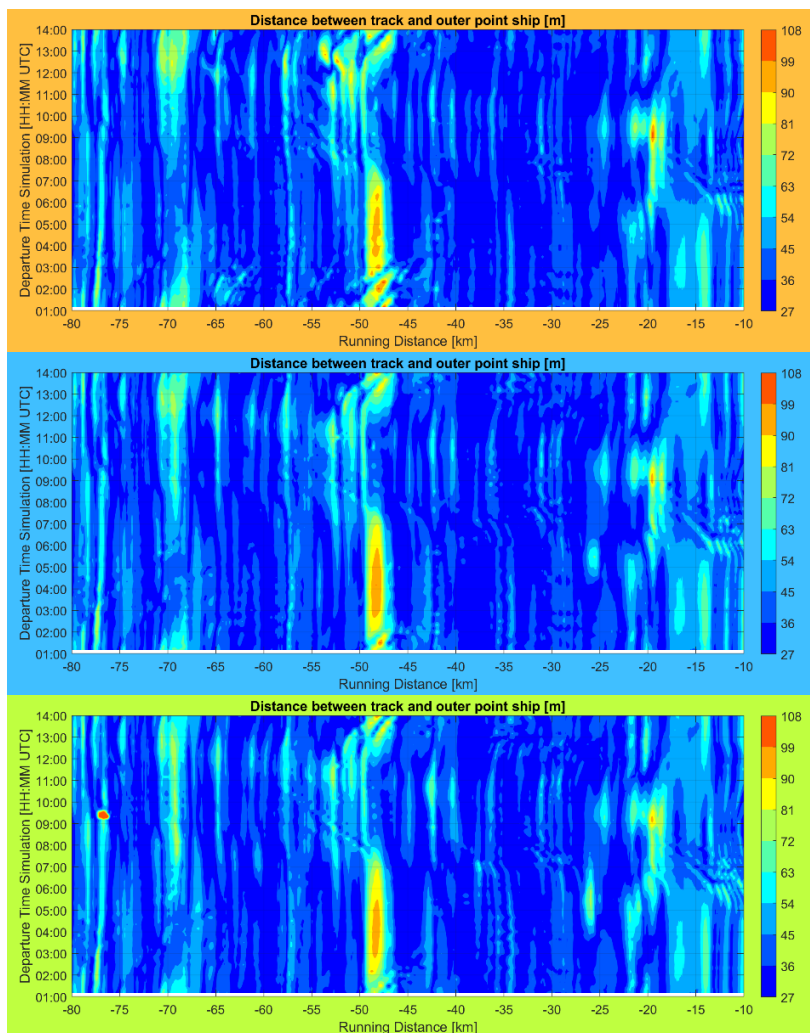


Middeling (3L) roergebruik (opvaart)

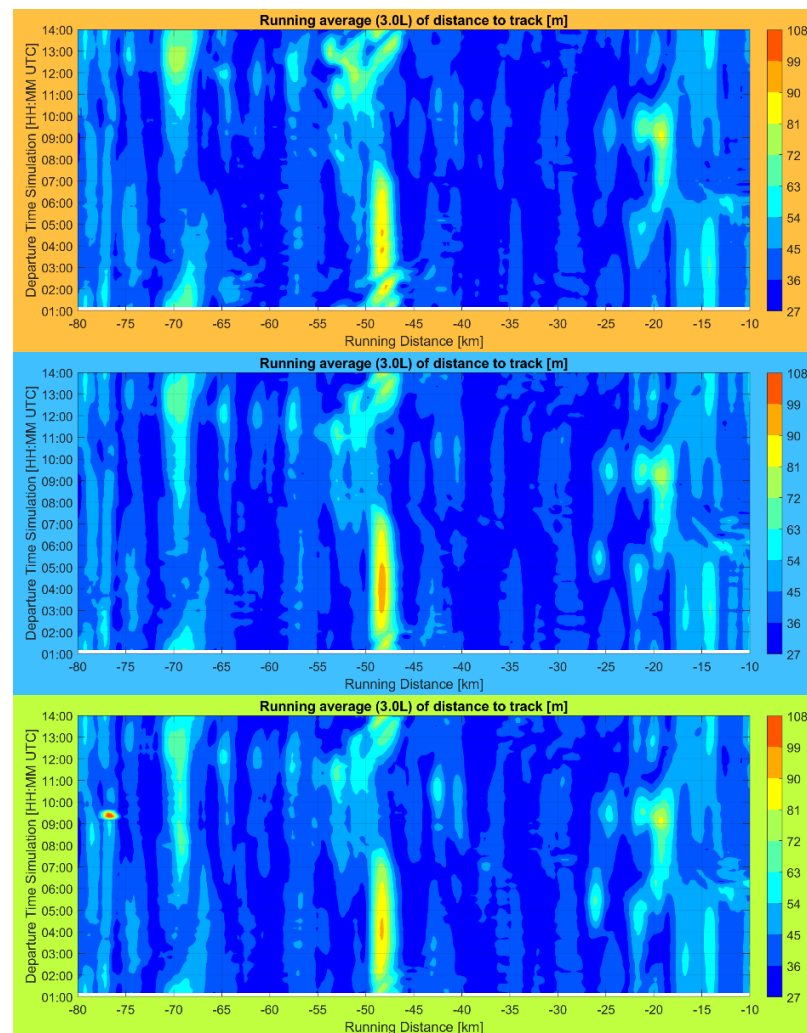


Figuur 3 –Contourplots roergebruik opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen *et al.* (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslengte.

Afstand tot traject (afvaart)

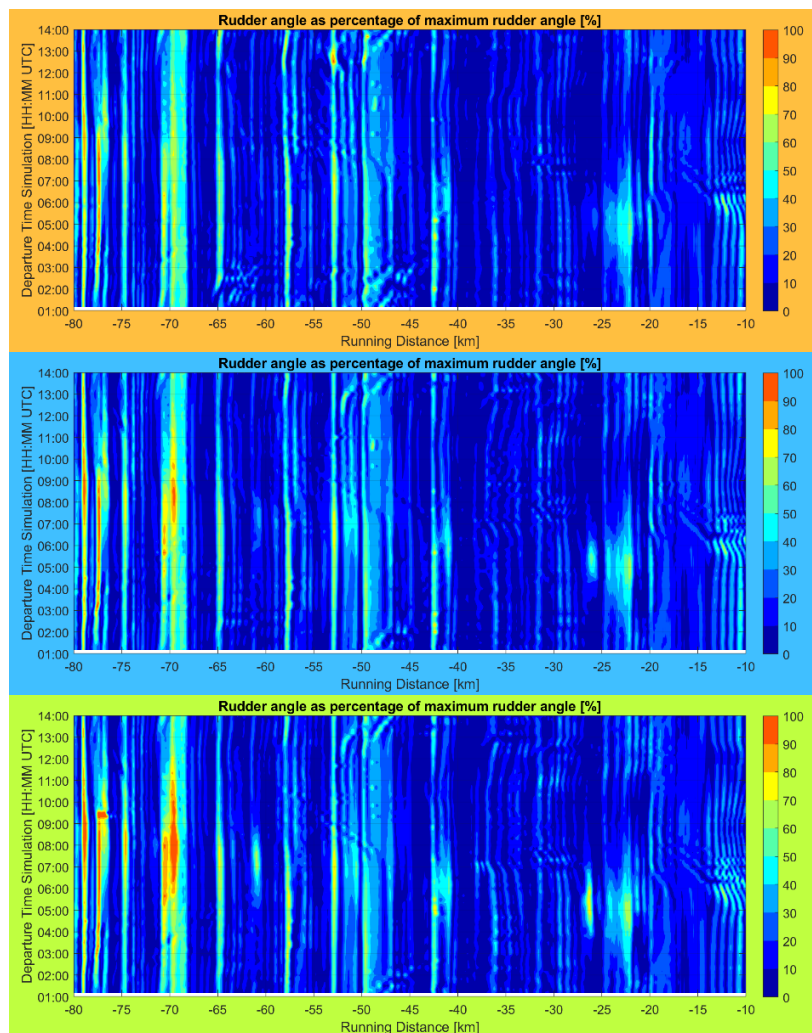


Middeling (3L) afstand tot traject (afvaart)

