

MIRT Verkenning Kustontwikkeling Eemshaven

**Nautische veiligheid (zeef 2)
Provincie Groningen**

25 september 2023 - Confidential

Contactpersoon

MARK BOS
Nautisch specialist

M +31 6 21401303
E mark.bos@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

PIET RIEMERSMA
Projectmanager

T +31 6 20544382
E piet.riemersma@sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Rozenburglaan 11
9727 DL Groningen
Nederland

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond en aanleiding	5
1.2	Alternatieven	6
1.3	Doelstelling	6
1.4	Onderzoeksvragen	6
1.5	Aanpak	6
2	Stromingssimulaties	8
2.1	Modellering	8
2.2	Resultaten	8
2.2.1	Stroomsnelheden	8
2.2.2	Waterstandsverlaging	10
3	Nautische beoordeling	12
3.1	Nautische kwaliteit	12
3.1.1	Vergelijkbare praktijksituaties	12
3.1.2	Stroomsnelheid	12
3.1.3	Simulatoronderzoek	12
3.1.4	Verkeersbegeleiding	13
3.2	Manoeuvreeigenschappen bij stroming en waterstandsverlaging	14
3.2.1	Stroming	14
3.2.2	Waterstandsverlaging	14
3.3	Beschouwde scenario's	14
3.3.1	Splitsing Eemskanaal met Oosterhornkanaal: Van Groningen richting Weiwerderbrug	15
3.3.2	Splitsing Eemskanaal met Oosterhornkanaal: Van Weiwerderbrug richting Zeesluis Farmsum	15
3.3.3	Oosterhornkanaal en Oosterhornhaven: Weiwerderbrug richting Oosterhornhaven (bochtencombinatie)	16
3.3.4	Eemskanaal: Vanuit Farsumerhaven richting Groningen	17
4	Conclusies	18

5	Beantwoording onderzoeksvragen	19
----------	---------------------------------------	-----------

6	Literatuur	20
----------	-------------------	-----------

Tabellen

Tabel 1	Spuidebieten en stromingsdebieten voor de verschillende stromingssommen en bijbehorende alternatief binnen het project	8
Tabel 2	Waterstanden in meter t.o.v. NAP en tussen haakjes verschil in waterstand met Groningen	10

Figuren

Figuur 1	Projectgebied MIRT-verkenning Eemszijlen	5
Figuur 2	Stroomsnelheden voor som 1 - Maximum spuidebiet bij alternatief 3	9
Figuur 3	Stroomsnelheden voor som 3 - Maximum spuidebiet bij alternatief 2 (winter)	9
Figuur 4	Stroming bij splitsing Eemskanaal - Oude Eemskanaal	10
Figuur 5	Verkeerslichten Oosterhornhaven nabij Evonik	13
Figuur 6	Manoeuvresimulatie run #3 (links) en stroming van som 1 (rechts)	15
Figuur 7	Manoeuvresimulatie run #12 (links) en stroming van som 1 (rechts)	16
Figuur 8	Manoeuvresimulatie run #5	16

Bijlagen

Bijlage A	Resultaten stromingsberekeningen	21
------------------	---	-----------

Bijlage B	Memo Eemszijlen spuidebieten	22
------------------	-------------------------------------	-----------

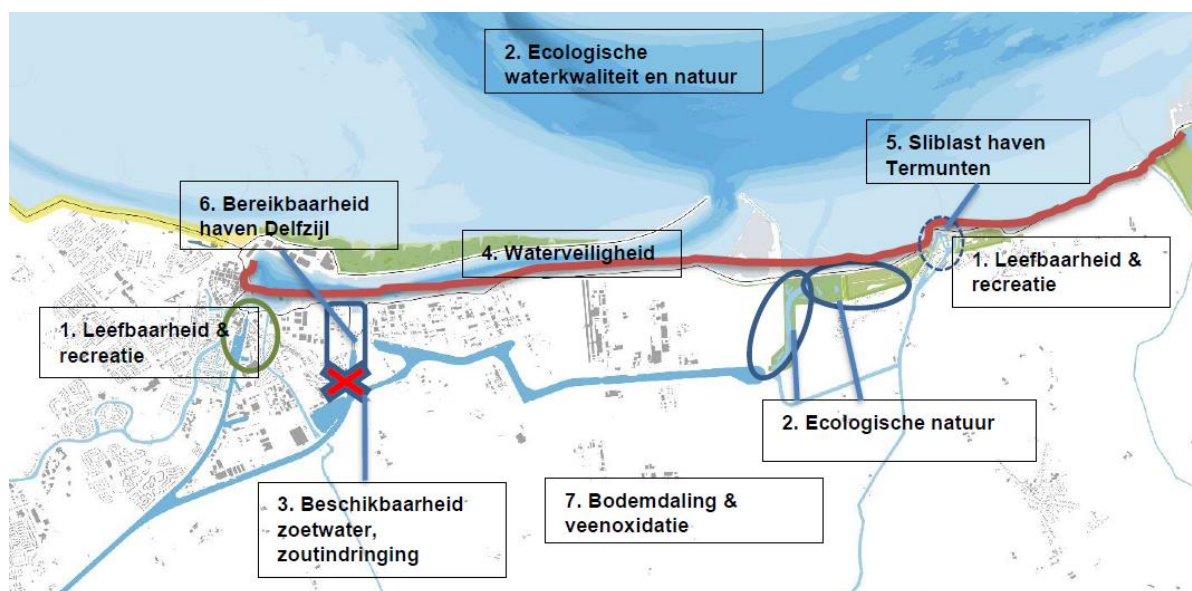
Colofon	23
----------------	-----------

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Voor het project Kustontwikkeling Eemszijlen (hierna Eemszijlen genoemd) wordt in opdracht van het Rijk en regionale partijen een MIRT-Verkenning uitgevoerd met een regionaal en gebiedsgericht karakter. Het doel van deze verkenning is de (zowel positieve als negatieve) effecten en haalbaarheid van Eemszijlen in beeld te brengen. Het Project Eemszijlen beslaat een bredere kustzone van het centrum van Delfzijl tot en met de Grote Polder bij Borgsweer/Termunterzijl. Eemszijlen richt zich op de volgende hoofddopgaven:

- Het versterken van de (be-)leefbaarheid van Delfzijl door de huidige recreatiesluis naast de zeesluis te verleggen naar het centrum van Delfzijl op de plaats van de bestaande spuisluis.
- Het verbeteren van de ecologische water- en natuurkwaliteit van het Eems-Dollard estuarium, door het realiseren van een robuust zoet-zout overgangsgebied met vismigratie.
- Het borgen/vergroten van zoetwaterbeschikbaarheid op langere termijn.
- Het geleidelijk aanpassen van de kustzone met de klimaatveranderingen op zee.



Figuur 1 Projectgebied MIRT-verkenning Eemszijlen

Het voorliggende onderzoek behandelt de aspecten die samenhangen met de nautische veiligheid voor de scheepvaart in het projectgebied. De zorg bestaat dat de beoogde verandering in spuilocaties een significante toename veroorzaakt van de langsstroming in delen van de vaarweg. Dit kan problematisch zijn wanneer hierdoor de nautische kwaliteit van de vaarweg afneemt.

Dit onderzoek maakt gebruik van een eerdere studie rondom nautische veiligheid. In 2021 zijn real time manoeuvreersimulaties uitgevoerd voor de Oosterhornhaven met een klasse Va schip met een lengte van 135 meter. Dit zijn grotere schepen dan destijds toegelaten (tot 110 meter lang) en de focus lag op veilig kunnen navigeren en ontmoeten. Hierbij zijn de belastingstoestand van het schip en wind als variabelen gebruikt, effecten van de stroming zijn nihil geacht.

In de vorige fase van Eemszijlen (september 2022) is een eerste indicatie opgesteld van de te verwachten stroomsnelheden na de verplaatsing van de spuicapaciteit. Op basis hiervan is geïnventariseerd in hoeverre dit de nautische veiligheid voor de binnenvaart beïnvloedt.

Op basis van deze indicatie is een verdiepingsslag gemaakt en een nadere beoordeling gedaan van de nautische veiligheid en vlotheid, wanneer er sprake is van een verhoogde stroomsnelheid in de vaarweg als gevolg van spuien. Hiervoor is de te verwachten stroming in meer detail bepaald en heeft een ervaren binnenvaartschipper de effecten van de stroming op de bevaarbaarheid van de vaarweg beoordeeld. Hierbij is ook gebruik gemaakt van recente ervaring van lokale collega schippers.

1.2 Alternatieven

Uit Zeef 0 en 1 zijn drie alternatieven gedefinieerd voor verdere uitwerking binnen het project:

- Alternatief 1: inrichting Groote Polder en niet omleggen spui (minimale variant, terugvaloptie Groote Polder)
- Alternatief 2: inrichting Groote Polder en deels omleggen spui (tussenvariant, capaciteit nieuwe spui: 20-40 m³/s)
- Alternatief 3: inrichting Groote Polder en volledig omleggen spui (maximale variant, capaciteit nieuwe spui: >100 m³/s)

Er is een visie op een adaptieve aanpak (ook wel groeiscenario), waarbij niet gekozen wordt voor een van de varianten, maar het project kan meegroeien over de tijd. De verschillende varianten zijn dan in grote lijnen de opeenvolgende fases van de ontwikkeling van het gebied.

Voor nautische veiligheid ligt de focus op de effecten van de stroming die ontstaat door spuien en het effect daarvan op de hinder voor de scheepvaart in het gebied. De verschillende alternatieven gaan uit van eenzelfde maximum totaal spuidebiet en kenmerken zich door verschillen in de locatie waar gespuid wordt en de verdeling van het totale debiet over de verschillende locaties. De spuilocaties zijn:

1. Huidige spuisluis in Delfzijl, en mogelijk toekomstige recreatiesluis op dezelfde locatie
2. Kleine zeesluis in Farmsum
3. Spuikokers bij sluis in Oosterhornhaven
4. Mogelijk toekomstig spuumiddel bij de pier van Oterdum

Bij alternatief 1 is er geen wijziging in de spuilocaties en bijbehorende debieten ten opzichte van de bestaande situaties. De nautische veiligheid voor dit alternatief wordt niet beoordeeld.

Bij alternatief 2 worden twee situaties onderscheiden:

- Zomer: recreatievaart maakt gebruik van de nieuw te realiseren recreatiesluis in Delfzijl. Er wordt niet gespuid op deze locatie.
- Winter: recreatievaart maakt gebruik van de sluis in Farmsum. De nieuw te realiseren recreatiesluis in Delfzijl is beschikbaar voor spuien. Het maximum debiet voor spuien is nog niet bepaald. Er is een maximum debiet van 60 m³/s aangenomen in overeenstemming met een debiet van het nieuwe spuumiddel bij de pier van Oterdum.

1.3 Doelstelling

Het huidige onderzoek richt zich op het in kaart brengen van de stroomsnelheden in het binnendijkse gebied en de effecten van de stroming op de scheepvaart.

1.4 Onderzoeksvragen

Er zijn vooraf een aantal onderzoeksvragen opgesteld die richting geven aan het uitgevoerde onderzoek. Voor het onderdeel nautische veiligheid is er één vraag van belang:

- Wat is het effect van het verplaatsen van de recreatiesluis en de spuilocatie op de nautische veiligheid?

1.5 Aanpak

De stromingen in het gebied tussen Groningen en Delfzijl zijn voor een zestal stromingssituaties berekend met een 2D simulatie. De verschillende simulaties zijn gekozen op basis van een aan/uit scenario voor elk van de spuilocaties. Uitgangspunt is dus dat op een spuilocatie gespuid wordt met het maximum debiet voor die spuilocatie of dat op die spuilocatie niet gespuid wordt. Een zestal sommen is geselecteerd die samen een representatief beeld vormen van de verschillende situaties die kunnen optreden bij de onderzochte alternatieven.

De nautische veiligheid en vlotheid van de scheepvaart in relatie tot de stroming is beoordeeld door een binnenvaartschipper. Deze binnenvaartschipper heeft, naast ervaring als schipper, ook ruime ervaring met het beoordelen van vaarwegen voor het aspect nautische toegankelijkheid. Aangezien de schipper niet recent in het gebied gevaren heeft, heeft hij informatie opgevraagd bij andere schippers die daar recent gevaren hebben. Het onderzoek is beperkt tot binnenscheepvaart. De zeegaande scheepvaart is hierin niet nader beschouwd.

Stroomsnelheden bij maximum spuidebiet geven aanleiding om specifiek op dit aspect een aantal scenario's nader te beschouwen. Lokale dwarsstroming nabij mondingen en gemalen valt in deze beoordeling buiten de scope. Deze kwalitatieve beoordeling geeft een indicatie van in hoeverre de nautische kwaliteit beïnvloed wordt als gevolg van de aanwezigheid van langsstroming. Hierbij wordt vertrokken vanuit de resultaten van het simulatierapport en de ervaringen van schippers in dit gebied. Ook wordt er een vergelijking gemaakt met vergelijkbare praktijksituaties.

Voorlopige resultaten zijn gedeeld en besproken in een werksessie gehouden op 15 mei 2023. Nadere duidingen en afspraken tijdens de werksessie zijn verwerkt in dit advies.

2 Stromingssimulaties

2.1 Modelling

Stromingssimulaties zijn uitgevoerd met een bestaand 2D stromingsmodel (Arcadis, 2020). De simulaties betreffen een stationaire situatie, waarbij een debiet is opgelegd aan de rand van het model bij elk van de spuimiddelen. Daarnaast is een vaste waterstand van NAP + 0,53 meter bij Groningen gehanteerd (boezempeil). Weliswaar zal in de praktijk de waterstand bij Groningen voorafgaand aan het spuien bij hoge spuidebieten ook hoger zijn, toch zijn we uitgegaan van deze waterstandsrandvoorwaarde. De reden hiervoor is viervoudig:

- Het doel van spuien is om de waterstand in het Eemskanaal te beheersen. Er is te weinig informatie beschikbaar om een statistische analyse van waterstanden en spuidebieten mogelijk te maken gericht op het bepalen van minimale waterstanden op het moment van maximaal spuien.
- Tijdens spuien zal de waterstand in Groningen ook verlagen. Deze waterstandsverlaging volgt niet uit de berekeningen omdat de grens van het model bij Groningen ligt. Er is weinig inzicht in de mate van waterstandsverlaging bij Groningen tijdens spuien.
- Simulaties bij een iets lagere waterstand dan in de praktijk zijn een conservatieve aanname: bij een lagere waterstand zijn de stroomsnelheden hoger bij eenzelfde debiet.
- Voor de simulaties geldt dat bij een hoger spuidebiet, de waterstand voorafgaand aan spuien hoger zal zijn.

Waterstanden in het gebied volgen uit het model en worden bepaald door de weerstand die het water ondervindt.

Er wordt uitgegaan van het maximum spuidebiet voor elk van de spuimiddelen. Het werkelijke spuidebiet is afhankelijk van de getijdewaterstand, en kan doordoor variëren in de tijd. Een analyse van de spuidebieten is opgenomen in Bijlage B. Daaruit blijkt dat het maximum spuidebiet bij vrijwel elke spuibeurt wordt bereikt. De gesimuleerde situaties zijn daardoor representatief voor het maximum voor elke spuibeurt. Afhankelijk van het gewenste spuivolume zal deze stromingssituatie korter of langer aanhouden, maar beperkt zich tot enkele uren. De voor de MIRT-Verkenning Kustontwikkeling Eemszijlen aangehouden verschillende situaties per alternatief zijn samengevat in Tabel 1. Een analyse van de verschillende debieten is te vinden in Bijlage B.

Tabel 1 Spuidebieten en stromingsdebieten voor de verschillende stromingssommen en bijbehorende alternatief binnen het project

Som	Alternatief	Recreatiesluis Delfzijl	Kleine Zeesluis Farmsum	Spuimiddel Oterdum	Oosterhornsluis	Totaal in Oosterhornhaven	Totaal in Eemskanaal
1	3	-	80	100	40	140	220
2	3	-	80	100	0	100	180
3	2 winter	60	80	40	40	80	220
4	2 winter	60	80	40	0	40	180
5	2 zomer	0	80	40	0	40	120
6	2 zomer	0	0	40	0	40	40

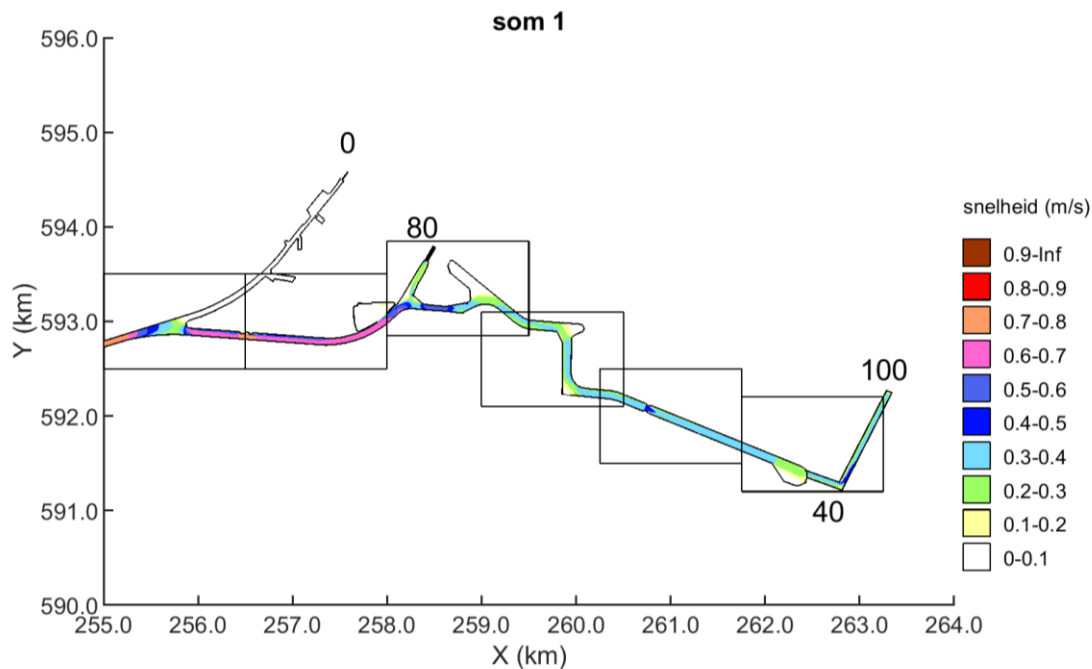
2.2 Resultaten

Een deel van de resultaten uit de stromingsberekeningen wordt hier besproken. De resultaten van alle stromingssimulaties zijn opgenomen in Bijlage A.

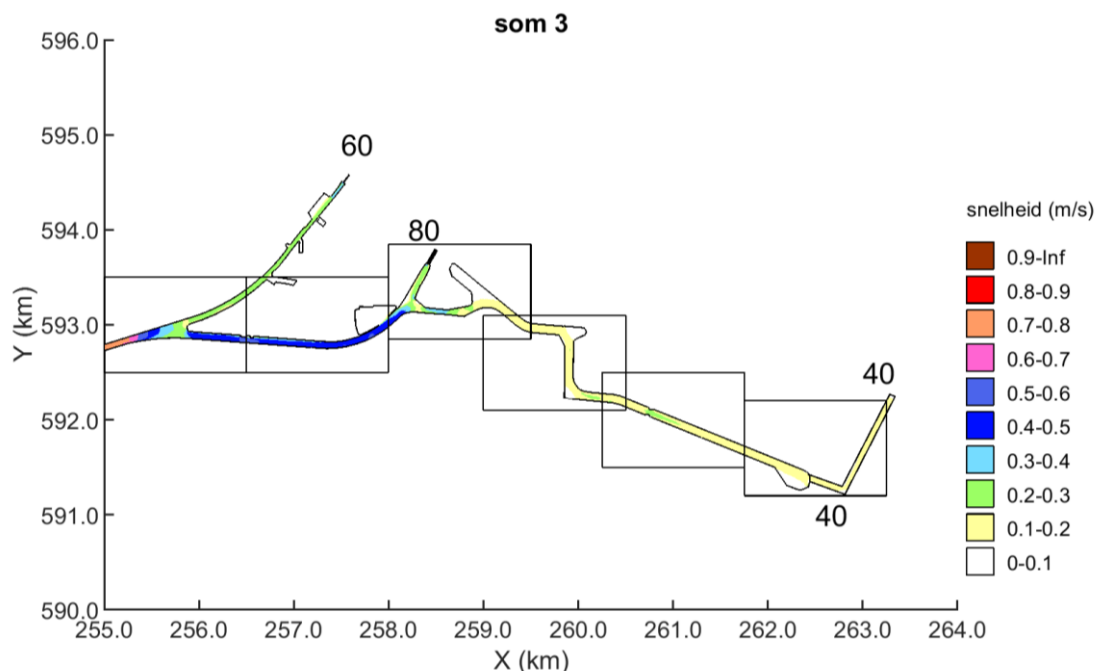
2.2.1 Stroomsnelheden

Er zijn twee effecten die bij een gegeven kanaal dwarsprofiel de stroomsterkte bepalen; het debiet en de waterstand. Bij een twee keer zo groot debiet zal de stroming ook ongeveer twee keer zo sterk zijn bij gelijke waterstand. Een groter debiet komt met een groter verval in waterstand. Hierdoor zal de stroomsterkte verder toenemen. Dus bij een verdubbeling van het spuidebiet zal de stroomsnelheid meer dan verdubbelen.

Het effect van een waterstandsverlaging is evenredig met de afname van het dwarsdoorsnede oppervlak van het kanaal. Een waterstandsverlaging van enkele dm heeft daarop beperkte invloed. Het effect van de verandering in waterstand op stroomsnelheden is daardoor duidelijk kleiner dan het effect van de verandering in debiet.

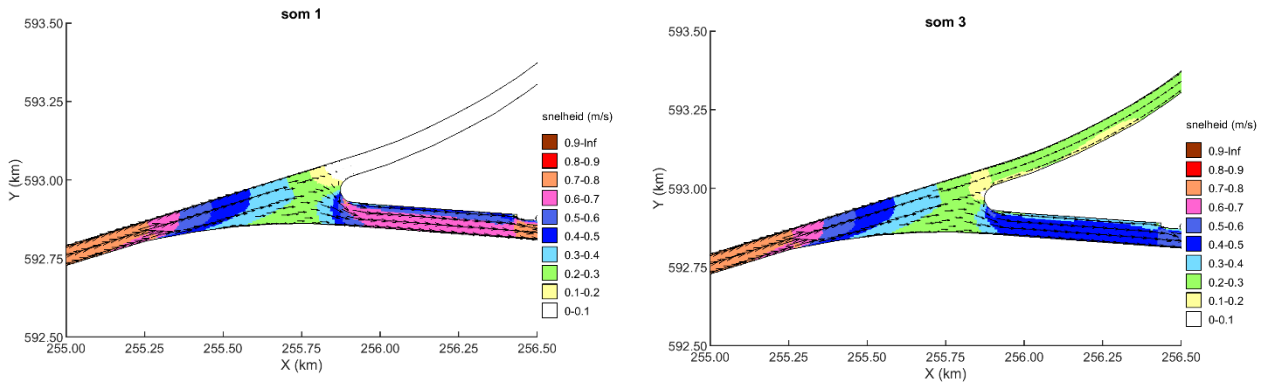


Figuur 2 Stroomsnelheden voor som 1 - Maximum spuidebiet bij alternatief 3



Figuur 3 Stroomsnelheden voor som 3 - Maximum spuidebiet bij alternatief 2 (winter)

De richting van de stroming (verhouding tussen langsstroming en dwarsstroming) lijkt niet of nauwelijks beïnvloed te worden door het spuidebiet. Bij splitsingspunten speelt de verhouding van de debieten voor de verschillende takken wel een bescheiden rol voor de stromingsrichtingen (Figuur 4).



Figuur 4 Strooming bij splitsing Eemskanaal - Oude Eemskanaal

Samengevat zijn de mogelijke effecten per alternatief:

- Alternatief 1 inrichting Groote Polder en niet omleggen spui:
Geen effect op stroomsnelheden OHK
- Alternatief 2 inrichting Groote Polder en deels omleggen spui:
Toename stroomsnelheden in de Oosterhornhaven en tussen de Oosterhornhaven en de splitsing met het Oude Eemskanaal. Tussen de Oosterhornhaven en het Oude Eemskanaal ligt de verwachte stroomsnelheid op piekmomenten rond de 0,5 m/s. De richting van de strooming is deels afhankelijk van de spuiiddelen die worden ingezet.
- Alternatief 3: inrichting Groote Polder en volledig omleggen spui:
Sterke toename in de stroomsnelheden in en richting de Oosterhornhaven, met name tussen de Oosterhornhaven en de splitsing met het Oude Eemskanaal. De verwachte snelheden liggen ruim boven 0,5 m/s. Er is ook een sterke dwarscomponent in de strooming bij de twee splitsingen: van het Eemskanaal met de Oosterhornhaven en van het Eemskanaal met het Oude Eemskanaal.

2.2.2 Waterstandsverlaging

Naast de strooming zijn voor de sommen uit Tabel 1 ook bijbehorende waterstanden berekend. Voor een aantal locaties worden deze weergegeven in Tabel 2. Daarin is ook de waterstandsverlaging ten opzichte van de waterstand bij Groningen gegeven. De berekende waterstandsverlaging is voor het gebied dat in het model is opgenomen. De waterstandsverlaging die bij Groningen optreedt als gevolg van spuien komt daar nog bovenop.

Tabel 2 Waterstanden in meter t.o.v. NAP en tussen haakjes verschil in waterstand met Groningen

Som	Alternatief	Groningen	Splitsing Eemskanaal - Oude Eemskanaal	Splitsing Eemskanaal - Oosterhornkanaal	Zwaaiikom Oosterhornhaven
1	3	0,53	0,06 (0,47)	0,00 (0,53)	-0,02 (0,55)
2	3	0,53	0,23 (0,30)	0,20 (0,33)	0,19 (0,34)
3	2 winter	0,53	0,06 (0,47)	0,04 (0,49)	0,03 (0,50)
4	2 winter	0,53	0,23 (0,30)	0,22 (0,31)	0,22 (0,31)
5	2 zomer	0,53	0,41 (0,12)	0,39 (0,14)	0,39 (0,14)
6	2 zomer	0,53	0,51 (0,02)	0,51 (0,02)	0,51 (0,02)

De sommen 1 en 3 gaan uit van hetzelfde totale maximum spuidebiet van 220 m³/s. Tot aan het splitsingspunt Eemskanaal-Oude Eemskanaal is in beide sommen het debiet en dus de waterstanden en stroomsnelheden gelijk. In som 1 wordt er niet gespuid bij de nieuwe recreatiesluis en gaat er meer debiet via het Oosterhornkanaal. Daardoor daalt de waterstand aan het eind van het Oosterhornkanaal meer dan in som 3. De huidige situatie is niet

doorgerekend maar komt meer in de buurt van som 3 dan som 1. Omleiden van het spui van Delfzijl naar een spuimiddel bij de pier van Oterdum zal dus zorgen voor een grotere waterstandsverlaging in het gebied ten oosten van het splitsingspunt met Oude Eemskanaal. Het grootste effect treedt op in de Oosterhornhaven.

Samengevat ter duiding van het mogelijke effect van het alternatief:

- Alternatief 1 inrichting Groote Polder en niet omleggen spui:
Geen effect op de waterstanden in het Oosterhornkanaal.
- Alternatief 2 inrichting Groote Polder en deels omleggen spui:
Op piekmomenten is de verwachte waterstandverlaging vanaf de splitsing in het Eemskanaal met het Oude Eemskanaal van ongeveer 0,5 meter ten opzichte van Groningen. De verlaging is in het hele gebied ongeveer gelijk.
- Alternatief 3: inrichting Groote Polder en volledig omleggen spui:
Op piekmomenten is de verwachte waterstandverlaging vanaf de splitsing in het Eemskanaal met het Oude Eemskanaal van ongeveer 0,5 meter ten opzichte van Groningen. De grootste verlaging vindt plaats in de Oosterhornhaven.

3 Nautische beoordeling

3.1 Nautische kwaliteit

Het begrip nautische kwaliteit omvat de beleving van de vaarweg vanuit de schipper. Het behelst het karakter van de vaarweg, met kenmerken als de mate van veiligheid, voorspelbaarheid en vlotheid, en alle parameters die hierop van invloed kunnen zijn. Bij elke manoeuvre wordt daarbij rekening gehouden met:

- Externe invloeden als overige scheepvaart, stroomsnelheid, wind en zicht.
- De informatie die de schipper aangeboden krijgt en hoe deze geïnterpreteerd wordt.
- De fysieke inrichting van de vaarweg, met bijvoorbeeld kenmerken als het dwarsprofiel, een aaneenschakeling van bochten, een haven, een versmalling en/of een brug.

De dwarsprofielen van het Eemskanaal en de Oosterhornhaven zijn gebruikt om de dwarsdoorsnede te achterhalen om vervolgens de ratio tussen dwarsdoorsnede van schip en vaarweg uit te rekenen. Dit geeft inzicht in de manoeuvreereigenschappen van het schip in beperkt vaarwater. Dit is met name van belang bij het effect van een waterstandsverlaging.

De som van deze aspecten bepaalt de nautische kwaliteit en elk ervan verdient daarbij een integrale benadering. Gestreefd wordt naar een optimum, waarbij de nautische veiligheid maximaal bediend wordt. Effecten van wind op het manoeuvreergedrag zijn niet opgenomen in de beoordeling. Wind speelt een ondergeschikte rol bij beladen schepen. Voor ongeladen schepen speelt de wind wel een grote rol, maar heeft de stroming juist minder effect. In de beoordeling van de effecten van stroming is het geladen schip daarom leidend.

Deze benadering leent zich zeer goed voor de beoordeling in de situaties die onderzocht zijn, juist daar waar de complexiteit toeneemt.

De Richtlijnen Vaarwegen 2020 (RVW) biedt handvatten om hiervoor een initiële beoordeling te kunnen doen. Met name in het Oosterhornkanaal zijn meerdere locaties aan te duiden die complexer zijn en uniforme richtlijnen zoals de RVW niet meer toereikend zijn. Denk aan een combinatie van wind, variërende stromingen, bochten, brugpassages, havens en overige vaart. Daarnaast worden bovenmaatse schepen toegelaten. Dit vraagt om een beoordeling die met de verschillende aspecten rekening houdt.

3.1.1 Vergelijkbare praktijksituaties

Als referentie is gezocht naar een locatie met vergelijkbare omstandigheden. Hierbij ligt de nadruk op de breedte van de geul, stroming en invaarten van havens. Met name stroming van deze orde ($> 0,4$ m/s) is niet veel voorkomend in een standaard kanaal, waardoor slechts weinig locaties zich hiervoor lenen en er weinig vergelijkingsmateriaal is. Het Hartelkanaal nabij Rozenburg komt hierbij dicht in de buurt. Gecombineerd met havens langs smallere rivieren als de Gelderse IJssel biedt dit voldoende inzicht voor een kwalitatieve benadering.

3.1.2 Stroomsnelheid

Hierbij valt gelijk op te merken dat stroomsnelheden van ca. 0,5 m/s (1,5 km/u tot 2 km/u) weliswaar bovengemiddeld zijn voor standaard situaties, maar ook zeker geen uitzondering zijn. Met name op rivieren worden dergelijke stroomsnelheden bereikt. Vanuit nautisch opzicht vormen dergelijke stroomsnelheden geen probleem voor het manoeuvreren. Voorwaarde hierbij is echter wel, dat er voldoende ruimte is om de effecten van de stroming op te vangen en de schipper zich bewust moet zijn van die stroming. Omdat dit traject een kanaal en een haven betreft met doorgaans weinig stroming, valt dit buiten het verwachtingspatroon en vormt daarmee een risico omdat de mate van stroming onderschat kan worden. Daar ligt dan ook de mogelijkheid om met informatie als mitigerende maatregel de kans daarop te beperken.

3.1.3 Simulatoronderzoek

In het eerder uitgevoerde simulatoronderzoek is de focus gelegd op de vraag of het nautisch verantwoord is om met schepen met een lengte van 135 m te varen en bij welke windbelasting dit nog verantwoord is. Voorafgaand aan dat onderzoek was de maximale scheepslengte 110 m. Hierbij zijn zowel maximaal beladen als geballaste binnenvaarttankers aangewend. Voor de huidige beoordeling worden alleen de simulaties beschouwd met de geladen schepen, daar de stroming daarop een grote impact heeft tijdens de manoeuvre. In veel mindere mate geldt dit voor

geballaste en lege schepen. Verwacht wordt dat ook in de nieuwe situatie met stroming, de veiligheid en vlotheid niet anders zal worden beoordeeld dan in de simulatiesessie.

Bochten kunnen veilig gepasseerd worden. Gesteld wordt, dat bij een passage van de brug en de bochten, er te weinig ruimte blijft voor onderlinge ontmoetingen. Omdat dit traject doodlopend is met enkele overslagplaatsen, zal het aantal passages relatief laag zijn en is dit een acceptabele maatregel en uitgangspunt voor een veilige passage door de hele haven, ook met stroming. Bovendien is de bocht goed overzichtelijk.

De beoordeling per run, evenals directe verwijzingen tussen runs en bevindingen in het rapport, zijn er nauwelijks of in het geheel niet. De mate waarin gebruik gemaakt wordt van voortstuwing en inrichting is niet gegeven, waardoor de manoeuvre nauwelijks beoordeeld kan worden. Deze input is essentieel bij de beoordeling van hoe een run verlopen is en aan te kunnen geven wat stroming voor verschil zou maken. Een deskundig oordeel is hierdoor slechts gebaseerd op indicaties uit het rapport. Resultaten uit de stromingssimulaties en bevindingen uit de omgeving vormen een belangrijke basis voor de beoordeling.

3.1.4 Verkeersbegeleiding

In heel de Provincie Groningen wordt de scheepvaart begeleid door meerdere verkeersposten, omdat schepen zich voor elke brugopening dienen te melden. Dit heeft meerdere voordelen:

1. Er is actief contact met elke schipper en het schip wordt gevolgd. Het is bekend waar het overige verkeer zich bevindt. Hierdoor kunnen ontmoetingen op lastigere locaties als bochten en bruggen worden vermeden.
2. Informatie kan eenvoudig worden opgevraagd/doorgegeven. De schipper kan de stroomsnelheid opvragen of door de operator erop gewezen worden.