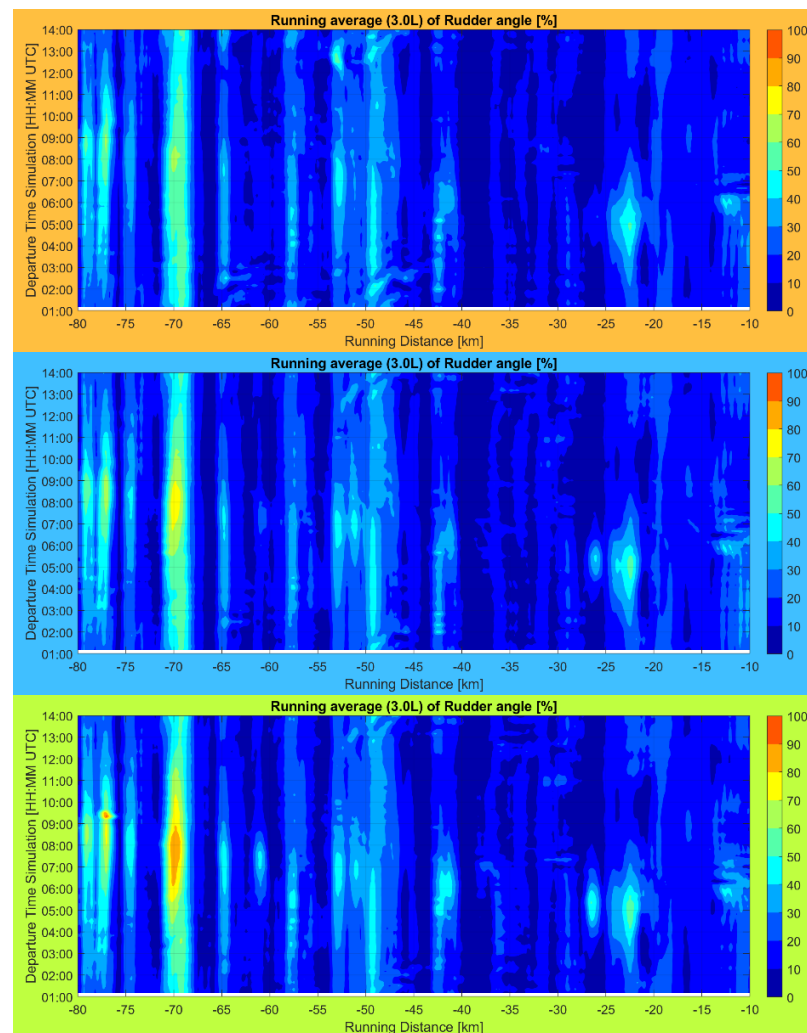


Figuur 4 – Contourplots afstand tot traject afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen *et al.* (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloedslengte.

Roergebruik (afvaart)



Middeling (3L) roergebruik (afvaart)



Figuur 5 – Contourplots roergebruik afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: output uit Verwilligen *et al.* (2022); Rechts: lopend gemiddelde over invloeds lengte.

3 Geografische analyse per vaarsector

Voor een verdere vereenvoudiging van de bevaarbaarheidsparameters wordt een evaluatie op basis van verschillende deelgebieden of vaarsectoren uitgevoerd.

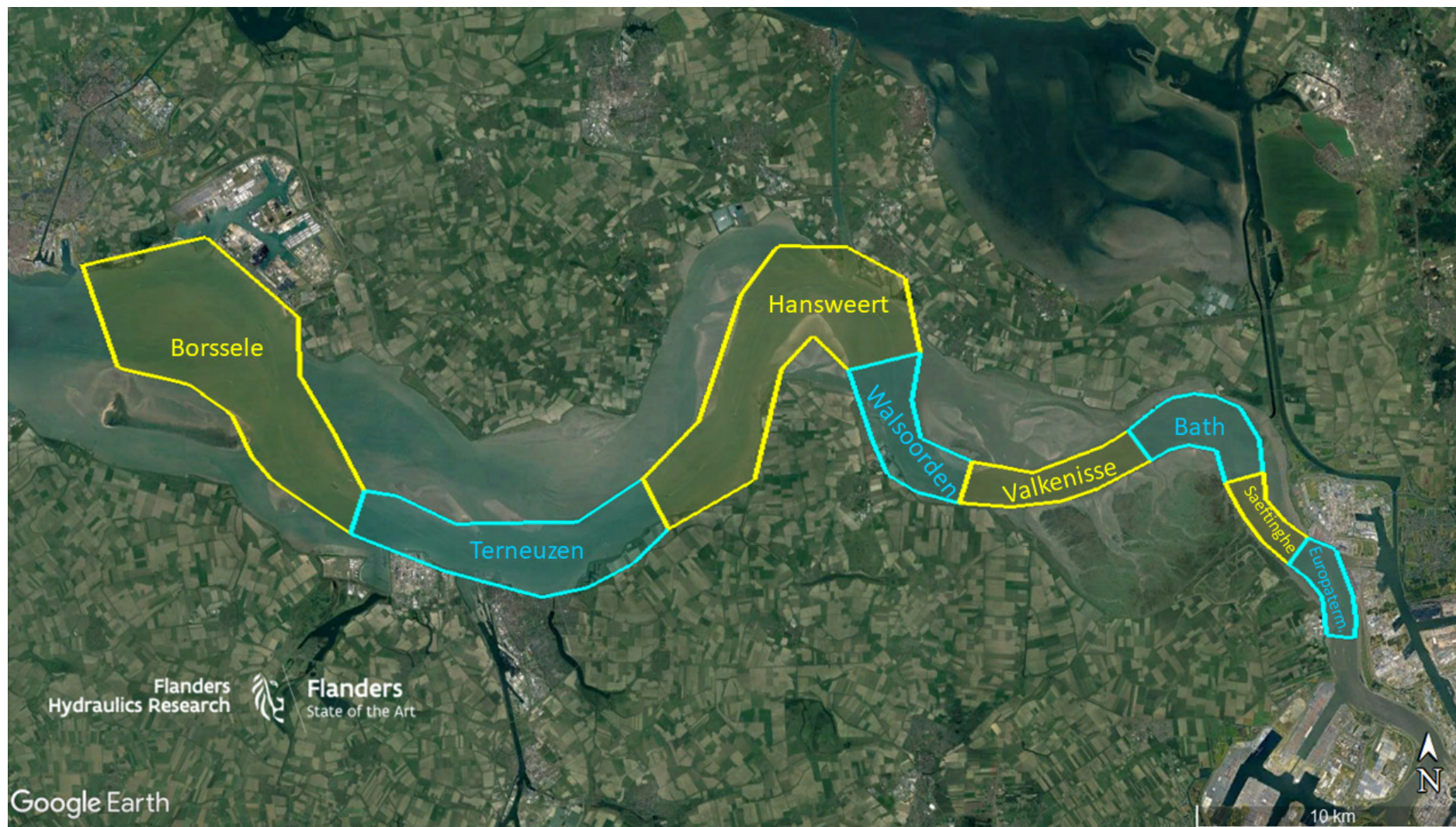
3.1 Vaarsectoren

Langsheen de Westerschelde kunnen verschillende vaargebieden geïdentificeerd worden die als nautisch belangrijk beschouwd kunnen worden. De oorzaak hiervan kan divers zijn. Zo gaan sommige vaargebieden gepaard met een belangrijke kromming van de vaargeul (bochten) al dan niet gecombineerd met beperkte bodemdiepte of vaarwegsectie en/of treden er belangrijke (dwars)stromingen op. Deze locaties worden vaak afgescheiden door passages op rechte stukken vaarweg, waarvoor er weinig uitdagingen liggen wat betreft de bevaarbaarheid maar waardoor hier vaak ontmoetingen tussen schepen georganiseerd worden (een aspect dat niet rechtstreeks meegenomen wordt in de beoordelingsmethodiek)