In de Oosterhornhaven is verkeersbegeleiding beperkt tot de Oosterhornbocht nabij Evonik (rechts op Figuur 8), waar het verkeer geregeld wordt met verkeerslichten. Dit gebeurt alleen als er een schip gemeerd ligt aan de steiger aan de noordzijde van de bocht (zie kader Figuur 5) en geldt er eenrichtingsverkeer.



Figuur 5 Verkeerslichten Oosterhornhaven nabij Evonik

3.2 Manoevreeigenschappen bij stroming en waterstandsverlaging

3.2.1 Stroming

Het grootste effect van stroming op de manoevreeigenschappen is dat een schip dat tegen de stroom invaart beter controleerbaar is en vice versa een schip dat met de stroom meevaart juist minder. Een schip tegen stroom heeft een lagere snelheid over de grond en daarom is er meer tijd voor een manoeuvre over hetzelfde traject. Dit geeft een schipper meer tijd om een manoeuvre uit te voeren. Bovendien kan de stroomsnelheid als extra middel worden gebruikt tijdens de manoeuvre.

Een schip dat met de stroomrichting mee vaart daarentegen, vaart sneller over de grond en heeft daardoor minder tijd voor een bepaalde manoeuvre. Het schip zal snelheid (ten opzichte van het water) moeten verminderen; doorgaans bemoeilijkt het vertragen de manoeuvre. Een dergelijk scenario wordt daardoor meer negatief beïnvloed door de aanwezigheid van stroming.

3.2.2 Waterstandsverlaging

Als extra omstandigheid zou naast stroming ook een waterstandsverlaging kunnen optreden. Een waterstandsverlaging heeft een negatieve impact op de manoeuvreerbaarheid van schepen. Om te bepalen in hoeverre deze significant is, wordt daarvoor als criteria de n-ratio en kielspeling gehanteerd. Voor de n-ratio wordt de verhouding tussen de dwarsdoorsneden van zowel het schip (11,4 x 3,5 m) als het kanaal bepaald. Voor de beschouwde dwarsprofielen in het traject Eemskanaal – Farmsum en nabij de Weiwerderbrug bedraagt bij kanaalpeil NAP + 0,53 m de n-ratio resp. 8 en 7,5. Bij een waterstandsverlaging van enkele decimeters verkleint de ratio tot boven de 7 en bedraagt de kielspeling orde 50% van de diepgang van het schip. Dit geeft geen aanleiding dat de manoevreeigenschappen aanzienlijk afnemen t.o.v. de simulaties. De verwachting is dan ook dat dit de conclusies slechts beperkt beïnvloedt.

Waterstandsverandering treedt op bij openen en sluiten van het spuimiddel en kan binnen relatief korte tijd enkele decimeters verschil in waterstand geven. Afgemeerde schepen dienen hierop bedacht te zijn i.v.m. verandering van kielspeling, trosbelasting en het effect op laden en lossen. De situatie voor afgemeerde schepen is binnen deze studie verder buiten beschouwing gelaten.

3.3 Beschouwde scenario's

Voor het identificeren van de maatgevende scenario's, zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Stroming
Zowel de snelheid, gradiënt als de richting, hebben een grote impact op de manoeuvre; met name de gradiënt en de dwarscomponent van de stroming op de vaarrichting. Dit is in het bijzonder van toepassing bij splitsingspunten, waarbij het stromingspatroon divergeert, convergeert, vertraagt en versnelt over een relatief korte afstand. Er wordt kritisch gekeken naar de mate waarin de dwarsstroming op het schip voor en achter varieert. Dit verandert per scenario.
- Het lokale verhang
Bij een vernauwing wordt het verhang groter en neemt de stroomsnelheid toe. Tegen de stroom in beïnvloedt dit de manoeuvreerbaarheid in lichte mate.
- Vormgeving van de vaarweg, zoals de aanwezigheid van een bocht, splitsing, sluis of brug kort bij elkaar.

Op dit traject zijn de volgende scenario's geïdentificeerd als meest kritisch met betrekking tot extra stroming:

- Splitsing Eemskanaal met Oosterhornkanaal: Van Groningen richting Weiwerderbrug
- Splitsing Eemskanaal met Oosterhornkanaal: Weiwerderbrug richting Zeesluis Farmsum
- Oosterhornkanaal en Oosterhornhaven: Weiwerderbrug richting Oosterhornhaven (bochtencombinatie)
- Eemskanaal: Vanuit Farsermerhaven richting Groningen

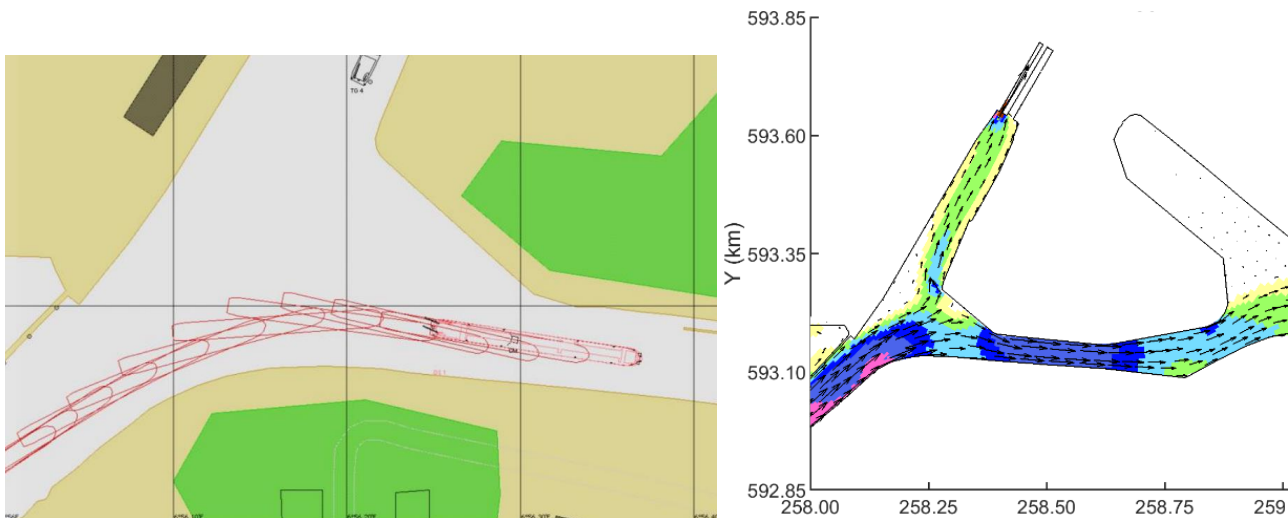
Overige scenario's zullen evenwel een significante impact hebben, maar worden geacht niet maatgevend te kunnen zijn. Zo is het naderen van de Weiwerderbrug richting Groningen minder kritisch, omdat men tegen stroom nadert. Deze brug vormt een kritische passage vanwege de geringe doorvaartbreedte. Het kanaalprofiel ter plaatse is

daarentegen volledig open en symmetrisch, hetgeen ten goede komt van de nautische kwaliteit. Ook het splitsingspunt bij het Oude Eemskanaal is vergelijkbaar met het eerste scenario.

3.3.1 Splitsing Eemskanaal met Oosterhornkanaal: Van Groningen richting Weiwerderbrug

Voorstrooms afstoppen van een schip, is één van de lastigste manoeuvres die een schipper moet kunnen doen. Daarbij een brug naderen na een bocht, vormt een extra moeilijkheid. Tijdens de simulaties is niet gebleken dat een passage zonder stroming lastig is, al is het remmingwerk daar wel meermaals bij geraakt, ook door geladen schepen (waarbij de invloed van wind minder dominant is). Dit voedt de suggestie dat de wind niet als hoofdoorzaak aan te merken is en de situatie met stroming des te kritischer te beschouwen is.

Het voorstrooms aan komen varen, verhoogt dit risico. De geringe stroomsnelheid, en ook de evt. dwarscomponent door spuien via de Zeesluis Farmsum, zal de manoeuvre significant bemoeilijken. Verwacht wordt dat de passage veilig uit te voeren is, echter is niet aan te geven hoe kritisch de manoeuvre zal zijn.



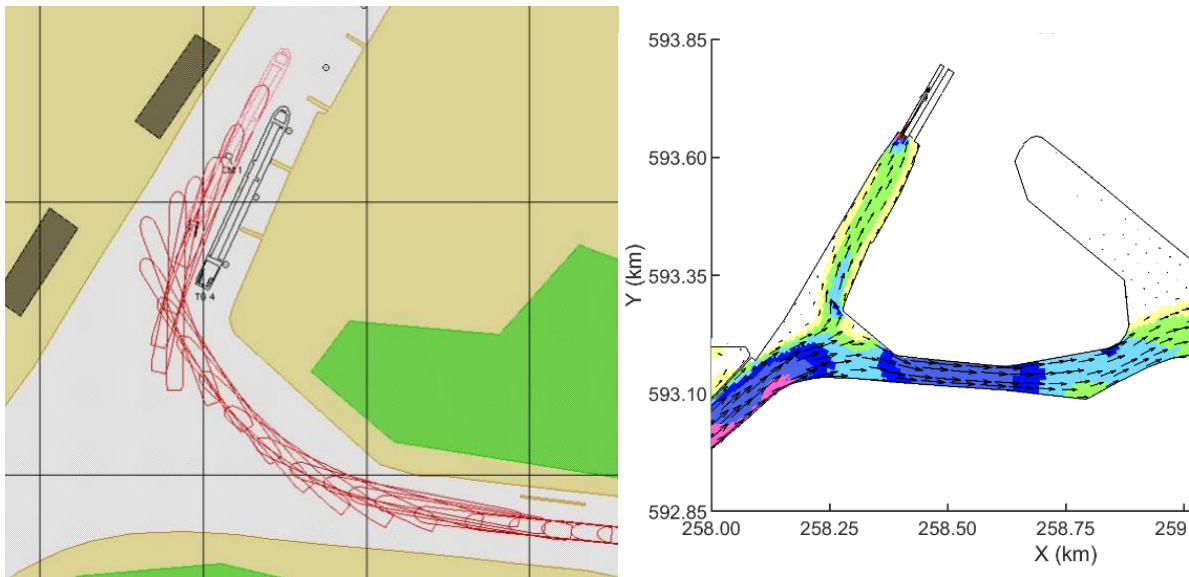
Figuur 6 Manoeuvresimulatie run #3 (links) en stroming van som 1 (rechts)

3.3.2 Splitsing Eemskanaal met Oosterhornkanaal: Van Weiwerderbrug richting Zeesluis Farmsum

De manoeuvre richting de zeesluis is enigszins kritisch door de beperkte ruimte, scherpe bocht en een afgemeerd schip in de binnenbocht. De stroming bemoeilijkt deze manoeuvre, omdat tijdens de bocht, de stroming het schip zijdelings zal duwen en de ruimte in de binnenbocht kritisch kan worden.

Uit het simulatieprogramma blijkt dat slechts 1 run (#12) is gedaan met een geladen schip in dit scenario. De andere runs met dit scenario zijn gedaan met lege en geballaste schepen en vormen nauwelijks een referentie. Deze run verliep moeizaam, zoals op te maken is uit de vaarbaan weergegeven in Figuur 7. Het is niet te achterhalen in welke mate de voortstuwing gebruikt is en hoe kritisch deze run beoordeeld is. De stroming zou de manoeuvre hebben verslechterd. Een ruimere bocht, waarbij de invaart "meer open" zou worden ingevaren, zou het resultaat aanzienlijk kunnen verbeteren.

Geacht wordt dat dit scenario uitvoerbaar is, echter is niet uit te sluiten of deze ook veilig met voldoende marges kan worden uitgevoerd onder omstandigheden met een spuidebiet door de Zeesluis. Als mitigerende maatregel kan worden genomen dat deze manoeuvre niet uitgevoerd wordt tijdens hogere debieten en/of een bezette voorhaven. Deze maatregel is eenvoudig te implementeren vanwege de aanwezigheid van de verkeersposten.



Figuur 7 Manoeuvresimulatie run #12 (links) en stroming van som 1 (rechts)

3.3.3 Oosterhornkanaal en Oosterhornhaven: Weiwerderbrug richting Oosterhornhaven (bochtencombinatie)

Overall genomen blijkt de passage van de bochten veilig te kunnen gebeuren met voldoende marge. Aannemelijk is dat de stroming die conclusie niet beïnvloedt.



Figuur 8 Manoeuvresimulatie run #5

3.3.4 Eemskanaal: Vanuit Farsumerhaven richting Groningen

Dit scenario is niet onderzocht tijdens de simulaties. Het grootste risico is dat een schipper die de haven verlaat zich niet bewust is van de stroming op het kanaal en daardoor verrast wordt. De opening van de haven lijkt voldoende groot om de haven in en uit te varen met stroming op het Eemskanaal. Het risico is dat de schipper bij verlaten van de haven te weinig ruimte heeft om het schip op te strekken en in de rechteroever (zuidzijde) loopt.

Middels matrixborden met actuele stroomsnelheden en informatie via de verkeerspost is een schipper goed te informeren zodat deze kan anticiperen op het effect.

4 Conclusies

De nadelige effecten van stroming op de nautische veiligheid voor manoeuvrerende binnenvaartschepen zijn waarschijnlijk beheersbaar met maatregelen van beperkte omvang. Het valt niet met zekerheid vast te stellen dat het bij maximum spuidebiet (alternatief 3) allemaal nog binnen het groene bereik van “veilig” blijft. Nadere analyse met behulp van manoeuvreersimulaties is noodzakelijk om uit te sluiten dat bij alle scenario's de veiligheid gewaarborgd blijft en te bepalen welke maatregelen de nadelige effecten beheersbaar houden.

Voor alternatief 2, waarbij een beperkt deel van het spuidebiet door de Oosterhornhaven gaat, lijken de effecten van stroming op de scheepvaart vrij goed op te vangen met beperkte maatregelen. De maatregelen zijn dan met name gericht op het informeren van de schippers. De nadruk ligt dan op verkeersbegeleiding en het plaatsen van matrixborden met informatie over de stroming.

Omleiden van het spui via het Oosterhornkanaal zal leiden tot enige toename van de waterstandsverlaging in het Oosterhornkanaal bij spuien. Eventuele hinder die samenhangt met een waterstandsverlaging zal dan toenemen.

Bij maximum spuidebiet van 220 m³/s ontstaat een stroomsnelheid hoger dan 0,5 m/s in het Eemskanaal en Oosterhornhaven. Stroomsnelheden in het gebied zijn vergelijkbaar met of lager dan de stroomsnelheden in het Eemskanaal ten westen van de splitsing met Oude Eemskanaal.

De grootste knelpunten voor nautiek zijn:

- Doorvaart door Weiwerderbrug
- Bochten bij splitsing Eemskanaal – Oosterhornkanaal

Daarnaast zijn er diverse locaties waar het effect van stroming minder kritisch lijkt maar deze wel aandacht verdient voor nadere uitwerking.

5 Beantwoording onderzoeksvragen

De voorliggende vraag voor nautische veiligheid wordt hier beantwoord op basis van deskundig advies. Diverse aspecten dienen in een volgende fase van de beoordeling nader onderzocht te worden.

Wat is het effect van het verplaatsen van de recreatiesluis en de spuilocatie op de nautische veiligheid?

Als gevolg van het verplaatsen van de spuilocatie ontstaat tijdens spuien een toename van de stroomsnelheid in het vaargebied ten oosten van de splitsing met het Oude Eemskanaal. Door de toename van de stroming wordt de scheepvaart gehinderd. Er is een aantal locaties waar de aanwezigheid van de stroming zou kunnen leiden tot onveilige situaties. De meest kritische locaties concentreren zich bij het Oosterhornkanaal en de aansluiting daarvan met het Eemskanaal. De bochten in de Oosterhornhaven lijken minder kritisch voor de scheepvaart.

Van de verschillende varianten voor de ontwikkeling van het gebied is bij de variant waarbij de spuilocatie in het centrum van Delfzijl vervalt (variant 3) een merkbare afname van de nautische veiligheid in het Oosterhornhaven gebied. Aanvullende maatregelen zijn nodig om de veiligheid te kunnen borgen.

Bij maximum spuidebiet komt de stroomsnelheid boven de 0,5 m/s. Om op het Eemskanaal te voldoen aan de Richtlijn Vaarwegen is meer ruimte nodig in de vaarweg bij stroomsnelheden boven deze waarde of dient de vaarweg gestremd te worden als deze waarde overschreden wordt. Het is de huidige praktijk dat de vaarweg gestremd wordt als de waterstand boven NAP + 1,05 meter komt. Het is onduidelijkheid welk spuidebiet en stroomsnelheid maximaal voorkomen zonder dat de vaarweg gestremd is. Stroomsnelheden ten westen van de splitsing met het Oude Eemskanaal wijzigen niet ten opzichte van de huidige situatie. Stroomsnelheden ten oosten van dit splitsingspunt zijn niet hoger dan de stroomsnelheden ten westen van dit splitsingspunt.