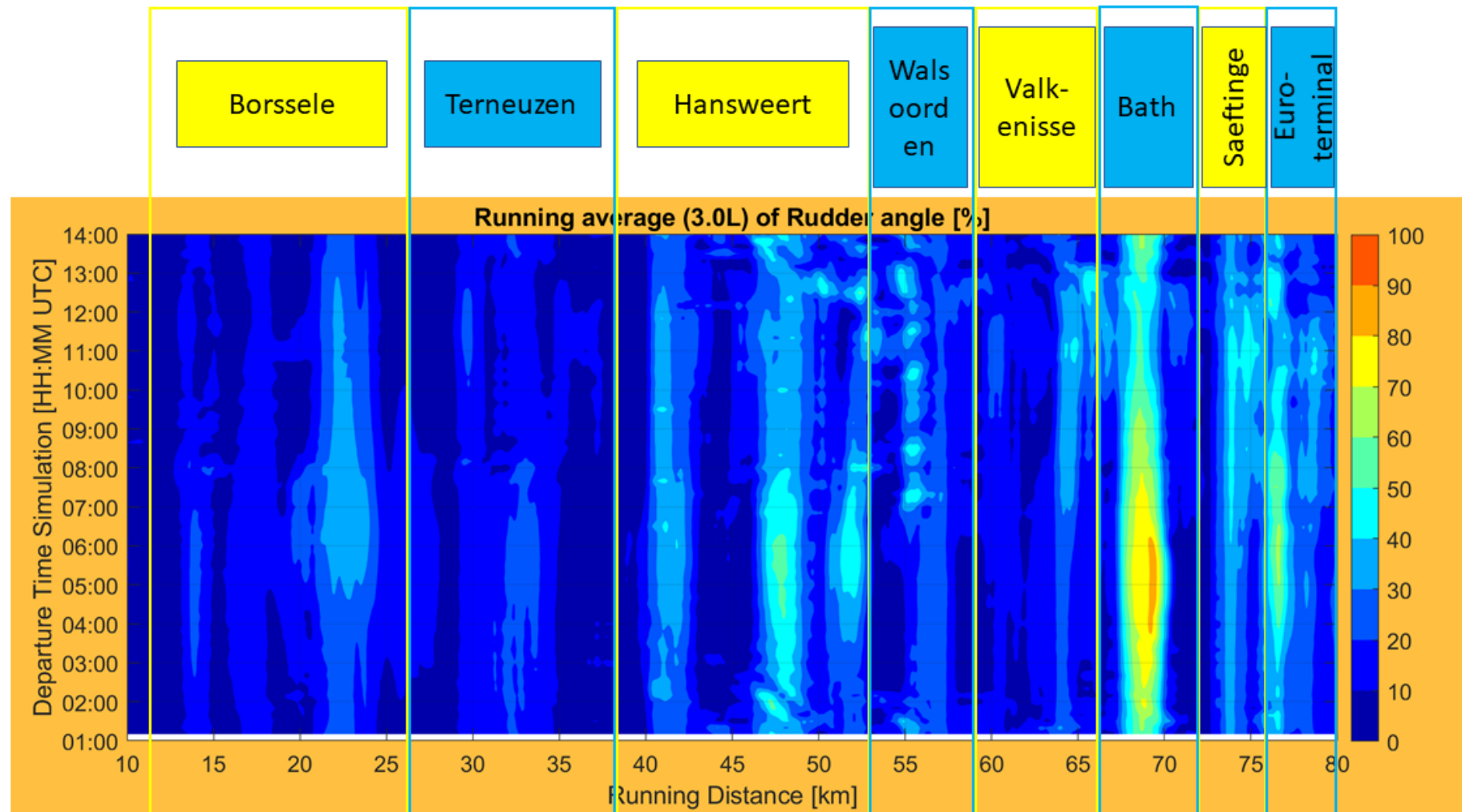
Om de bevaarbaarheid van verschillende nautisch belangrijke vaargebieden te identificeren wordt de vaarweg opgedeeld in verschillende vaarsectoren, in het kader van deze oefening. De grenzen van deze vaarsectoren gaan gepaard met rechte stukken vaartraject met beperkte dwarsstroom en binnen één vaarwegsector wordt aangenomen dat één manoeuvre of een opeenvolging van onderling gerelateerde manoeuvres uitgevoerd wordt. Omwille van deze redenen kan niet gewerkt worden met de typische opdeling van de Westerschelde in macrocellen (Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 2014), waar de grenzen in de bochten gedefinieerd zijn. De geïdentificeerde vaarsectoren worden weergegeven in Figuur 6 en betreffen:

1. Borssele: Mondingsgebied Westerschelde tussen Vlissingen en Pas van Borssele. Bochtmanoeuvres naar en passage van Pas van Borssele gelden hier als de belangrijkste manoeuvres.
2. Terneuzen: Pas van Terneuzen (afwaarts tot Braakmanhaven).
3. Hansweert: Gat van Ossensisse, Overloop van Hansweert en Bocht van Hansweert. Uitvoering bochtmanoeuvre en belangrijke (dwars)stroomsnelheden. De invloed van neervorming in het meest opwaartse deel van deze vaarwegsector.
4. Walsoorden: Bocht van Walsoorden. Belangrijkste knelpunt betreft het bochtmanoeuvre in combinatie met dwarsstroom en neer gecombineerd met een korte oeverafstand (voor opvaart) en een hinderlijke vloedstroom (bij afvaart).
5. Valkenisse: Overloop van Valkenisse en bocht van Valkenisse. Bochtmanoeuvre met relatief belangrijke dwarsstroom bij vloed.
6. Bath: Bocht van Bath. Bochtmanoeuvre met kleine boogstraal, beperkte vaarwegbreedte en beperkte kielspeling (met name voor tijafhankelijke diepgangen) in combinatie met dwarsstroom afwaarts de bocht.
7. Saeftinghe: Bocht van Saeftinghe met belangrijke vloedstroom naar buitenzijde bocht. In opvaart gecombineerd met snelheidsafbouw.
8. Europaterminal: Bocht Europaterminal in smalle vaarweg (met afgemeerde schepen aan Europaterminal) met steile oevers (groene kant) waarvan de oevereffecten het bochtmanoeuvre voor opvaart hinderen.

In Figuur 7 wordt de verdeling in vaarwegsectoren in functie van de baanafstand langsheen het opvarende referentietraject geïllustreerd voor de uitgemiddelde bevaarbaarheidsparameter roergebruik.



Figuur 6 – Opdeling vaartraject Westerschelde in vaarsectoren



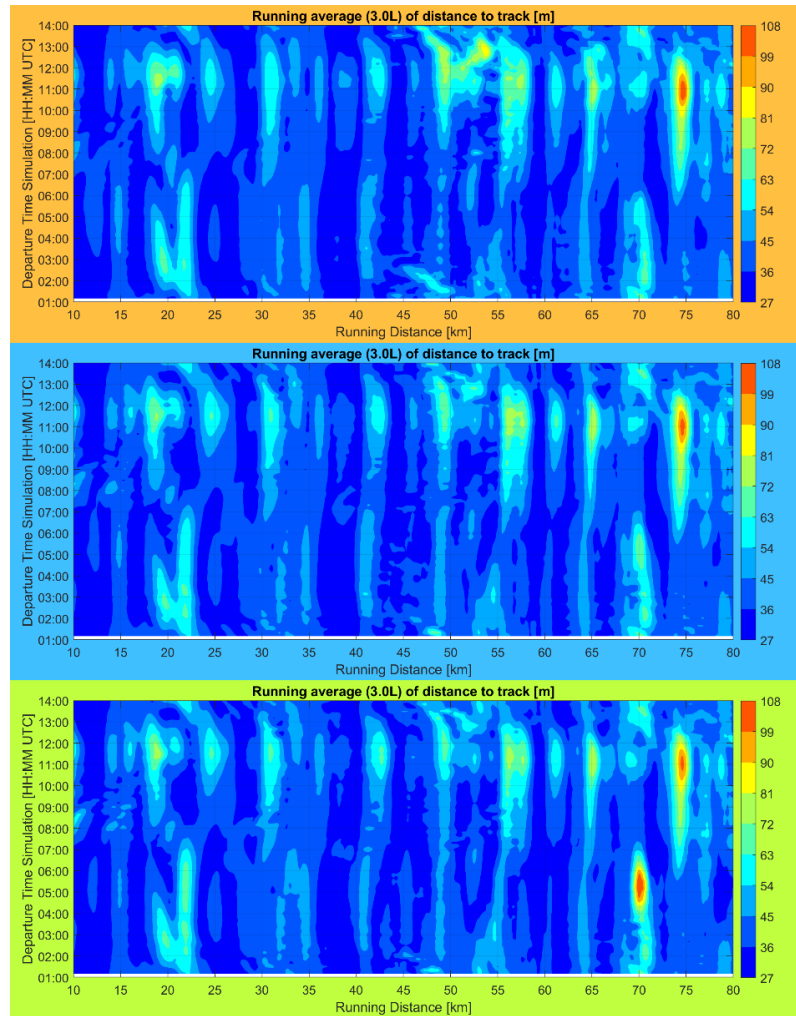
Figuur 7 – Opdeling vaartraject Westerschelde in vaarsectoren weergegeven voor opvaart 2019 lopend gemiddelde over invloedslengte

3.2 Maximale bevaarbaarheidsparameters per vaarsector

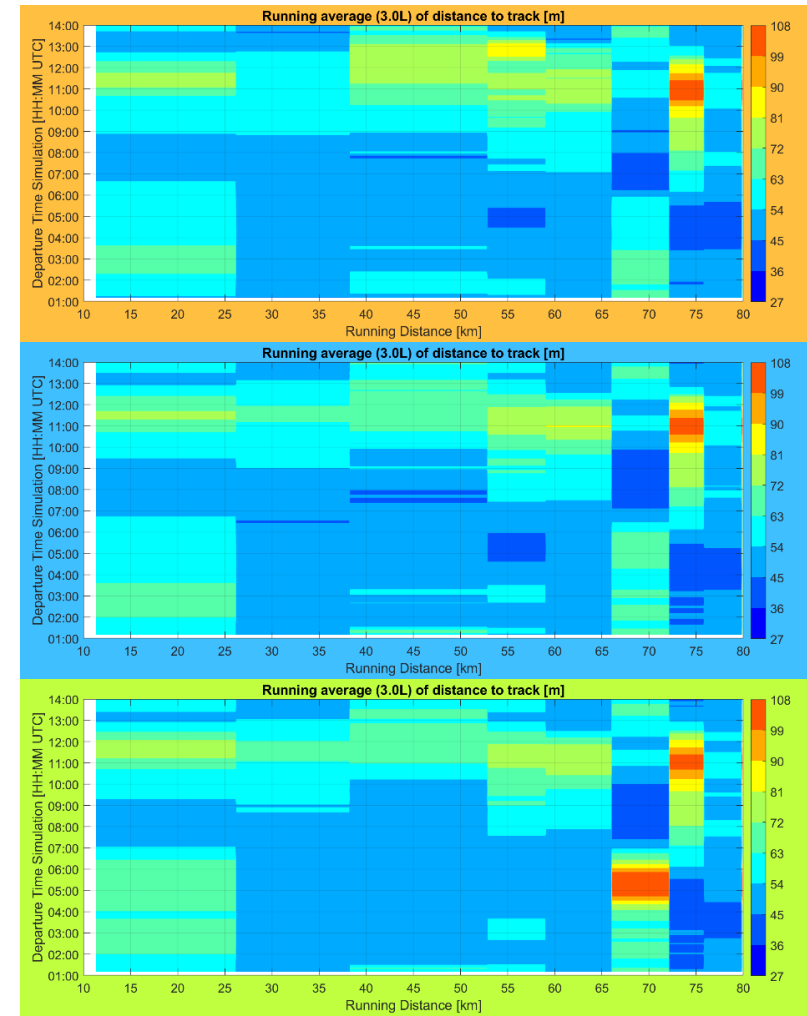
Per **vaarsector** wordt de **maximale waarde** overgehouden van de bevaarbaarheidsparameters die uitgemiddeld werden over de **invloedslengte** van het schip (zie H2). Er dient opgemerkt te worden dat de resultaten in een vaarsector ook deels bepaald kunnen worden door de omstandigheden in een aansluitende vaarsector aangezien aan de randen van de vaarsectoren de lopende gemiddeldes van de bevaarbaarheidsparameters tot anderhalve scheepslengte in een aansluitende vaarsector meegenomen worden.

De resultaten van de bevaarbaarheidsparameters per vaarwegsector worden in Figuren 8 tot 11 weergegeven (rechtse kolom) ten opzichte van de variatie van de gemiddelde bevaarbaarheidsparameters over de invloedslengte waaruit zij afgeleid werden (linkse kolom). Uit deze figuren blijkt dat de maximale waarden per vaarsector een goede discretisatie vormen van het continue verloop van deze bevaarbaarheidsparameters.

Middeling afstand tot traject (opvaart)

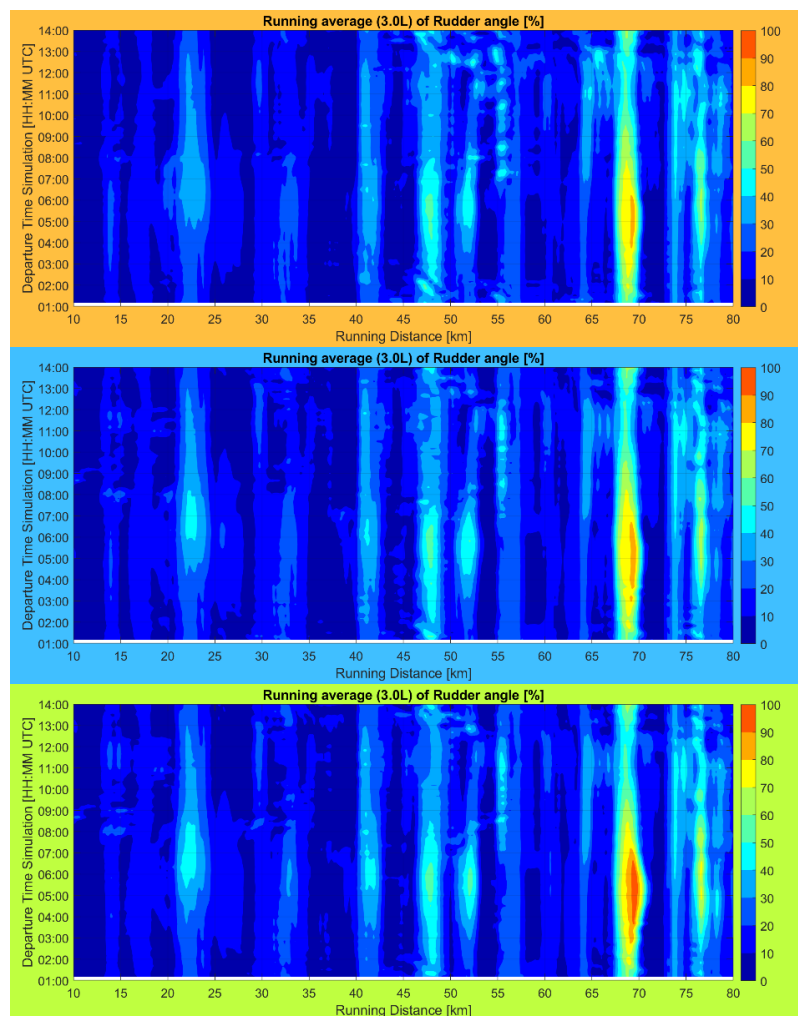


Maximum afstand tot traject per vaarsector (opvaart)