6 Literatuur

Arcadis, 2020. Zoutindringing en doorspoeling Eemskanaal, Verkennend modelonderzoek potentiële maatregelen. Arcadis rapport C03141.000186R1r1, 6 februari 2020

Nautitec, 2021. Oosterhornhaven, Nautical assessment 135m inland motor ships, Nautitec rapport, versie finalVS4.0, 20-03-2021

Bijlage A Resultaten stromingsberekeningen

Scenario's 2D- stromingsmodellering

t.b.v. nautische analyse

21-4-2023

Overzicht alle sommen

momentane debieten (m3/s)		Oude Zeesluis Delfzijl	Kleine Zeesluis (Farmsum)	Nieuwe Spuikanaal	Oosterhornsluis	som Oosterhornkanaal	som Eemskanaal
Alternatief 3	som 1	X	80	100	40	140	220
	som 2	X	80	100	0	100	180
Alternatief 2 winter	som 3	60	80	40	40	80	220
	som 4	60	80	40	0	40	180
Alternatief 2 zomer	som 5	0	80	40	0	40	120
	som 6	0	0	40	0	40	40

Alternatief 3

Volgorde:

1. Nieuwe Spuikanaal, max 100 m³/s
2. Kleine Zeesluis (Farmsum), max 80 m³/s
3. Kokers Oosterhornsluis, max 40 m³/s

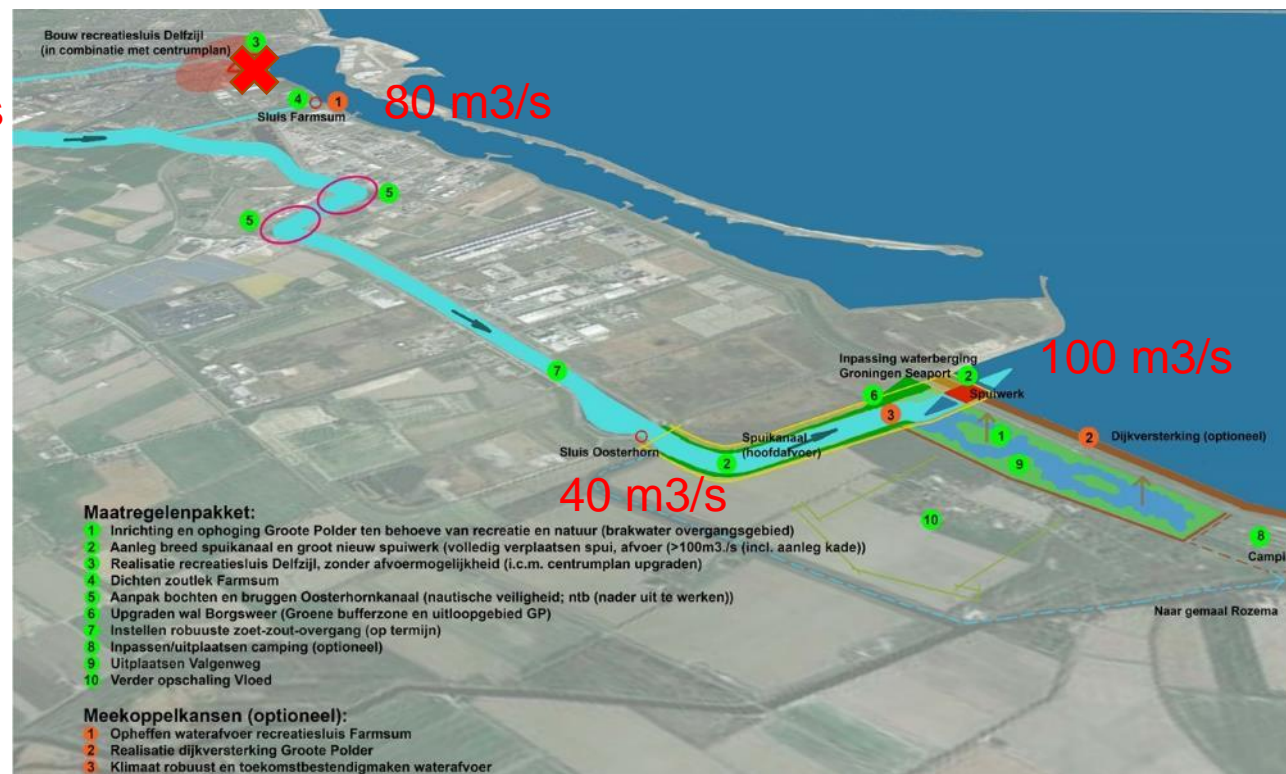
Oude Zeesluis als schutsluis voor recreatievaart

220 m³/s

80 m³/s

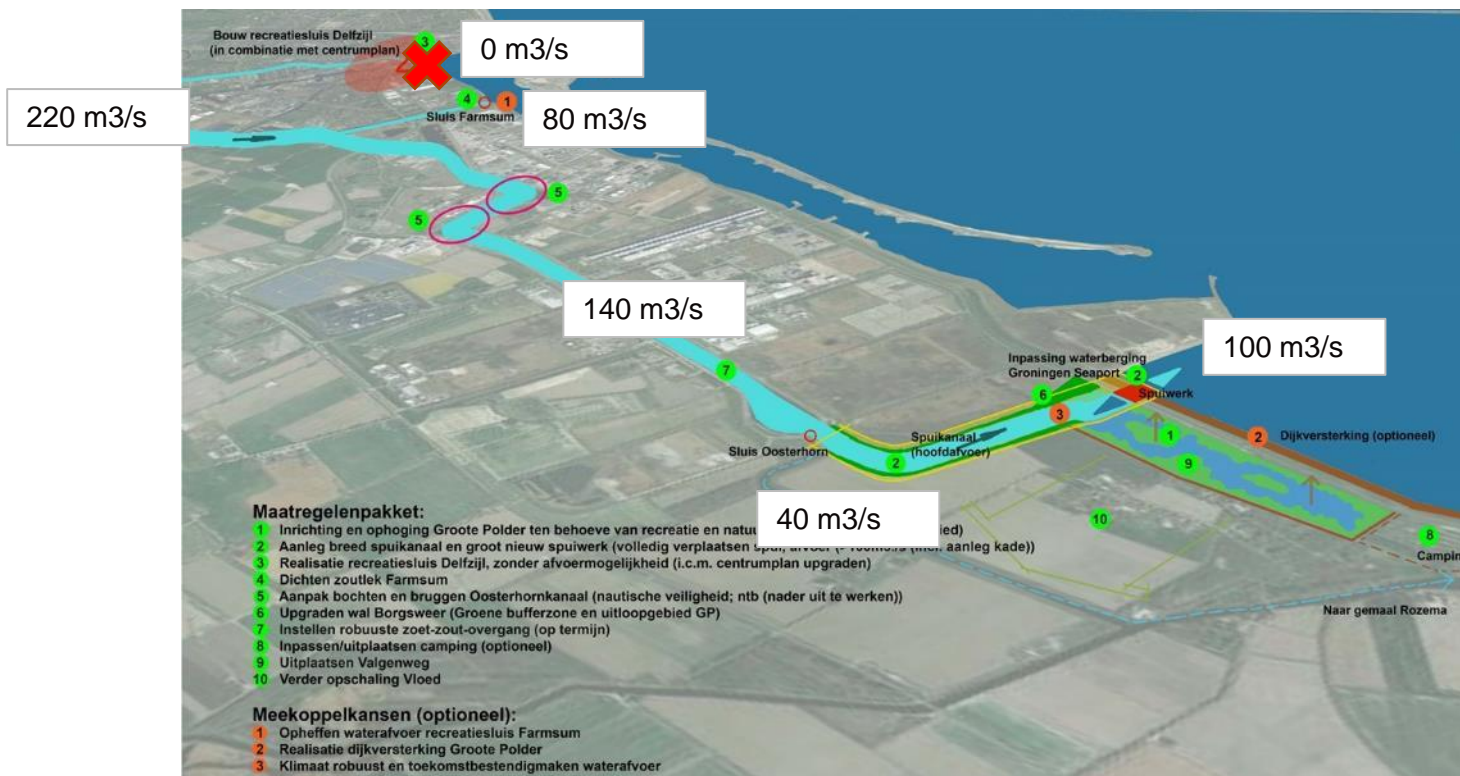
100 m³/s

40 m³/s



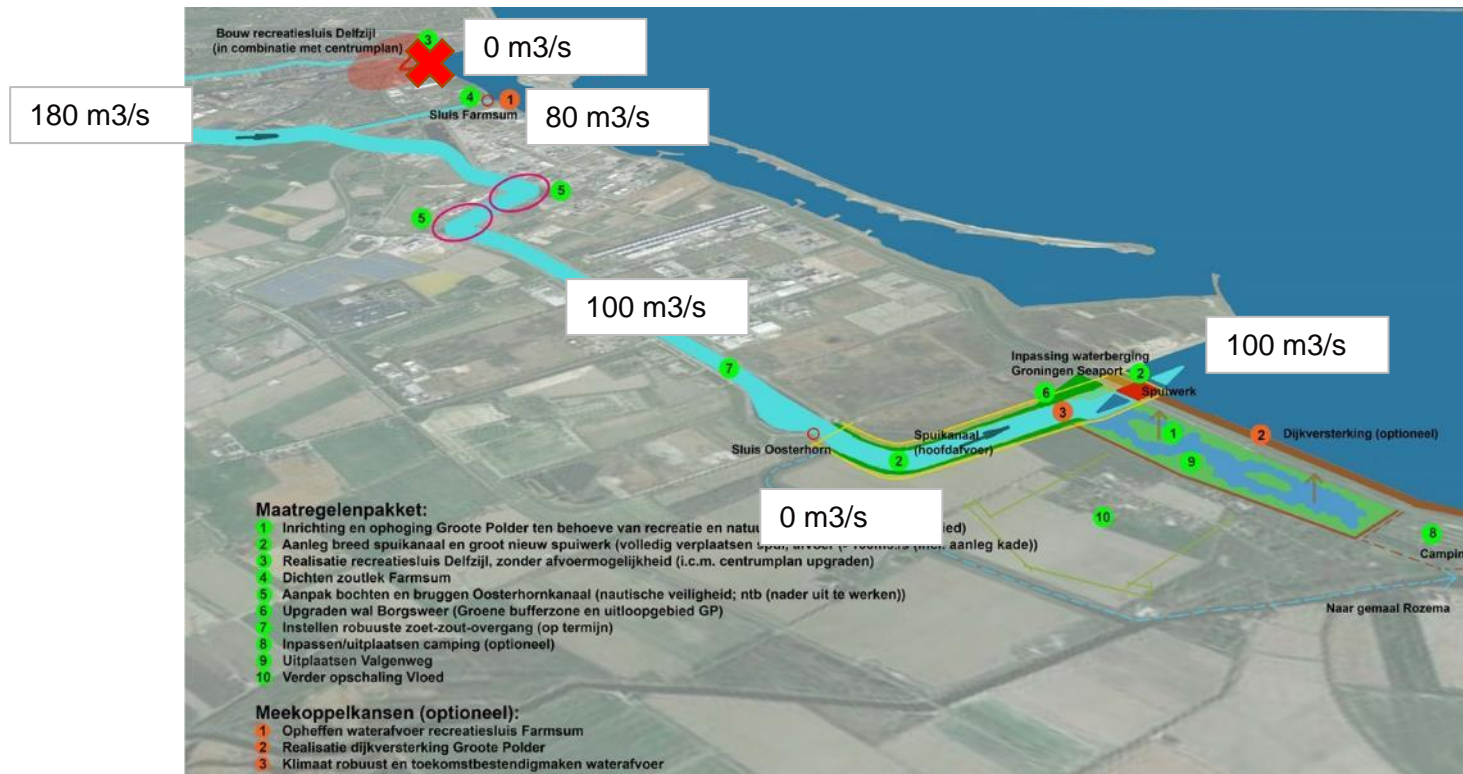
Alternatief 3

Som 1: maximale afvoer 220 m³/s



Alternatief 3

Som 2: maximale afvoer zonder Oosterhornsluis

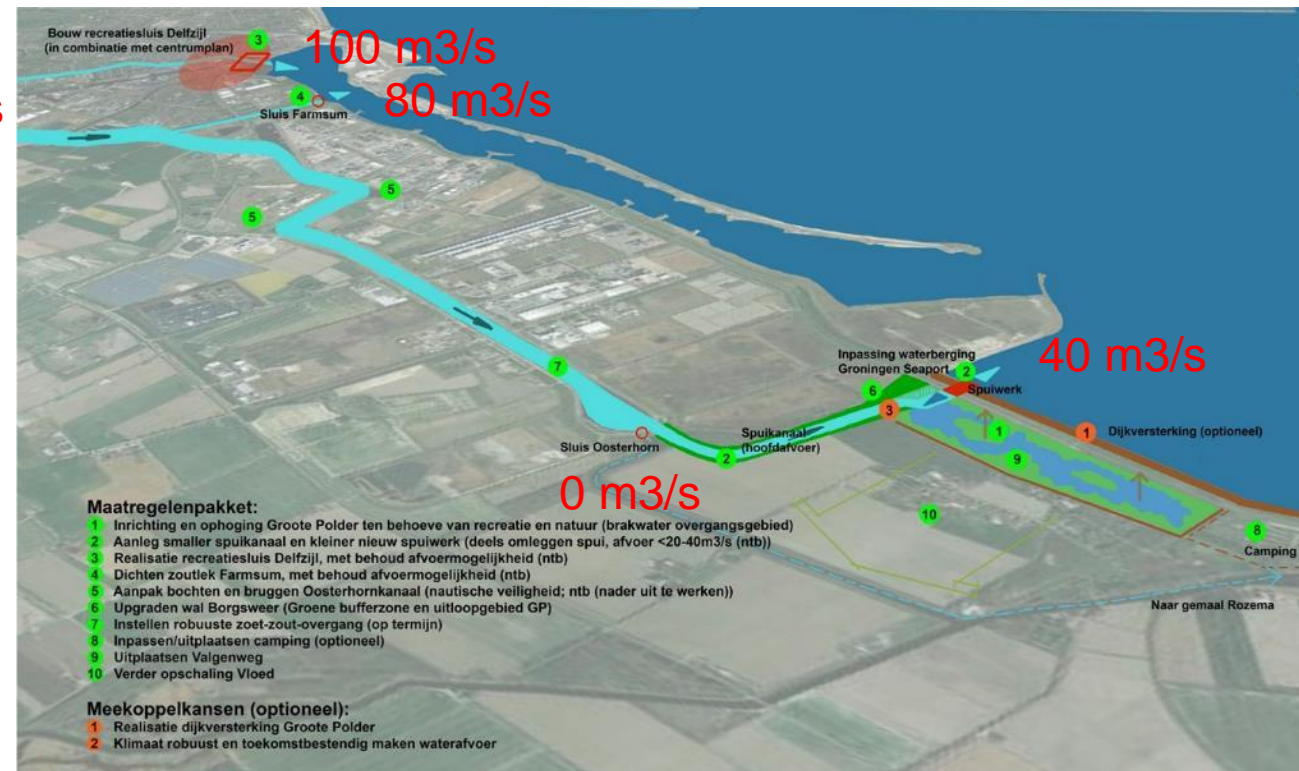


Alternatief 2, winter

Volgorde:

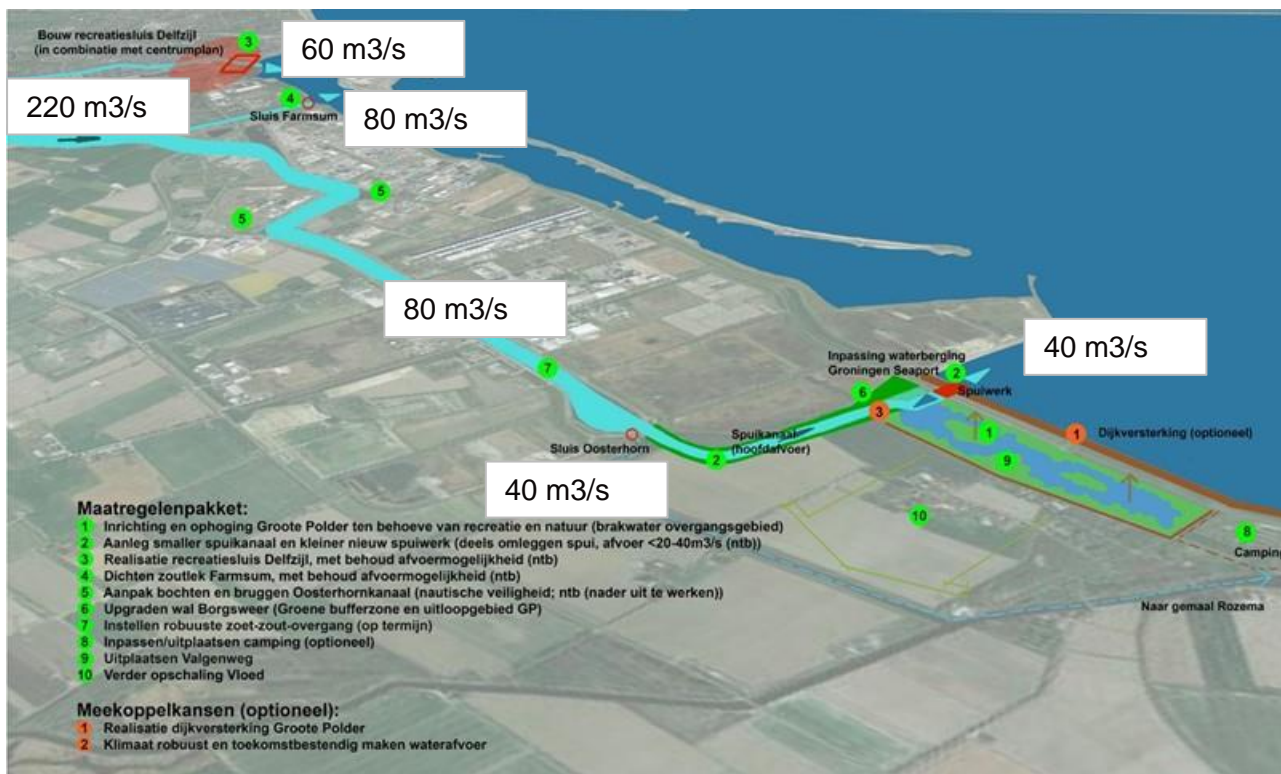
1. Nieuwe Spuikanaal, max 40 m³/s
2. Oude Zeesluis (Delfzijl), max 100 m³/s
3. Kleine Zeesluis (Farmsum), max 80 m³/s
4. Kokers Oosterhornsluis, max 40 m³/s