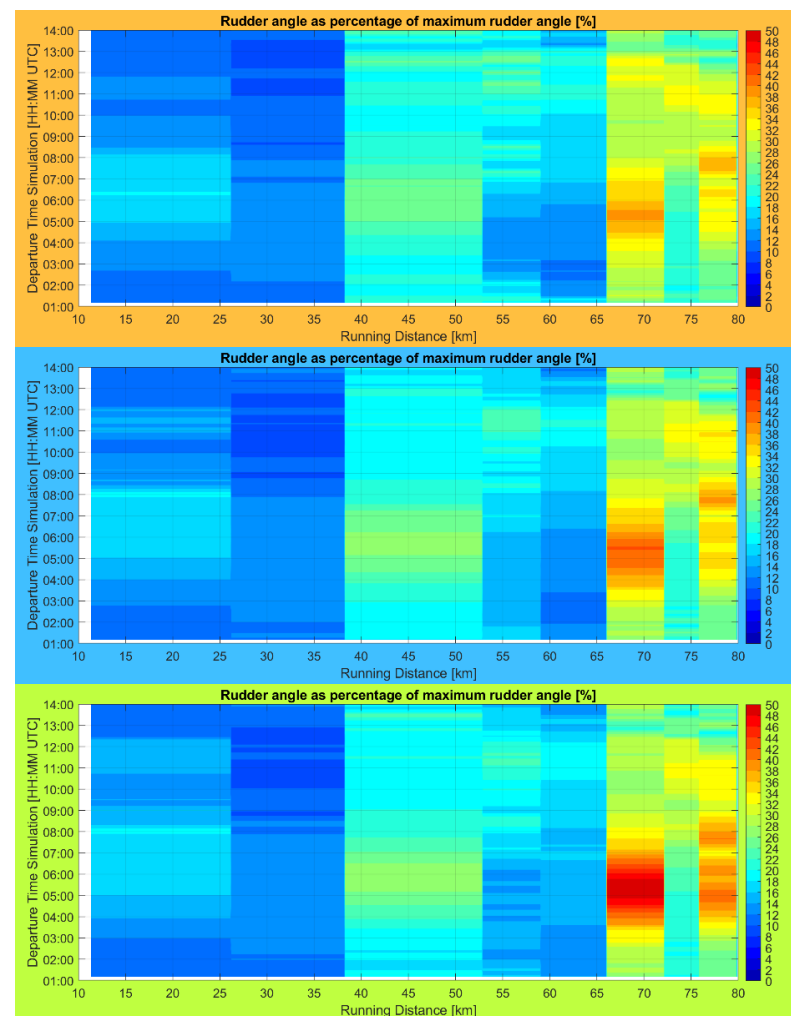


Figuur 8 –Contourplots afstand tot traject opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslenkte; Rechts: max per vaarsector

Middeling roergebruik (opvaart)

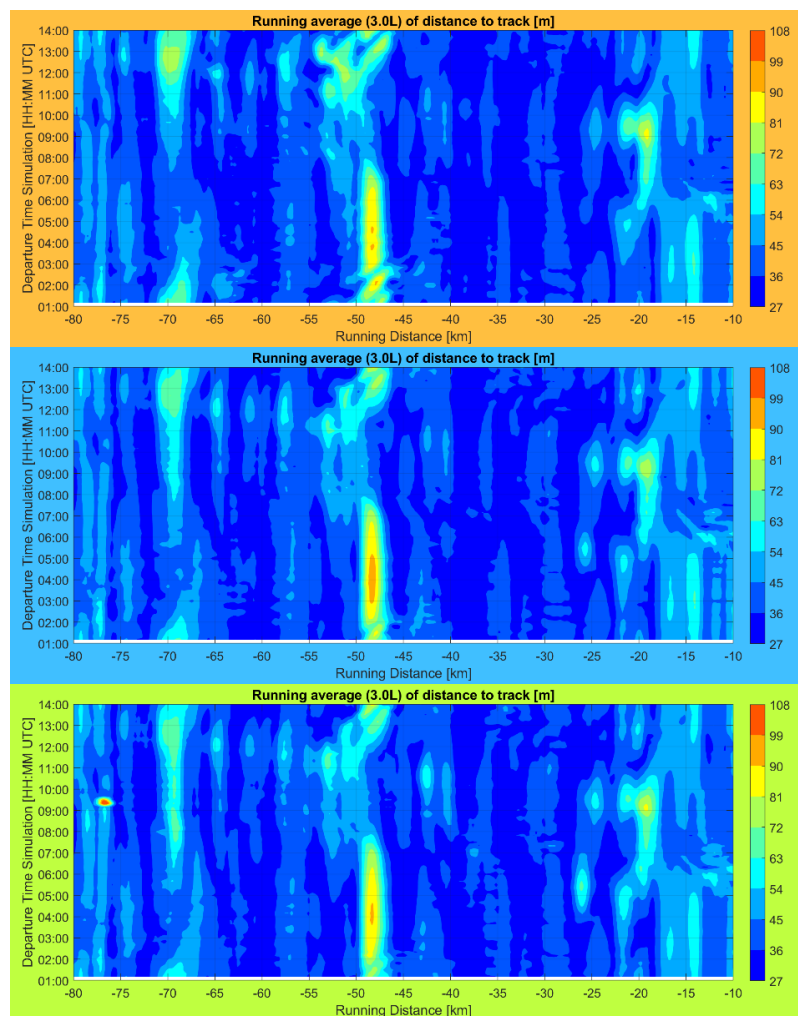


Maximum roergebruik per vaarsector (opvaart)

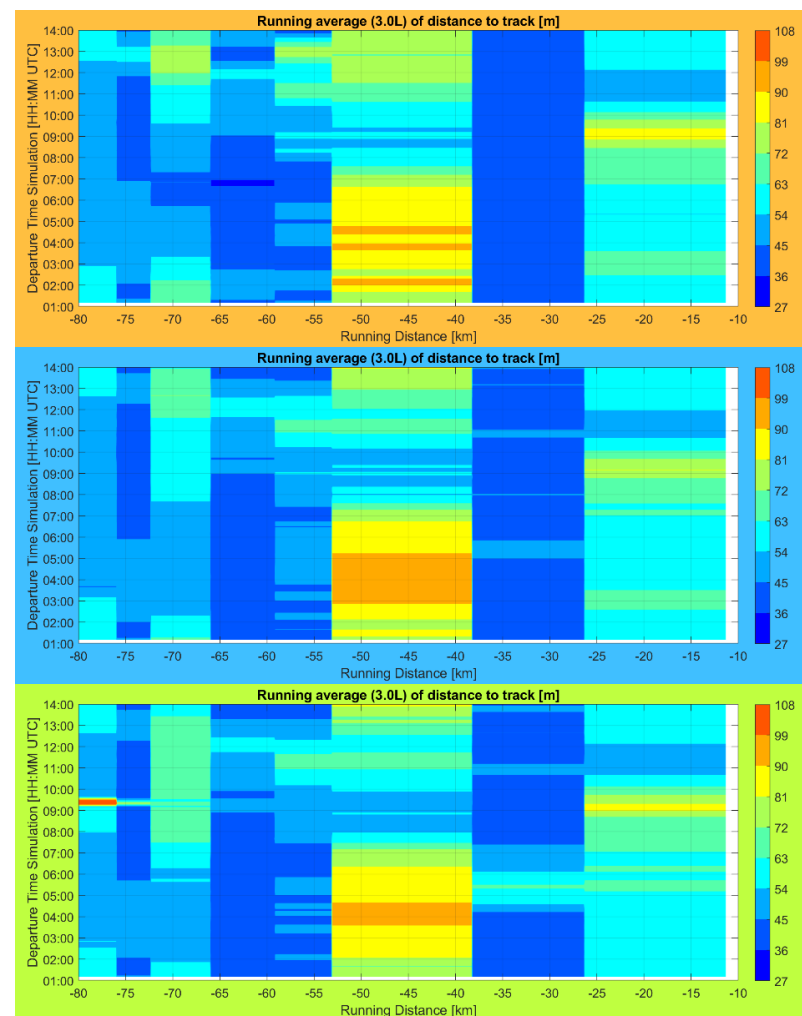


Figuur 9 – Contourplots roergebruik opvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector

Middeling afstand tot traject (afvaart)

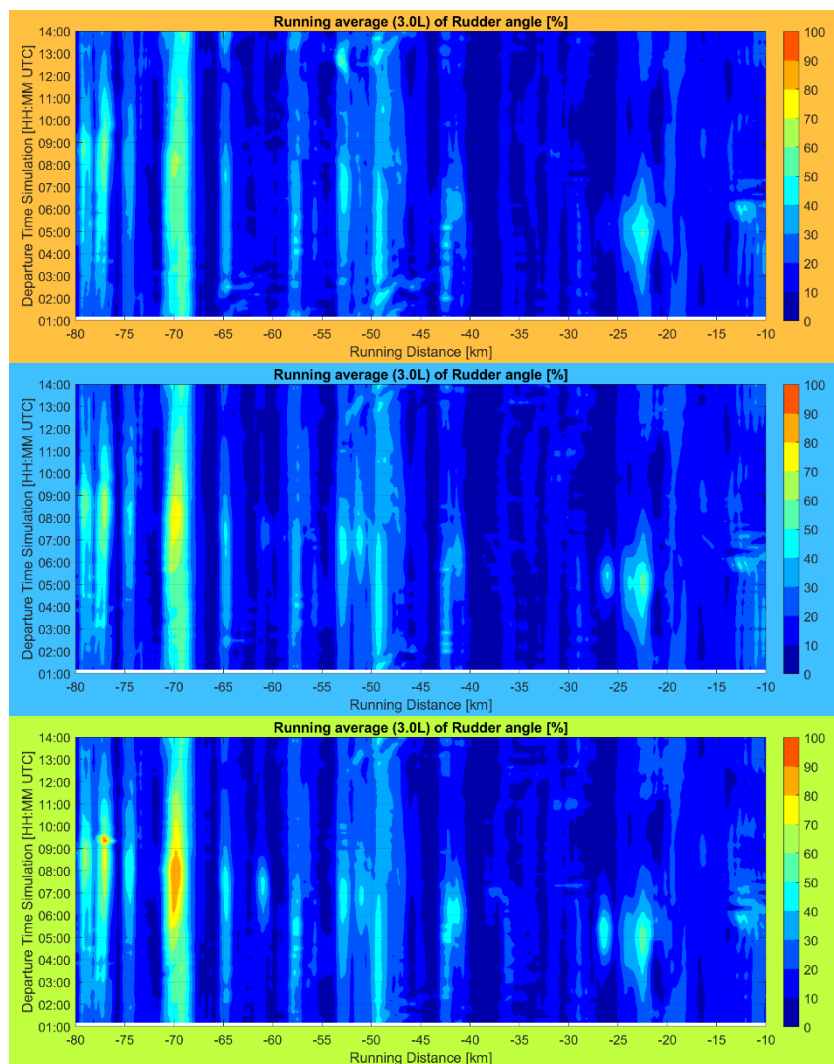


Maximum afstand tot traject per vaarsector (afvaart)

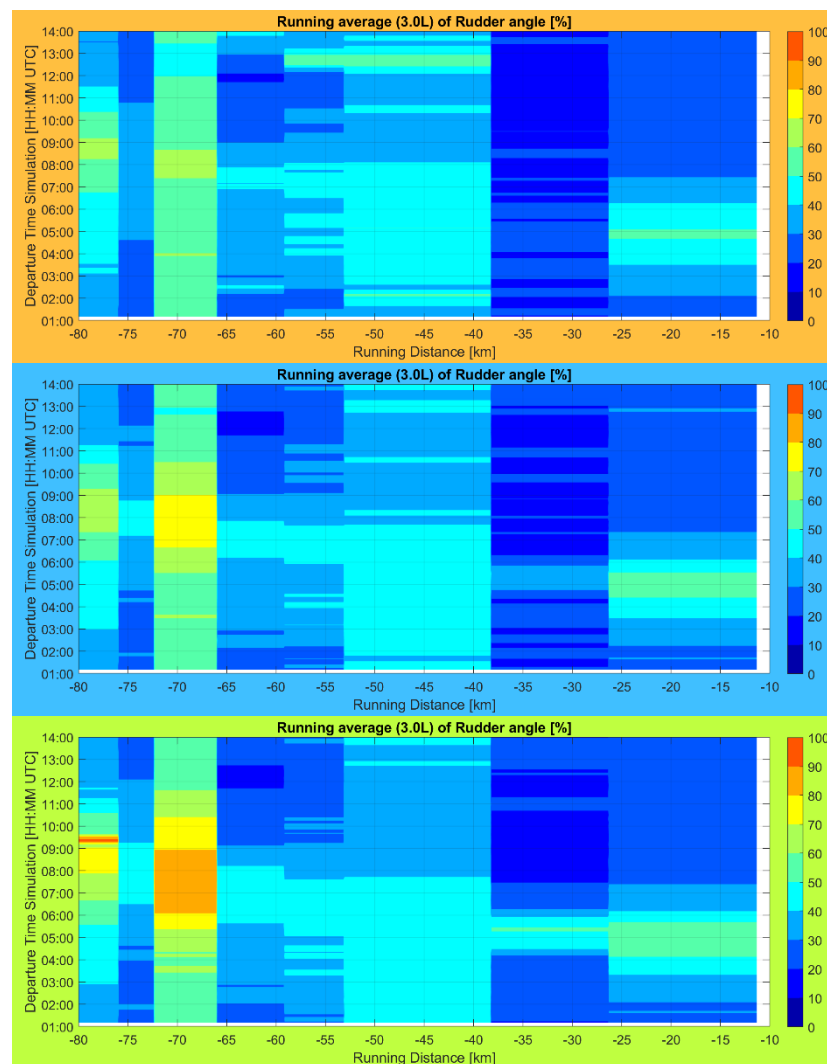


Figuur 10 – Contourplots afstand tot traject afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector

Middeling roergebruik (afvaart)



Maximum roergebruik per vaarsector (afvaart)



Figuur 11 – Contourplots roergebruik afvaart 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Links: lopend gemiddelde over invloedslengte; Rechts: max per vaarsector

4 Roergebruik voor minst gunstige tijconditie

Een belangrijke reden voor de moeilijke interpretatie van de bevaarbaarheidsparameters is de afhankelijkheid van zowel de geografische locatie (in H3 opgedeeld per vaarsector) als van de tijconditie. Hierdoor dienen de gegevens weergegeven te worden op een driedimensionele voorstellingswijze waarvoor in deze en eerdere rapportering een contourplot aangeboden wordt.

Om een verdere vereenvoudiging van de presentatie van de bevaarbaarheidsparameters toe te laten wordt voorgesteld om de **maximale waarde** van de parameter over de **volledige tijcyclus** toe te passen. Deze keuze heeft als nadeel dat negatieve evoluties in tijcondities die niet maatgevend zijn, niet ondervangen worden (en mogelijk wel een impact hebben op de bevaarbaarheid). Bovendien impliceert de methode dat de resultaten voor de twee bevaarbaarheidsparameters (roergebruik en afstand tot referentietraject) kunnen overeenstemmen met verschillende tijcondities of dat een vergelijking van een bevaarbaarheidsparameter over verschillende jaren niet noodzakelijk overeenstemt met dezelfde tijconditie.

De beperking van de presentatie tot de **minst gunstige tijconditie** dient dan ook beschouwd te worden als een middel om een globale beoordeling van de bevaarbaarheid te bekomen.

De resultaten van de gecondenseerde parameters voor de minst gunstige tijconditie per vaarsector laten toe om de resultaten voor verschillende historische condities nu in één tabel weer te geven. De resultaten worden weergegeven in Tabellen 1 en 2 voor opvaart en in Tabellen 3 en 4 voor afvaart.

De tabellen geven een duidelijke illustratie van de globale evolutie in de bevaarbaarheid van de verschillende vaarsectoren. Voor de Europaterminal geldt wel voorbehoud bij het afvarende resultaat uit 2011 aangezien dit verklaard wordt door het stoppen van de schroef in deze simulaties. Bijgevolg wordt dit resultaat verwijderd uit de samenvattende tabellen.

Er kan opgemerkt worden dat doorgaans beide bevaarbaarheidsparameters een gelijkaardige evolutie vertonen. Bijgevolg wordt voorgesteld om in een gecondenseerde weergave van de bevaarbaarheid enkel de parameter **roergebruik** te beschouwen. Dit kan gemotiveerd worden doordat een afwijking van het referentietraject altijd gecompenseerd zal worden door roergebruik, maar dat omgekeerd roergebruik niet noodzakelijk aanleiding zal geven tot een afwijking van het traject. Het roergebruik kan bijgevolg als een meer rechtstreekse parameter voor de bevaarbaarheid beschouwd worden.