220 m³/s



Alternatief 2, winter

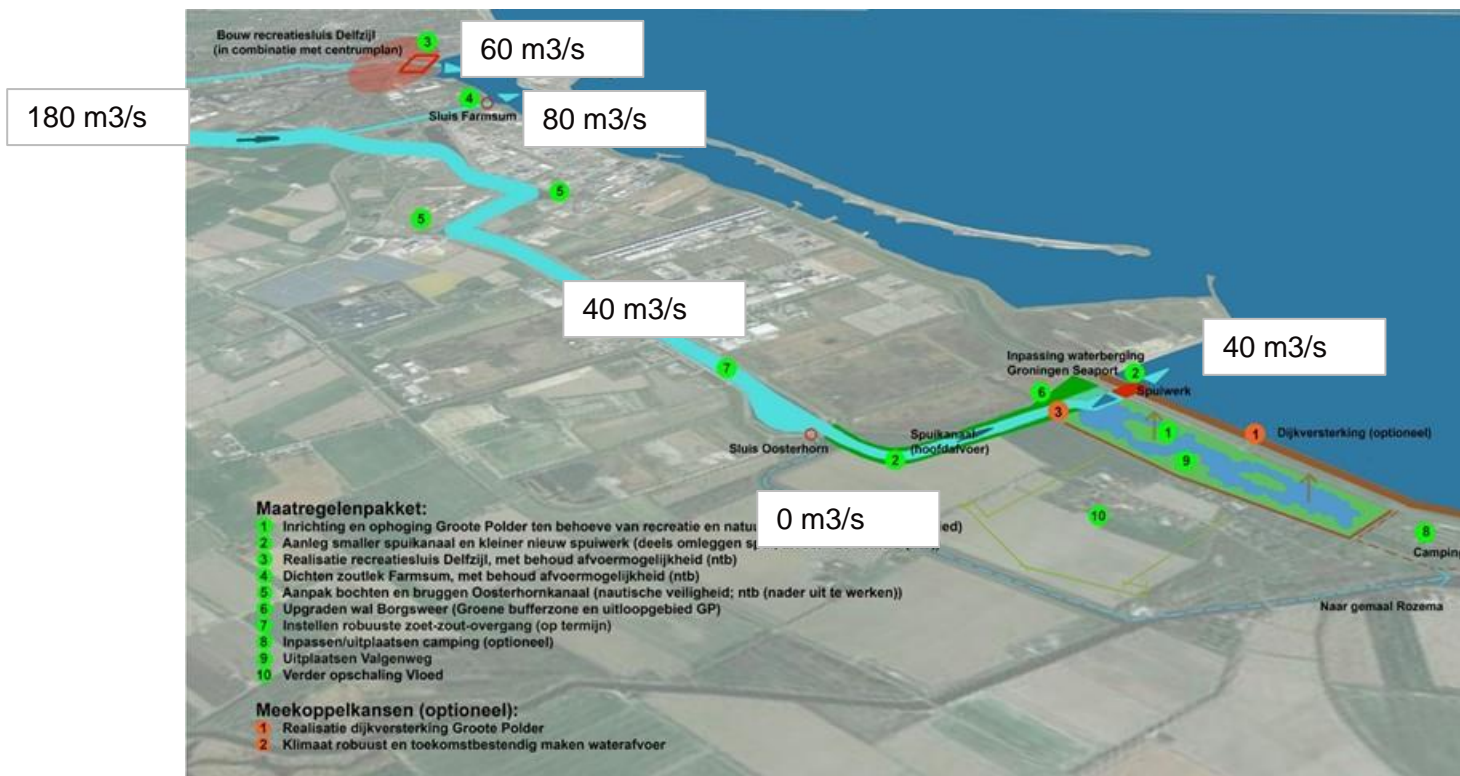
Som 3: maximale afvoer 220 m³/s



Conservatieve aanname: Oosterhornsluis wel ingezet, minder debiet door Oude Zeesluis, meer debiet door Oosterhornkanaal

Alternatief 2, winter

Som 4: maximale afvoer zonder Oosterhornsluis



Alternatief 2, zomer

Volgorde:

1. Nieuwe Spuikanaal, max 40 m³/s
2. Kleine Zeesluis (Farmsum), max 80 m³/s
3. Kokers Oosterhornsluis, max 40 m³/s

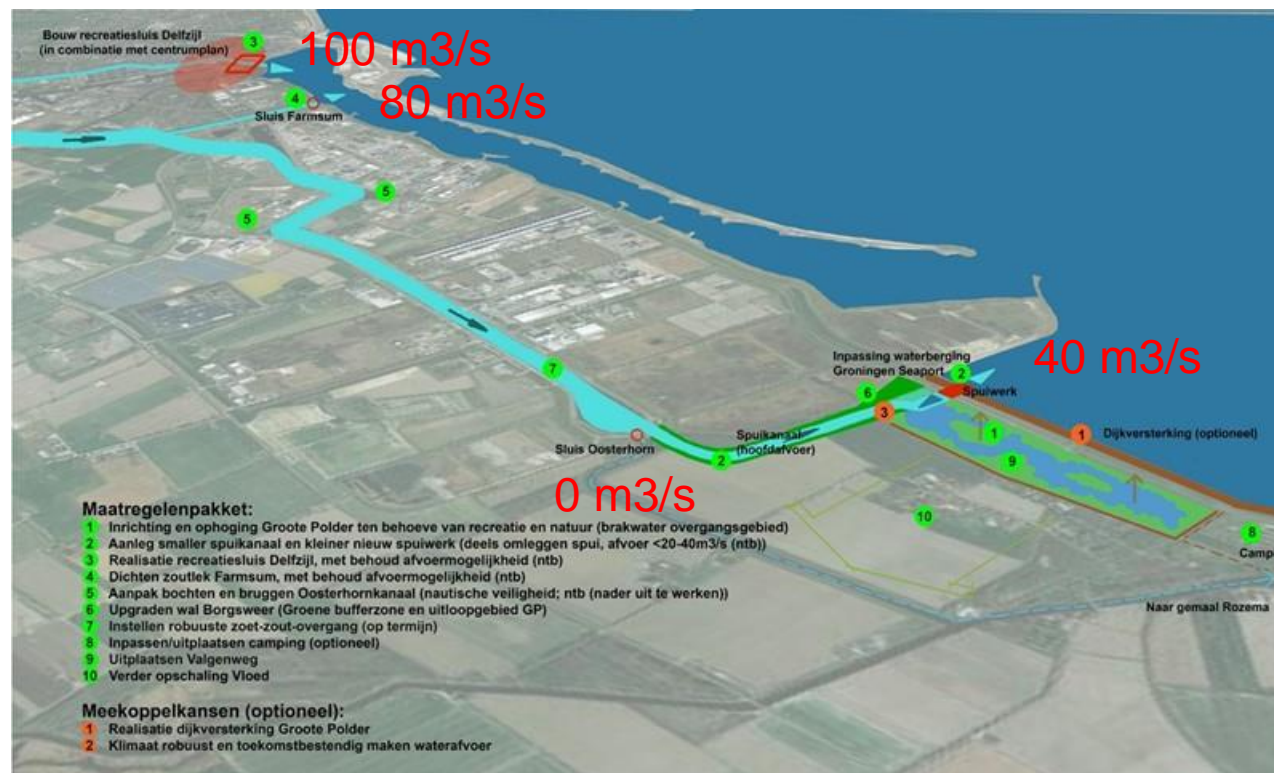
220 m³/s

100 m³/s

80 m³/s

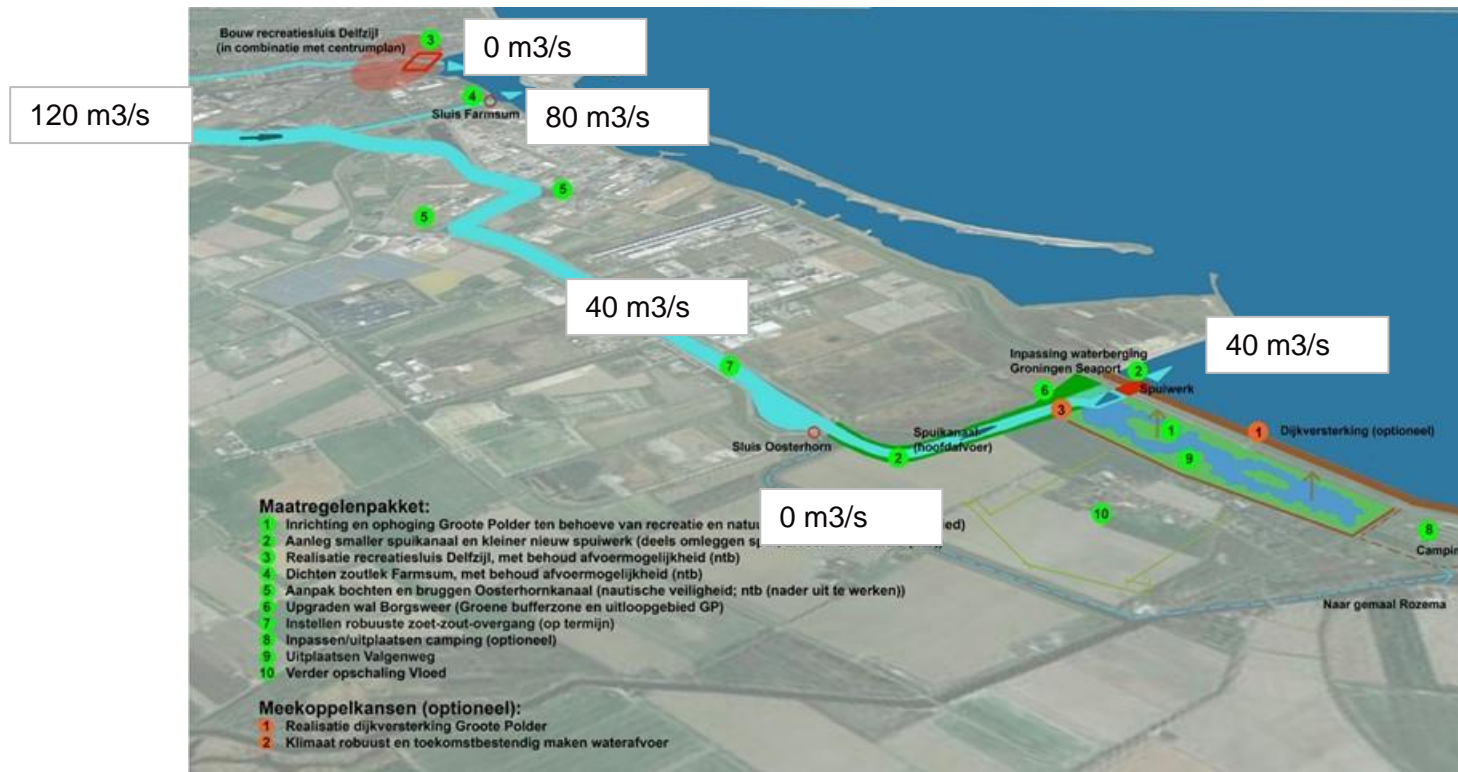
40 m³/s

0 m³/s



Alternatief 2, zomer

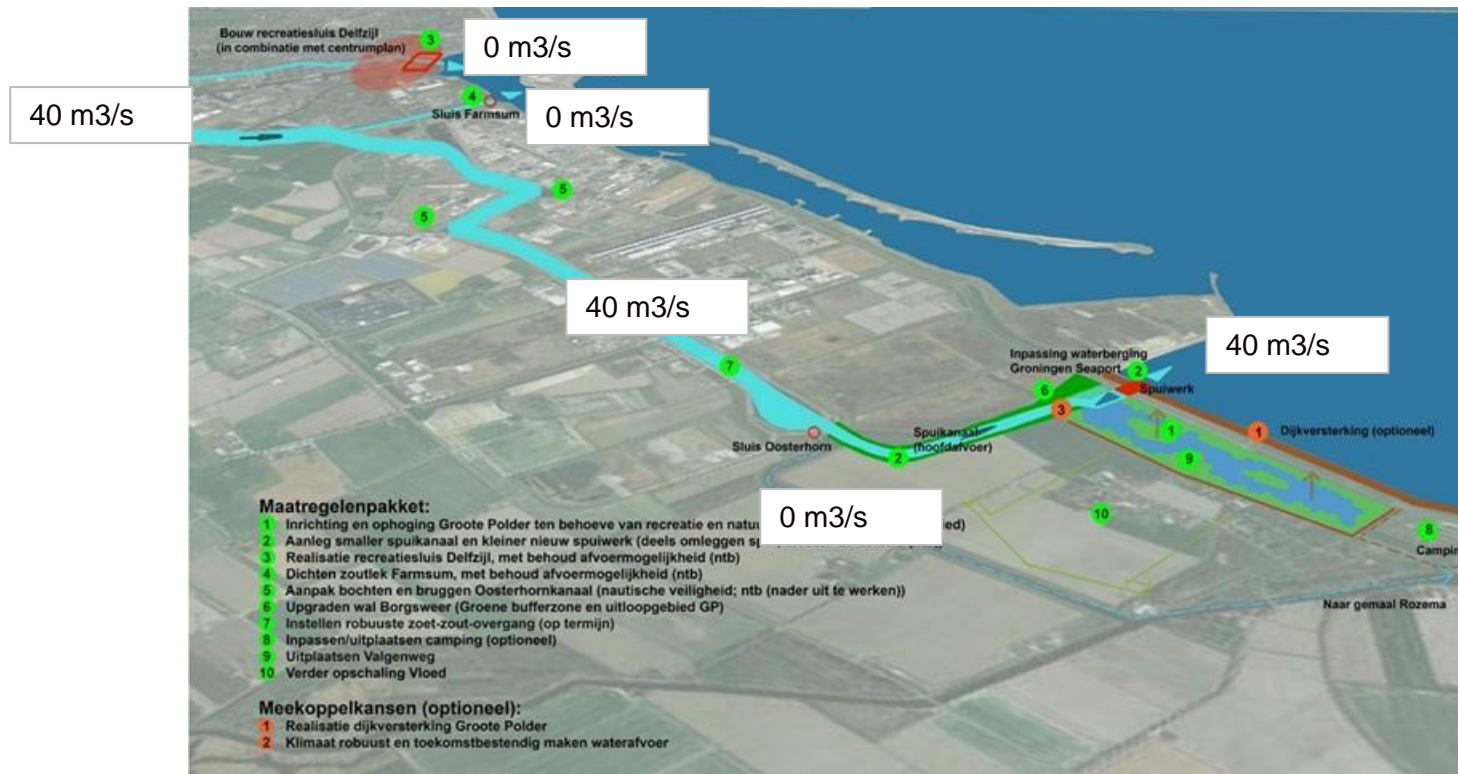
Som 5: maximale afvoer 120 m³/s



Nieuwe recreatiesluis niet gebruikt voor spuien
 Oosterhornsluis 's zomers niet nodig voor spuien

Alternatief 2, zomer

Som 6: lage zomer afvoer, alleen spuien via nieuwe spuikanaal



Hogere waterstand t.o.v. som 5

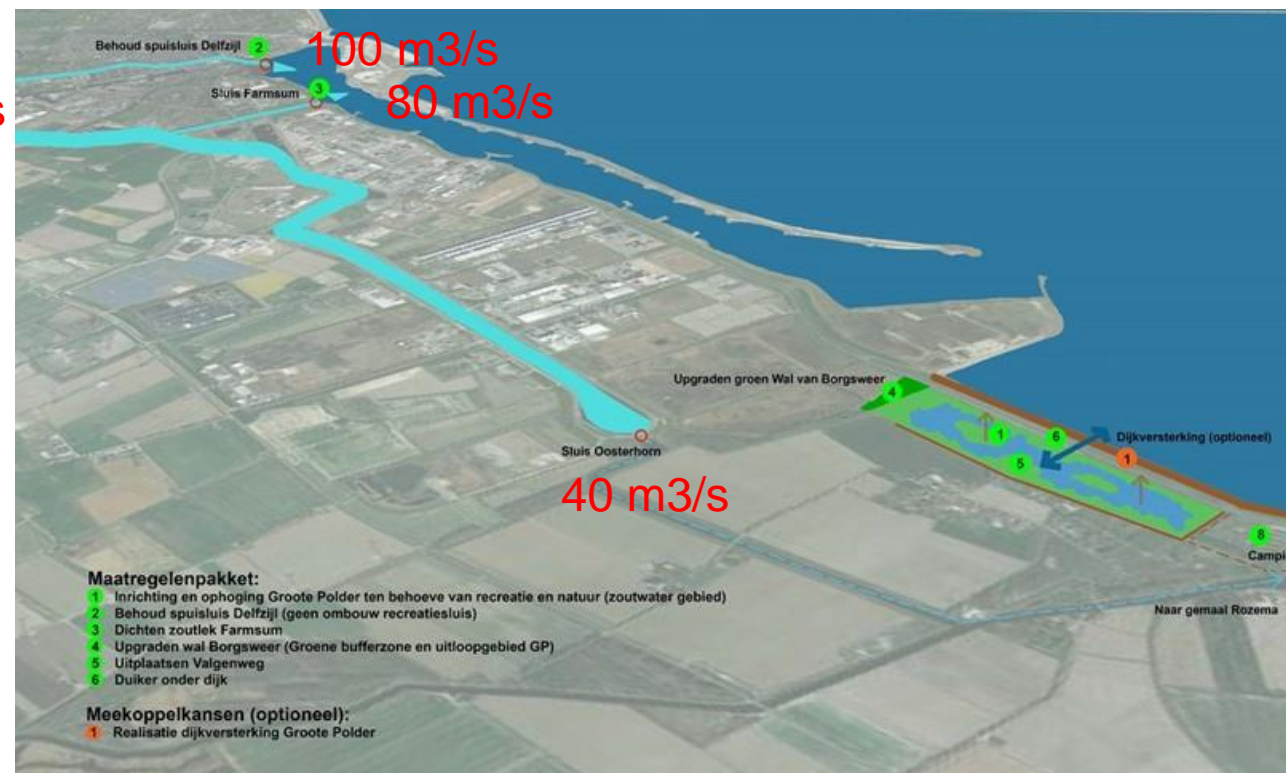
Huidig/Alternatief 1

Ter referentie, gaan we niet doorrekenen

220 m³/s

Volgorde:

1. Oude Zeesluis (Delfzijl), max 100 m³/s
2. Kleine Zeesluis (Farmsum), max 80 m³/s
3. Kokers Oosterhornsluis, max 40 m³/s



Opmerking

Stel: over 4 uur kan er totaal een bepaald volume (V) worden gespuid

En: een volgend getij hoeft er maar de helft ($0.5 \cdot V$) te worden gespuid

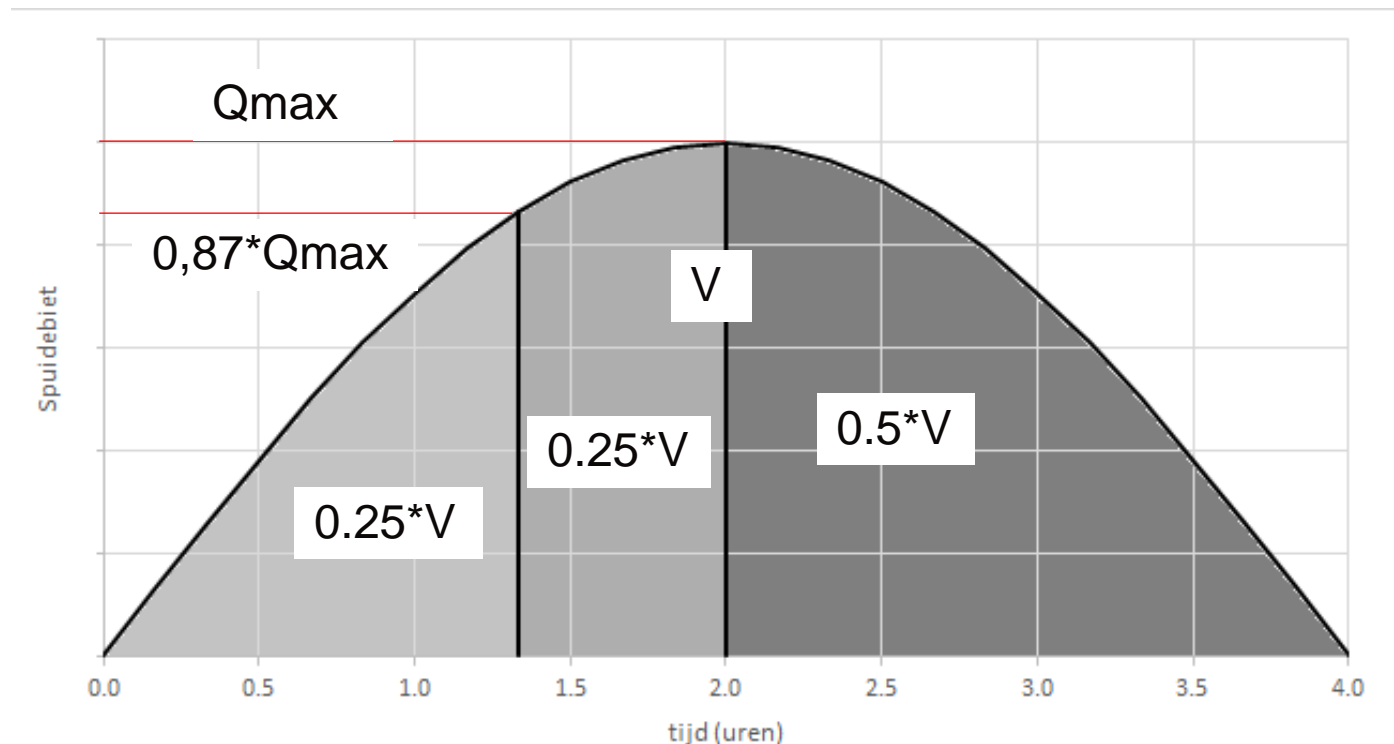
Dan worden de sluisdeuren eerder dichtgezet (en niet half open)

Dus het maximale, momentane debiet zal in het voorbeeld hiernaast daardoor niet veranderen

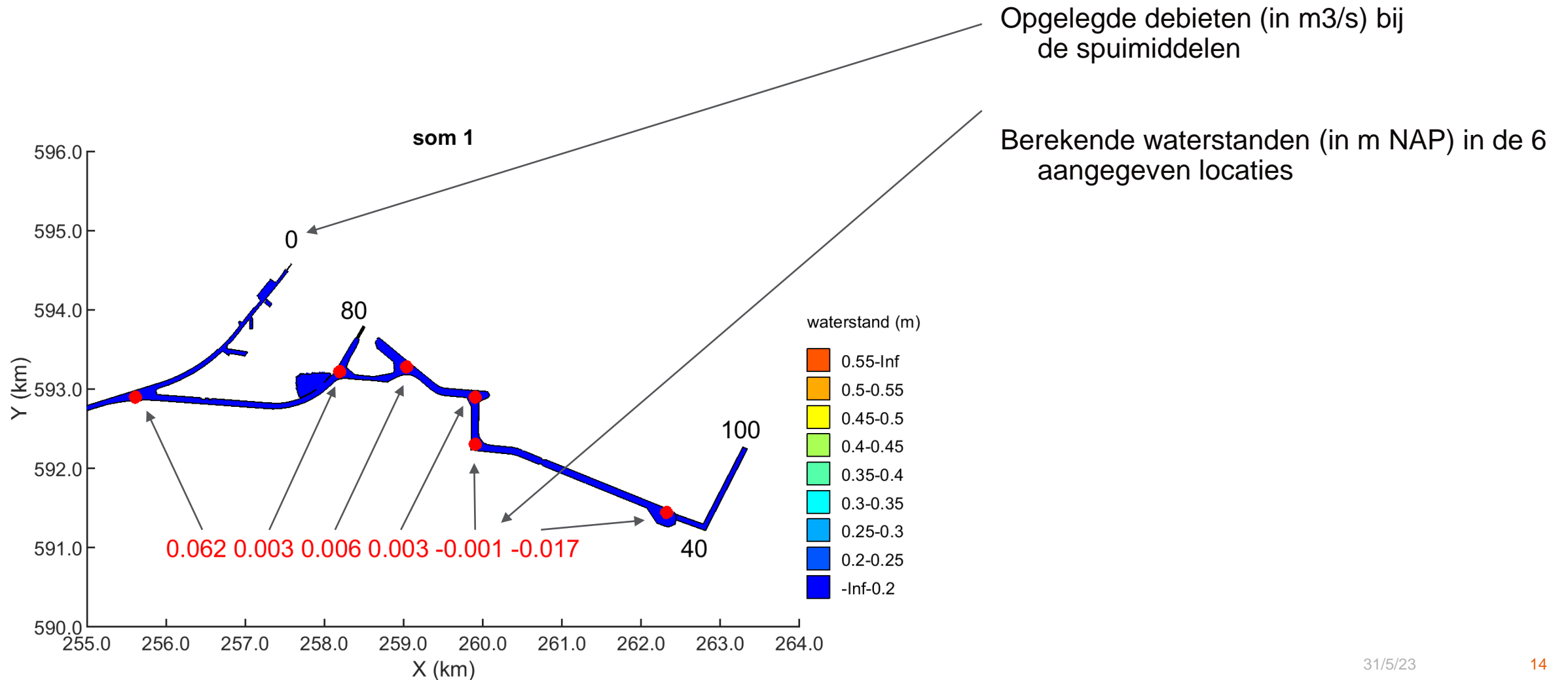
En stel: een volgend getij hoeft er maar een kwart ($0.25 \cdot V$) te worden gespuid

Dan is dat na 1,333 uur bereikt en is het maximale, momentane debiet 87% en niet 50%

Kortom: het is lastig om a priori momentane debieten/stroomsnelheden aan spuivolumes te relateren