Om bovenstaande methode verder te illustreren worden in Figuur 12 de contourplots voor het roergebruik per vaarwegsector weergegeven in combinatie met een aanduiding van die conditie (combinatie van geografische positie en tijconditie) die gepaard ging met het maximale roergebruik (gemiddeld over de invloeds lengte). Hieruit blijkt dat de minst gunstige conditie binnen een bepaalde vaarsector een belangrijke variatie kan vertonen in verschillende jaren. Als voorbeeld wordt gewezen op de situatie voor afvaart in de vaarsectoren Walsoorden en Hansweert, waarbij de maatgevende conditie in 2019 verplaatst naar de positie en tijconditie overeenkomstig de neervorming te Ossensisse (kort na hoog water), waar in de eerdere jaren de maatgevende tijcondities voor afvaart eerder bij eb of laag water plaatsvonden.

Tabel 1 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor afstand tot referentietraject gemiddeld over invloeds lengte voor opvaart in jaren 2011, 2015 en 2019

	Opvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) afstand tot traject [m]		
	2011	2015	2019
01_Borssele	75	73	75
02_Terneuzen	64	64	62
03_Hansweert	67	74	80
04_Walsoorden	78	79	89
05_Valkenisse	81	81	81
06_Bath	113	70	67
07_Saeftinghe	101	104	105
08_Europaterminal	58	61	62

Tabel 2 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor roergebruik gemiddeld over invloeds lengte voor opvaart in jaren 2011, 2015 en 2019

	Opvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) roergebruik [%]		
	2011	2015	2019
01_Borssele	45	43	40
02_Terneuzen	33	30	27
03_Hansweert	57	55	56
04_Walsoorden	45	47	48
05_Valkenisse	39	40	46
06_Bath	95	89	87
07_Saeftinghe	47	49	49
08_Europaterminal	74	68	64

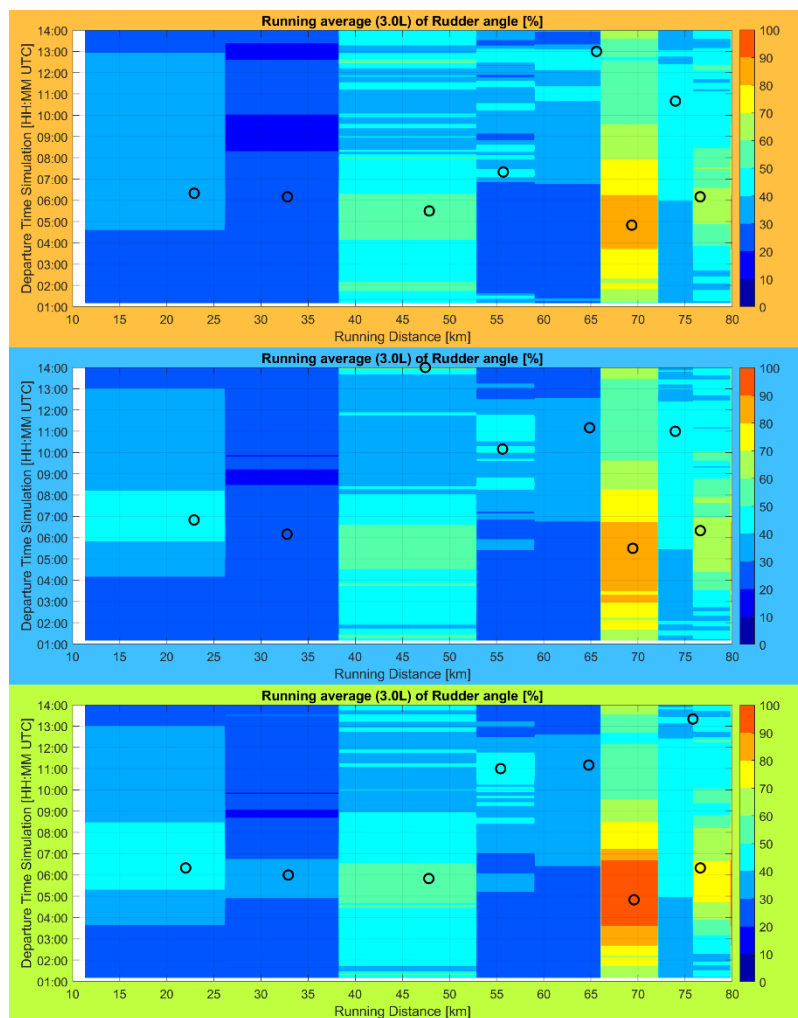
Tabel 3 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor afstand tot referentietraject gemiddeld over invloedslengte voor afvaart in jaren 2011, 2015 en 2019

	Afvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) afstand tot traject [m]		
	2011	2015	2019
01_Borssele	83	81	84
02_Terneuzen	63	49	44
03_Hansweert	91	95	92
04_Walsoorden	67	65	76
05_Valkenisse	57	57	57
06_Bath	70	72	77
07_Saeftinghe	78	51	57
08_Europaterminal	#N/B	58	59

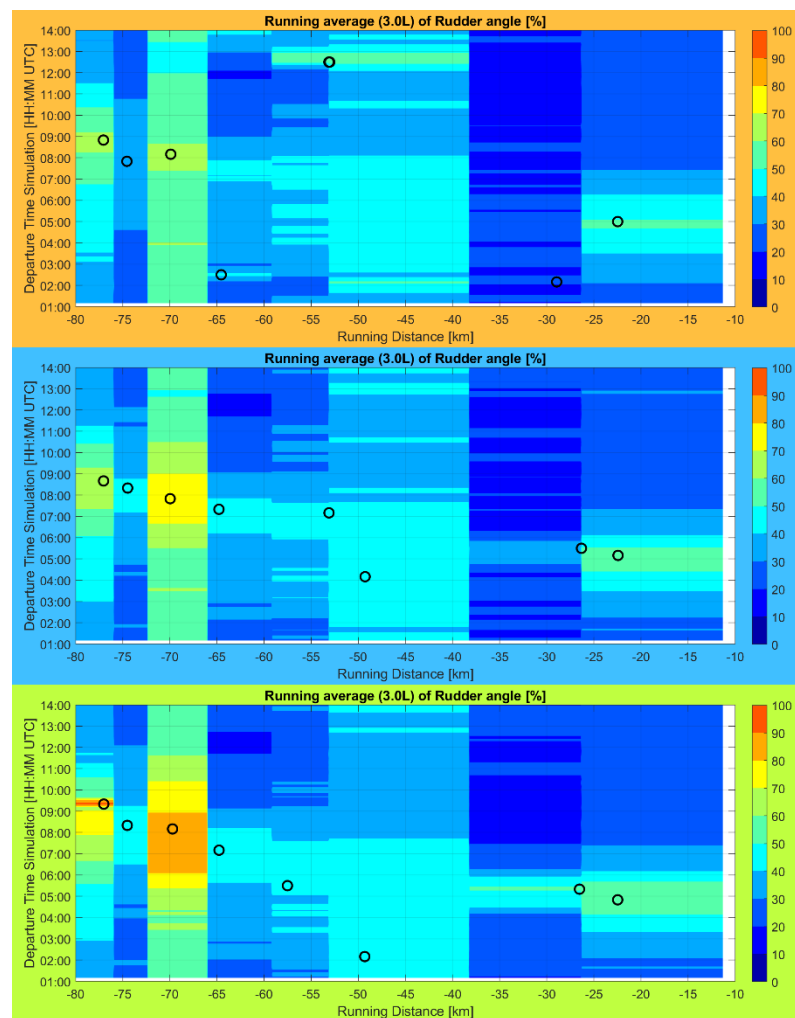
Tabel 4 – Maximale waarde schip per vaarwegsector en over volledige tijcyclus voor roergebruik gemiddeld over invloedslengte voor afvaart in jaren 2011, 2015 en 2019

	Afvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) roergebruik [%]		
	2011	2015	2019
01_Borssele	56	54	52
02_Terneuzen	51	39	25
03_Hansweert	50	48	54
04_Walsoorden	45	44	53
05_Valkenisse	46	42	44
06_Bath	89	78	64
07_Saeftinghe	49	43	40
08_Europaterminal	#N/B	68	62

Maximum roergebruik per vaarsector (opvaart)



Maximum roergebruik per vaarsector (afvaart)



Figuur 12 – Contourplots roergebruik per vaarsector met aanduiding maximale conditie (O) als gecondenseerde bevaarbaarheidsparameter voor opvaart (links) en afvaart (rechts)

5 Beoordeling bevaarbaarheid

Op basis van de gecondenseerde resultaten van het roergebruik voor zowel opvaart (Tabel 2) als afvaart (Tabel 4) kan een beoordeling van de bevaarbaarheid uitgevoerd worden.