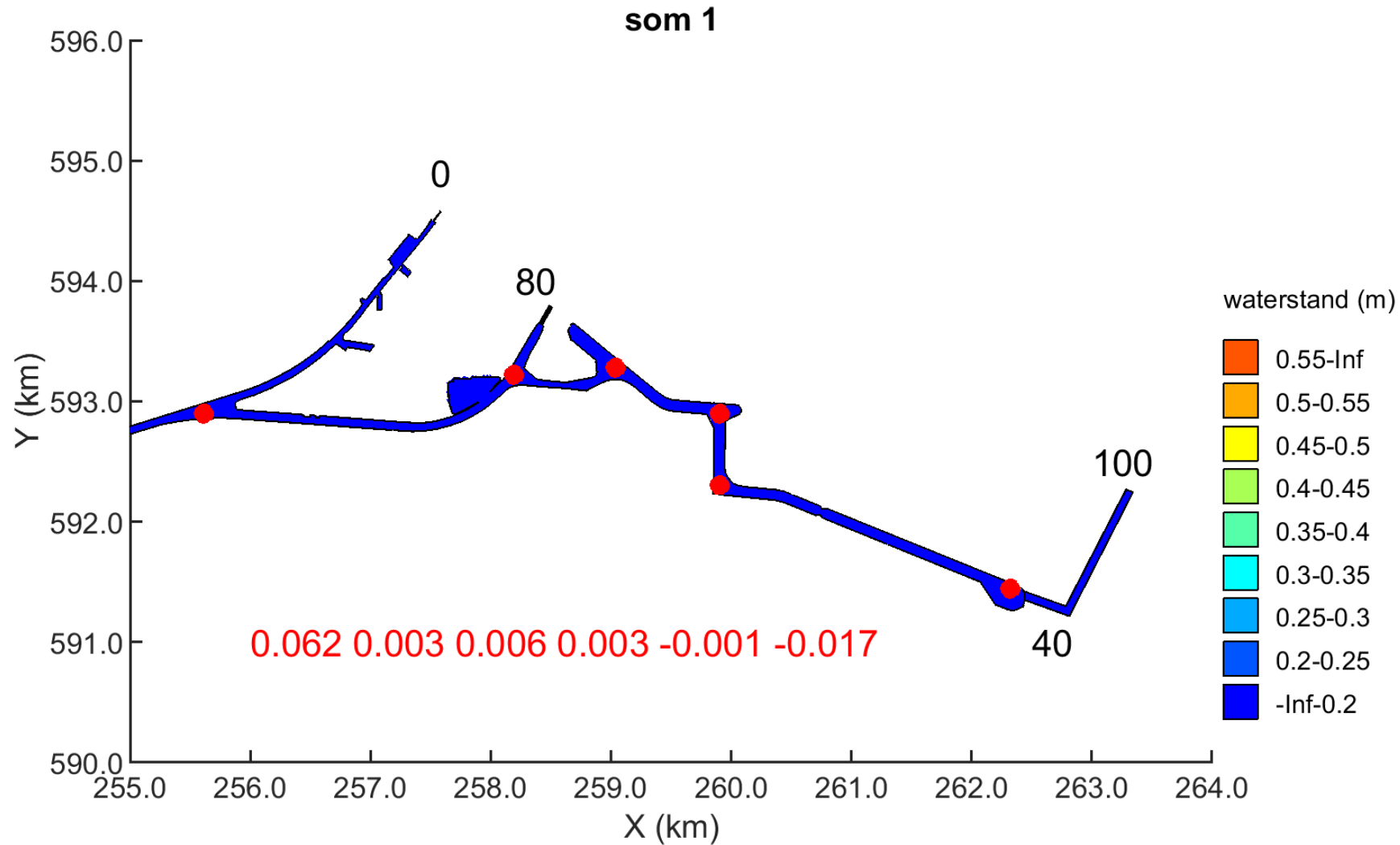


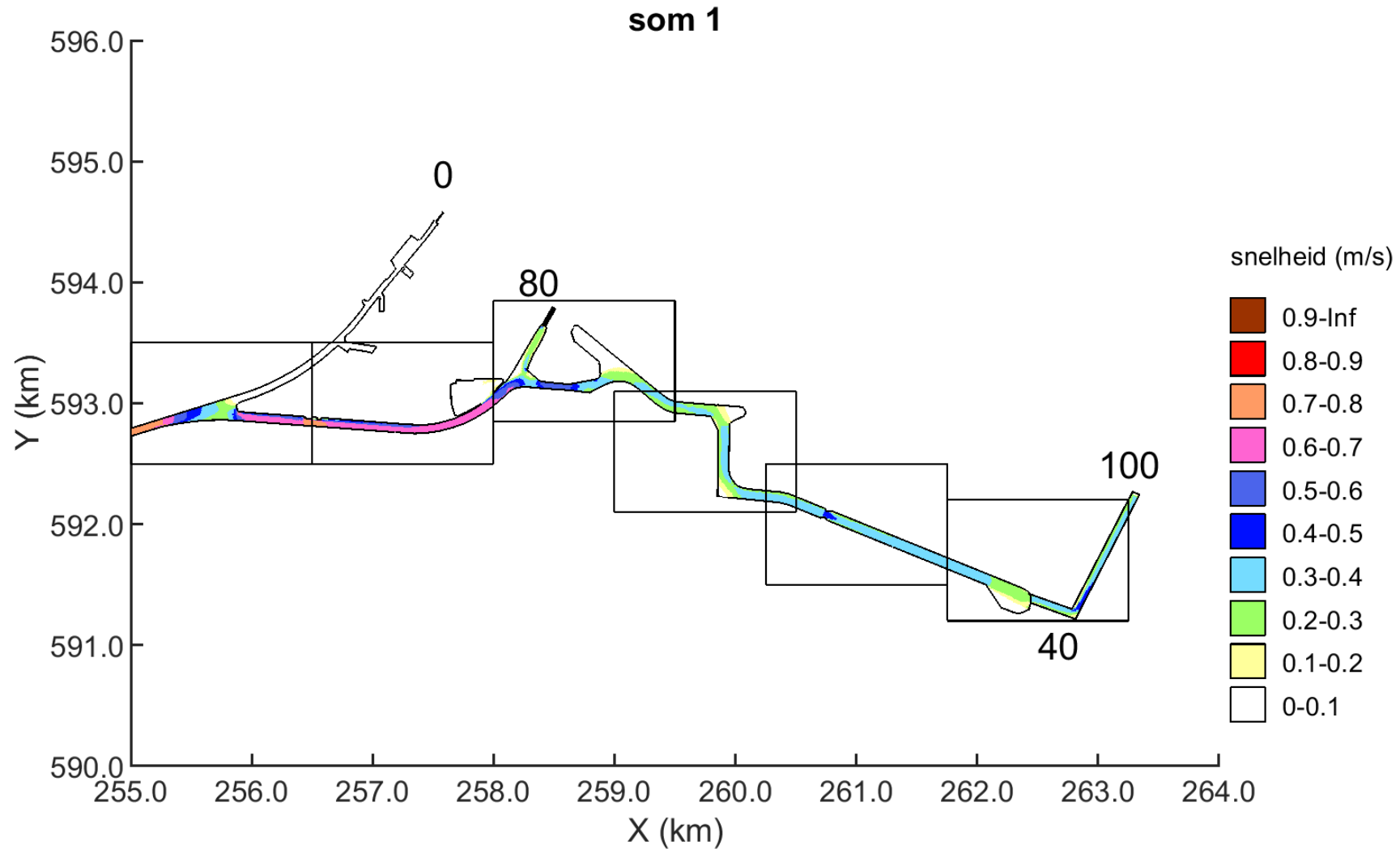
Toelichting bij resultaten

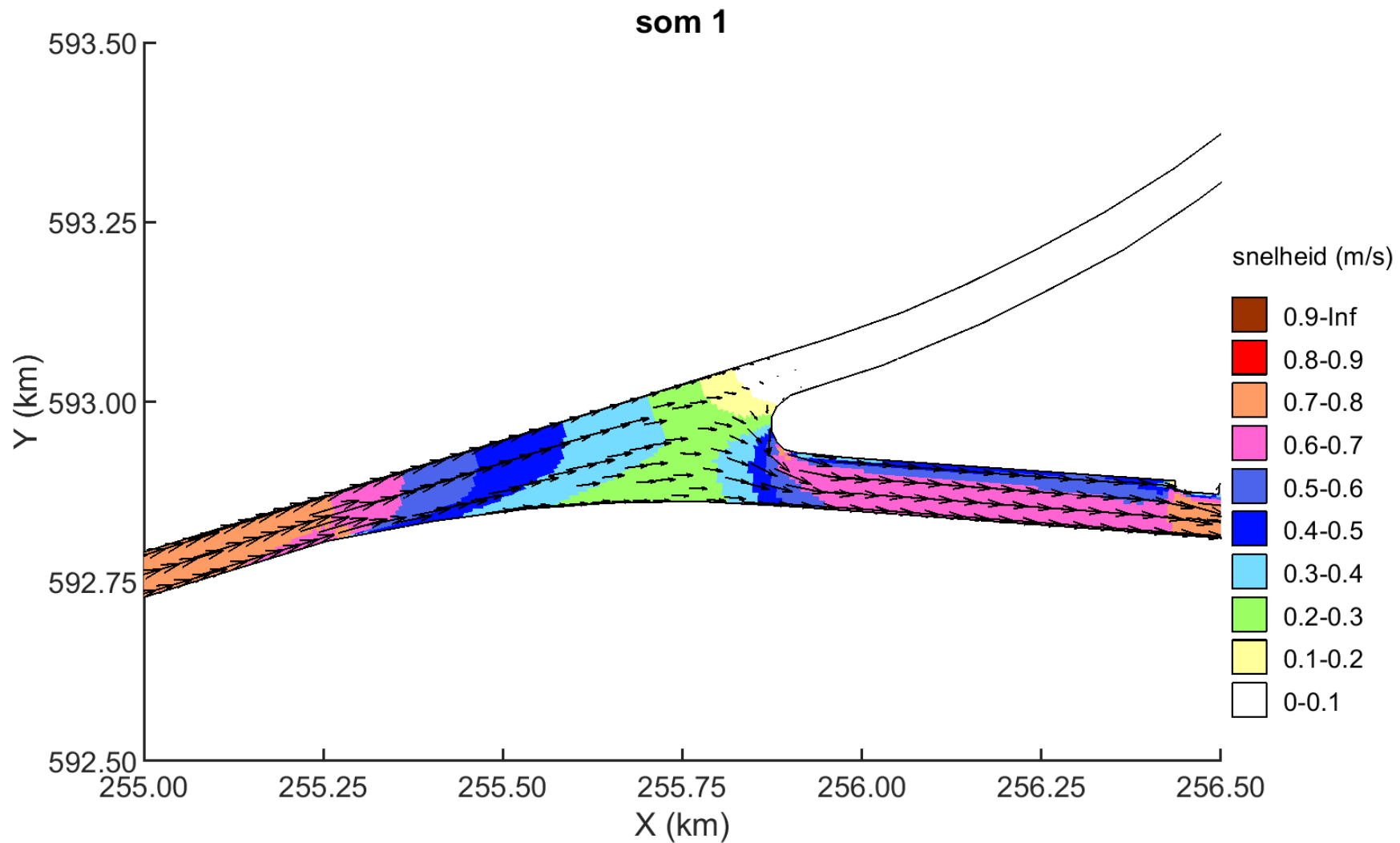


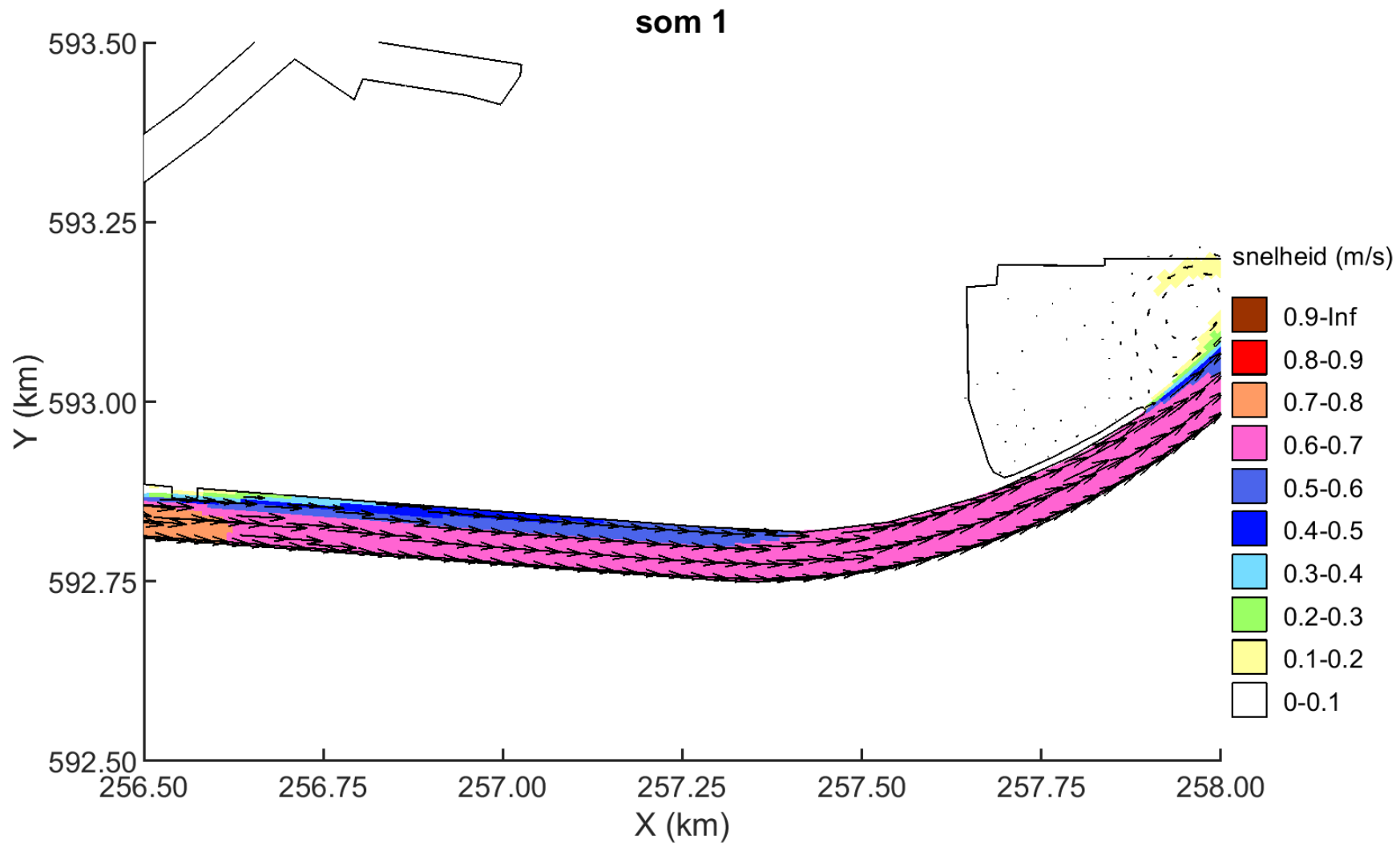
SOM 1

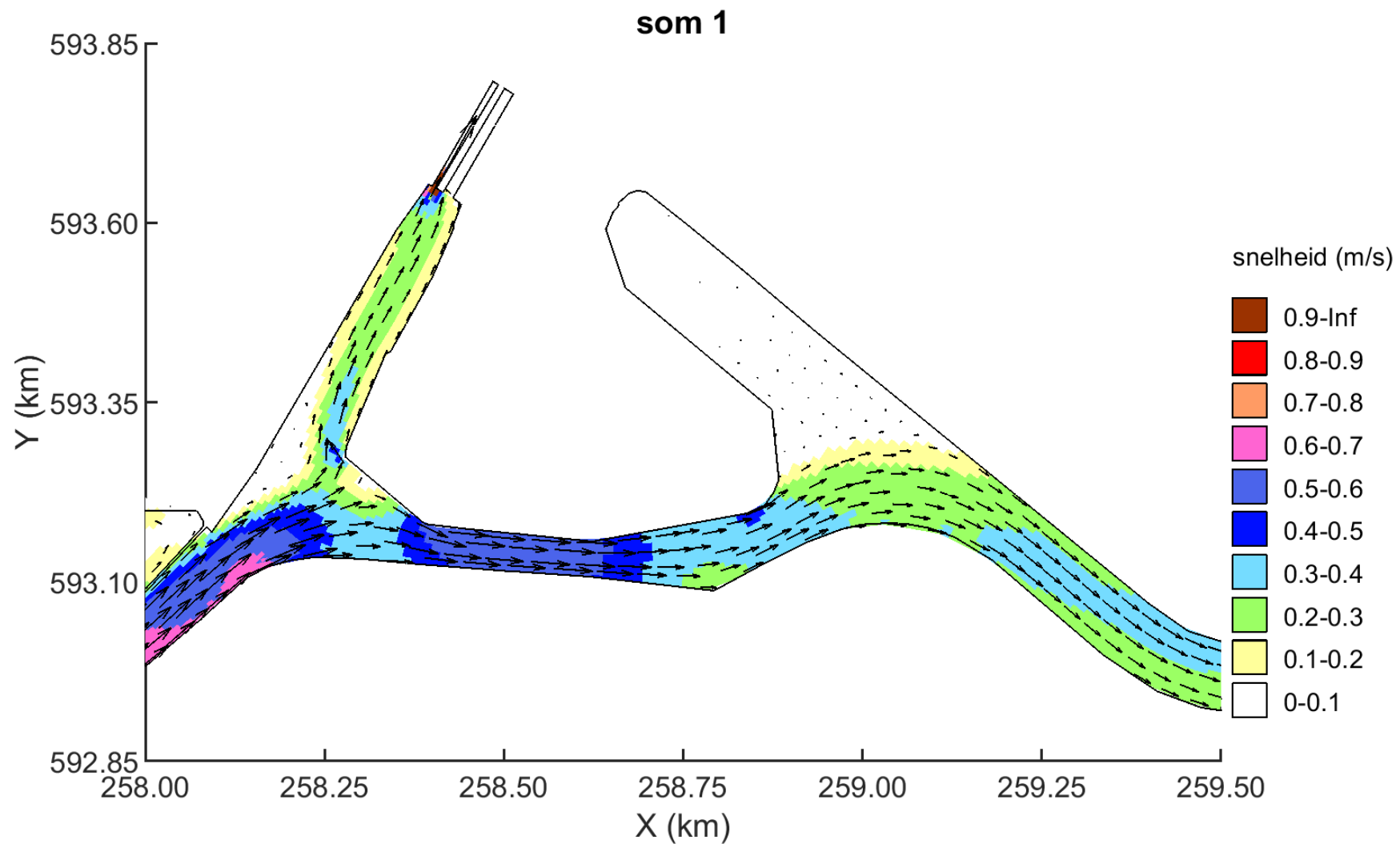
Alternatief 3