Zo toont het maximale roergebruik voor de vaarsector Bath, zowel in op- als afvaart een gunstige evolutie van de bevaarbaarheid van de bocht van Bath (afname van het roergebruik). In Verwilligen *et al.* (2022) werd aangetoond dat dit veroorzaakt werd door een toename van de bodemdieptes in de bocht.

Op andere locaties is de evolutie van de bevaarbaarheid bij op- en afvaart minder eenduidig. Een toename van de vloedstroom en de bijhorende grotere dwarsnelheden geven aanleiding tot een ongunstige bevaarbaarheid bij opvaart voor de bochtmanoeuvres te Valkenisse. Bij afvaart is de evolutie van de bevaarbaarheid in deze bochten minder eenduidig en wordt te Valkenisse geen negatieve evolutie waargenomen. Er dient in dit verband opgemerkt te worden dat voor een bocht naar bakboord de oevereffecten de gierbeweging versterken en er dus een kleinere roerhoek nodig is om het bochtmanoeuvre uit te voeren. Dit verklaart mede het kleinere roergebruik door de bochten te Walsoorden, Valkenisse en Saeftinge in opvaart voor het jaar 2011. Over het algemeen blijkt dat de kleinere dieptes uit 2011 wel een groter roergebruik vereisten. Een sprekend voorbeeld hiervan is de situatie te Boei 12a in de sector Terneuzen waarbij in 2011 een steile oever op korte afstand van de boeienlijn aanleiding gaf tot een belangrijk roergebruik in afvaart.

Wanneer aandacht besteed wordt aan de evolutie van de bevaarbaarheid tussen 2015 en 2019 dan valt een ongunstige evolutie op voor de afvaart te Walsoorden en Hansweert. Deze bleek veroorzaakt te worden door de neervorming te Ossensisse zoals geïllustreerd in Figuur 12. Doordat de resultaten in Tabel 4 voor verschillende jaren overeenstemmen met verschillende tijcondities (en enkel in 2019 de neervorming maatgevend wordt) maskeren de resultaten de ongunstige evolutie van de bevaarbaarheid van deze specifieke tijconditie (ca. 30' na HW).

Tot slot kunnen de resultaten voor het maximaal roergebruik ook toegepast worden om die sectoren met het grootste vereiste roergebruik te definiëren. Zo blijkt de opvaart door de Bocht van Bath het meest kritische manoeuvre te zijn (deze beoordeling maakt vanzelfsprekend abstractie van enkele aspecten die eveneens een belangrijke invloed hebben op de nautische beoordeling zoals wind en scheepsinteracties). Voor de conditie 2019 blijkt een gelijkaardige bevaarbaarheid voor de opvaart langs de Europaterminal en de afvaart door de Bocht van Bath.

Hierbij dient echter ook rekening gehouden te worden met de vaarsnelheid die in de vaarsectoren gehanteerd wordt. Zo zullen sectoren waarin de snelheid afgebouwd wordt gepaard gaan met lagere toerentallen en bijgevolge een lagere roereffectiviteit die voor eenzelfde boogstraal een groter roergebruik vereist. Dit verklaart mede het eerder hoge roergebruik bij de afvaart van sector Borssele (de snelheid wordt hier afgebouwd in functie van de loodswissel te Vlissingen).

Algemeen kan gesteld worden dat het maximaal roergebruik per vaarsector een goede parameter blijkt om een globaal overzicht te bekomen van de bevaarbaarheid van de Westerschelde in op- en afvaart. Afwijkende resultaten dienen beoordeeld te worden op basis van een meer diepgaande analyse waarvoor in Verwilligen *et al.* (2022) de contourplots voor twee bevaarbaarheidsparameters in combinatie met detailplots van onderliggende simulaties toegepast worden.

6 Samenvatting

In Verwilligen *et al.* (2022) ontwikkelde het Waterbouwkundig Laboratorium een methodologie om de bevaarbaarheid van een vaarweg te beoordelen op basis van fasttime vaarsimulaties gestuurd door een track controller. Voor twee parameters (roergebruik en afstand tot referentietraject) werd per jaar en per vaarrichting (op- en afvaart) een contourplot gegenereerd in functie van de afstand langs het traject (horizontale as) en de tijconditie (verticale as). De bevaarbaarheid van de Westerschelde is immers afhankelijk van zowel de locatie (bochten, ondieptes en oevers) als van de tijconditie (waterstand en stroming), die op deze manier voorgesteld kon worden.

Om een meer globale beoordeling toe te laten werd een gecondenseerde bevaarbaarheidsparameter gezocht. In eerste instantie werd hiervoor een lopend gemiddelde berekend van de absolute waarde van de roerhoek over een invloedslengete rond het schip gelijk aan drie scheepslengtes (1 scheepslengte voor en 1 scheepslengte achter het schip). Vervolgens werd de vaarweg opgedeeld in acht vaarsectoren waarbinnen de bevaarbaarheid apart beoordeeld werd op basis van de maximale waarde van de (uitgemiddelde) roerhoek binnen de vaarsector en van de minst gunstige tijconditie. Aldus werd een beoordeling bekomen van de maximale roerhoek per vaarsector zoals weergegeven in Tabel 5¹ voor op- en afvaart.

De maximale roerhoek per vaarsector blijkt een geschikte parameter voor de globale vergelijking van de bevaarbaarheid van verschillende sectoren in op- en afvaart. Een verdere condensatie van de bevaarbaarheidsparameter (bijvoorbeeld tot één cijfer per jaar) wordt niet mogelijk geacht.

Om de oorzaak te achterhalen van een veranderende bevaarbaarheid van een vaarsector op basis van het maximale roergebruik is een meer diepgaande analyse van de vaarsimulaties vereist, gelijkaardig aan deze uitgevoerd in Verwilligen *et al.* (2022). Om de relatie tussen de maximale roerhoek en de contourplots weer te geven kunnen de maatgevende condities (precieze locatie en tijconditie) die gepaard gaan met het maximale roergebruik aangeduid worden op de contourplots uit Verwilligen *et al.* (2022), zie Figuur 12.

Tabel 5 – Maximale roergebruik (gemiddeld over invloedslengete) per vaarsector als gecondenseerde parameter voor de bevaarbaarheid.

	Opvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) roergebruik [%]		
	2011	2015	2019
01_Borssele	45	43	40
02_Terneuzen	33	30	27
03_Hansweert	57	55	56
04_Walsoorden	45	47	48
05_Valkenisse	39	40	46
06_Bath	95	89	87
07_Saeftinghe	47	49	49
08_Europaterminal	74	68	64

	Afvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) roergebruik [%]		
	2011	2015	2019
01_Borssele	56	54	52
02_Terneuzen	51	39	25
03_Hansweert	50	48	54
04_Walsoorden	45	44	53
05_Valkenisse	46	42	44
06_Bath	89	78	64
07_Saeftinghe	49	43	40
08_Europaterminal	#N/B	68	62

¹ Deze resultaten worden ook weergegeven in Tabel 2 en Tabel 4.

7 Referenties

Holzhauer, H.; Maris, T.; Meire, P.; van Damme, S.; Nolte, A.; Kuijper, J.; Taal, M.; Jeuken, C.; Kromkamp, J.; van Wesenbeeck, B.; Van Ryckegem, G.; Van den Bergh, E.; Wijnhoven, S. (2011). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium Fase 2

ten Hove, D.; Laforce, E.; Blaauw, H.G. (2005). Vrije ruimte rond schepen op de Schelde. Rijkswaterstaat. Directie Zeeland: Middelburg

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2021). Generiek model manoeuvreerbreedte scheepvaart Beneden-Zeeschelde: eindrapport. Versie 5.0. *WL Rapporten*, 20_074_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Plancke, Y.; Meire, D. (2022). Actualisatie evaluatiemethodiek Schelde-Estuarium: deelrapport 2. Bevaarbaarheid. Versie 5.0. *WL Rapporten*, 19_065_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=349541>

Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie. (2014). T2009-Rapport Schelde-Estuarium

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