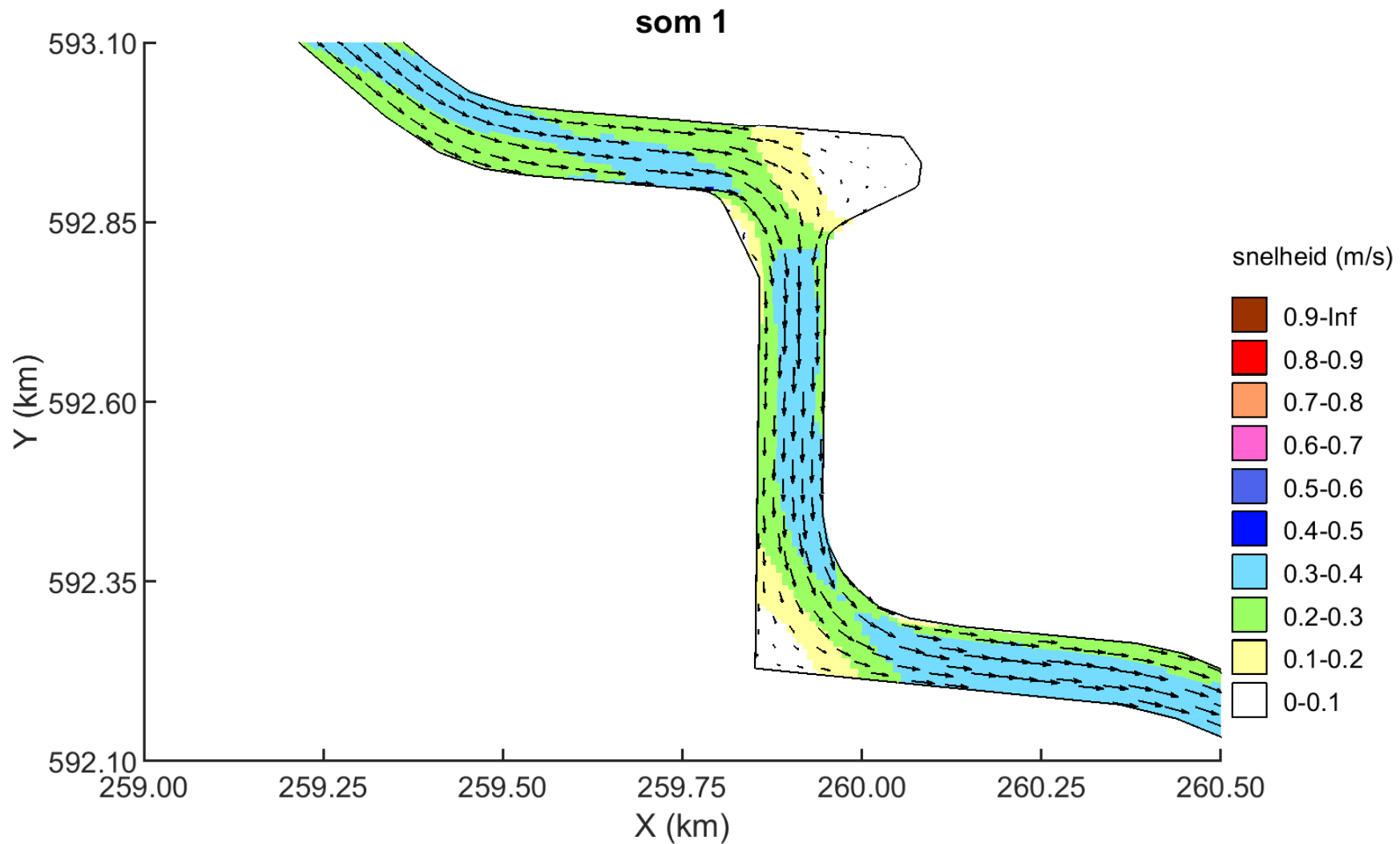


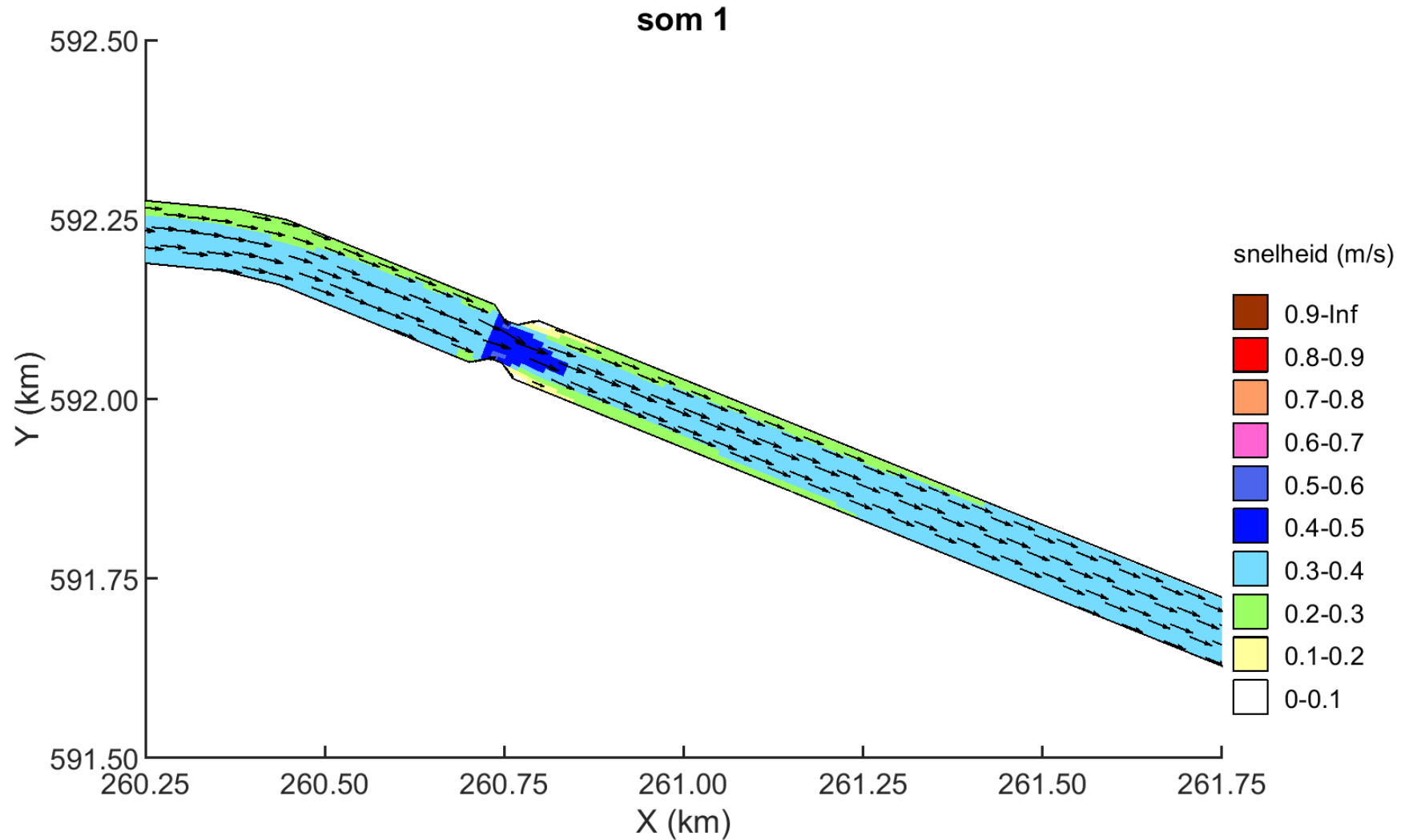


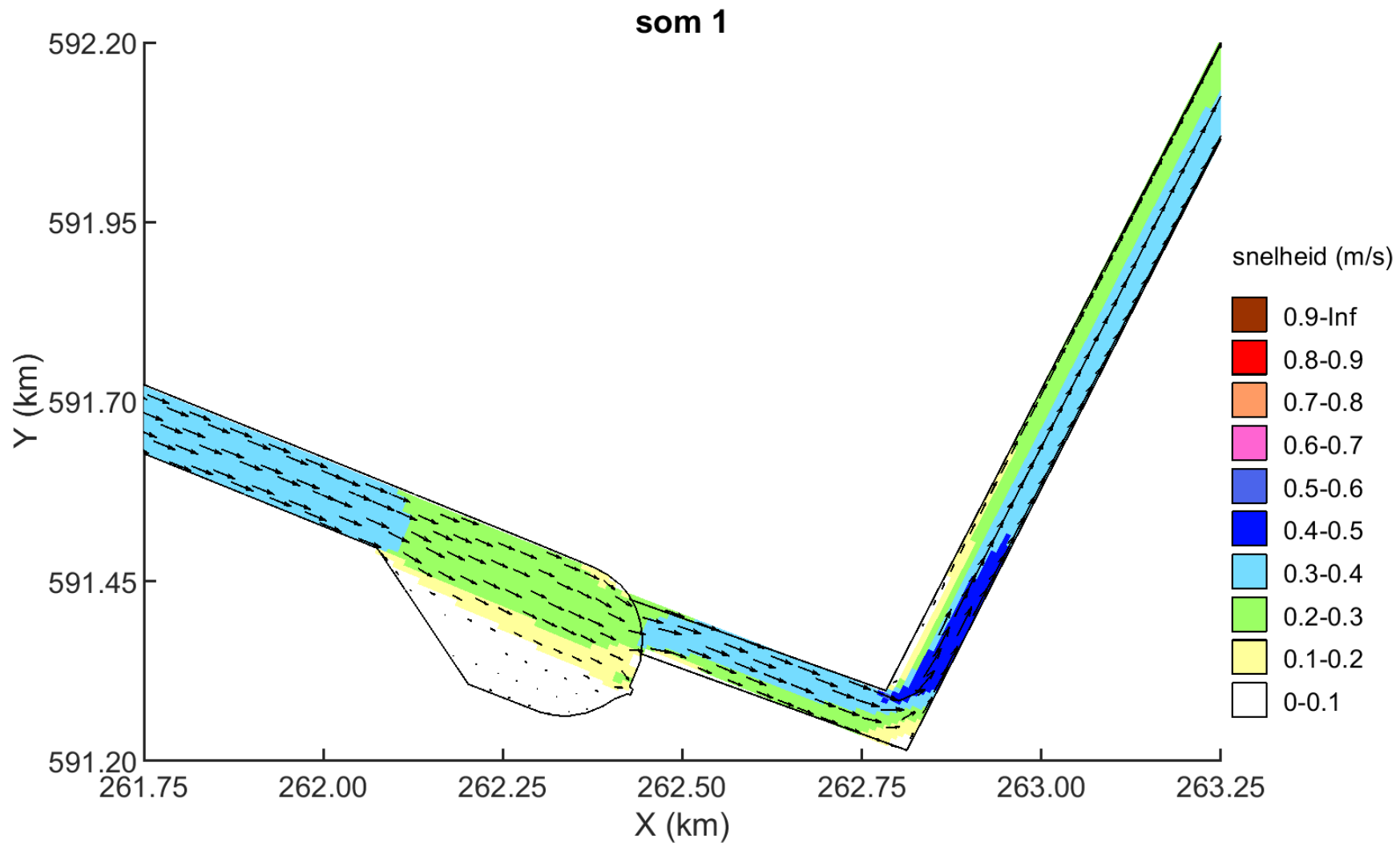






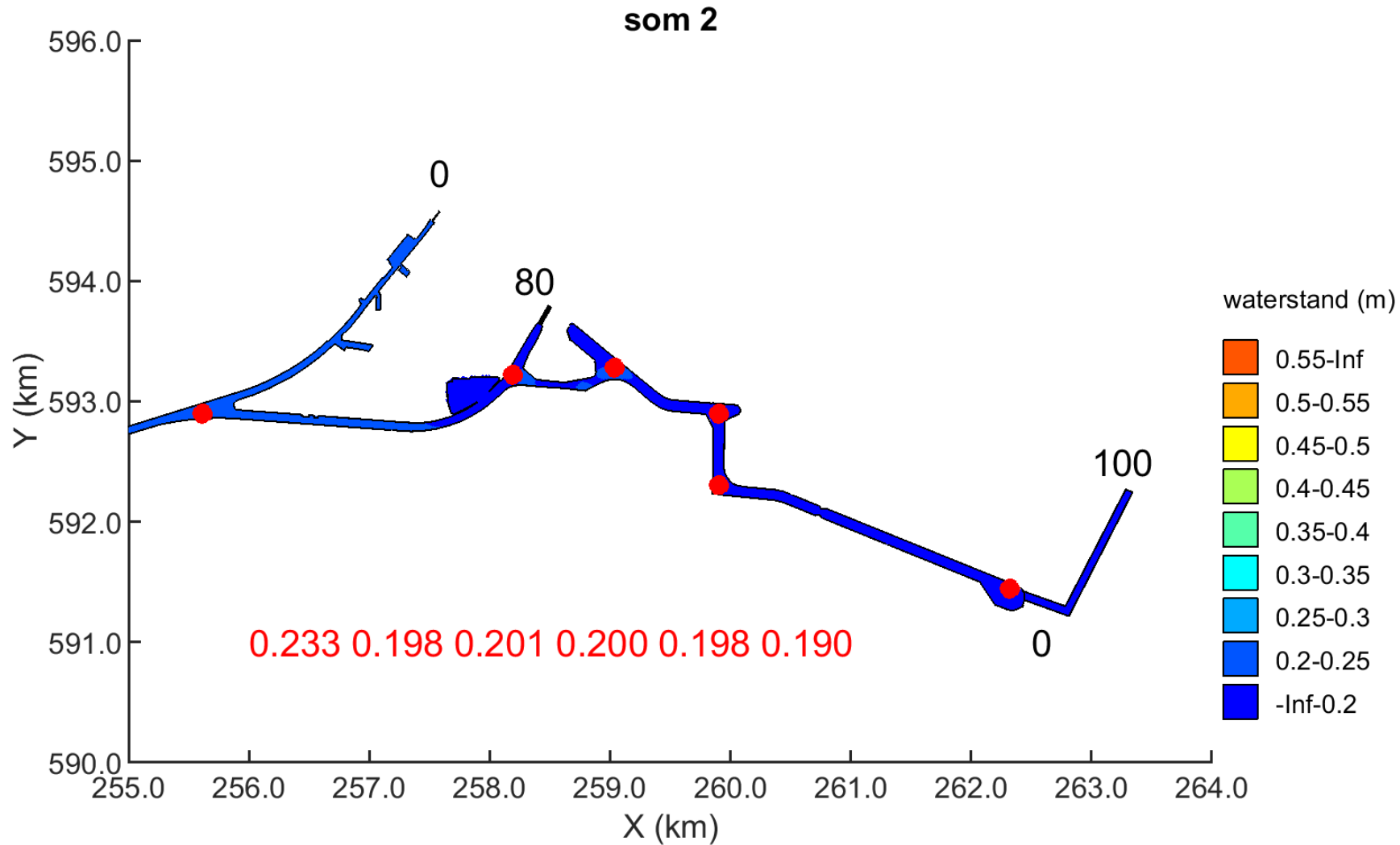


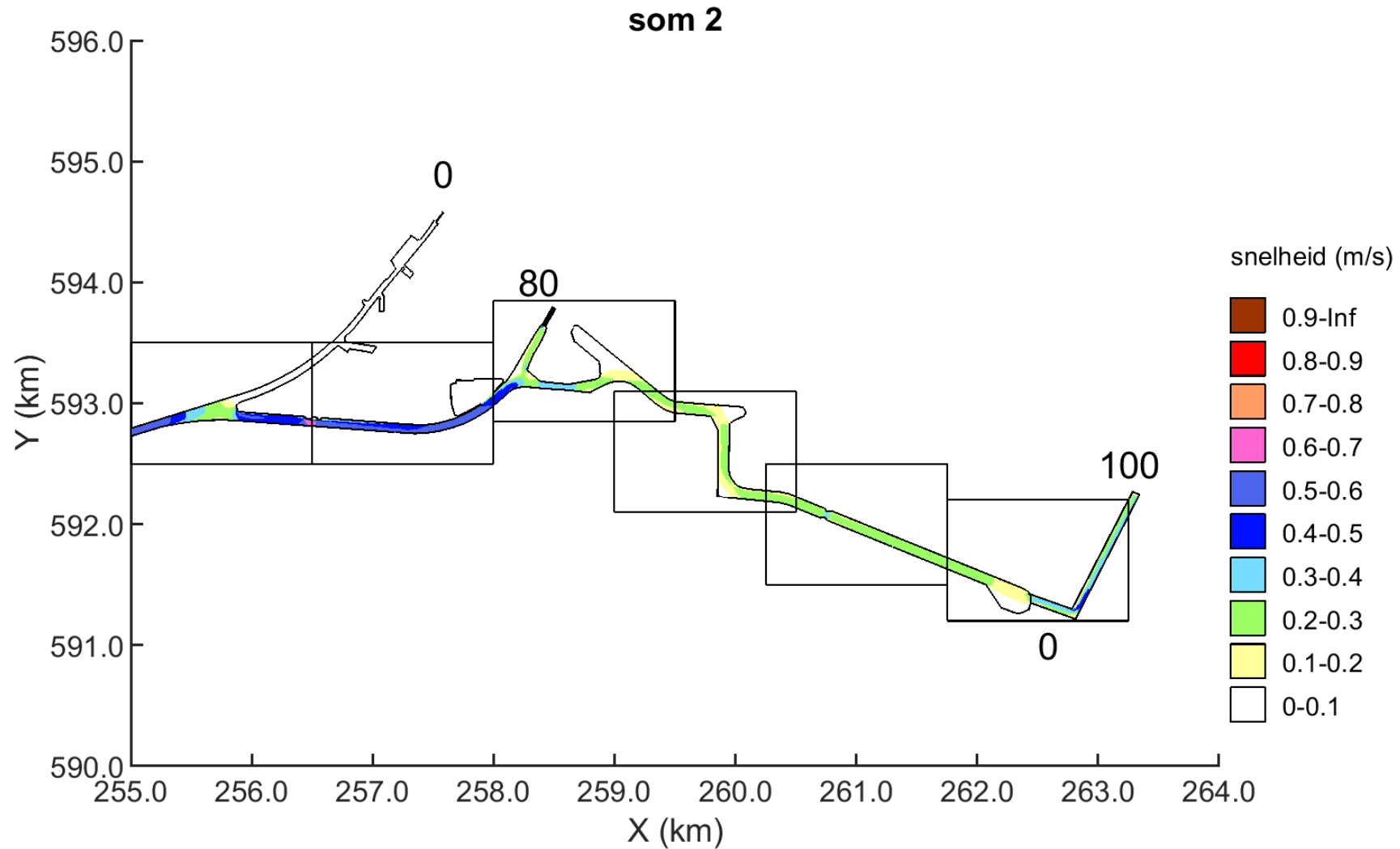


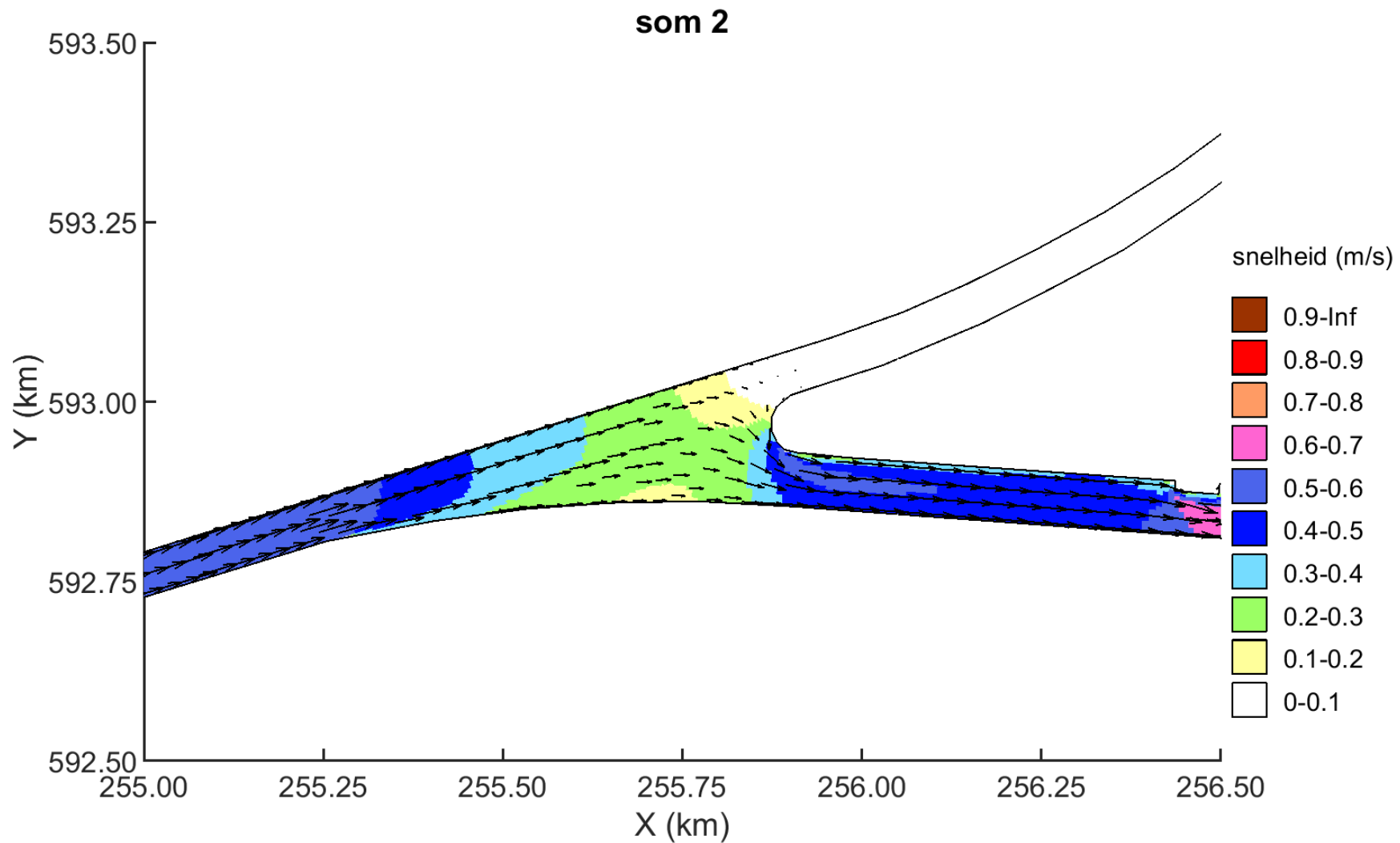


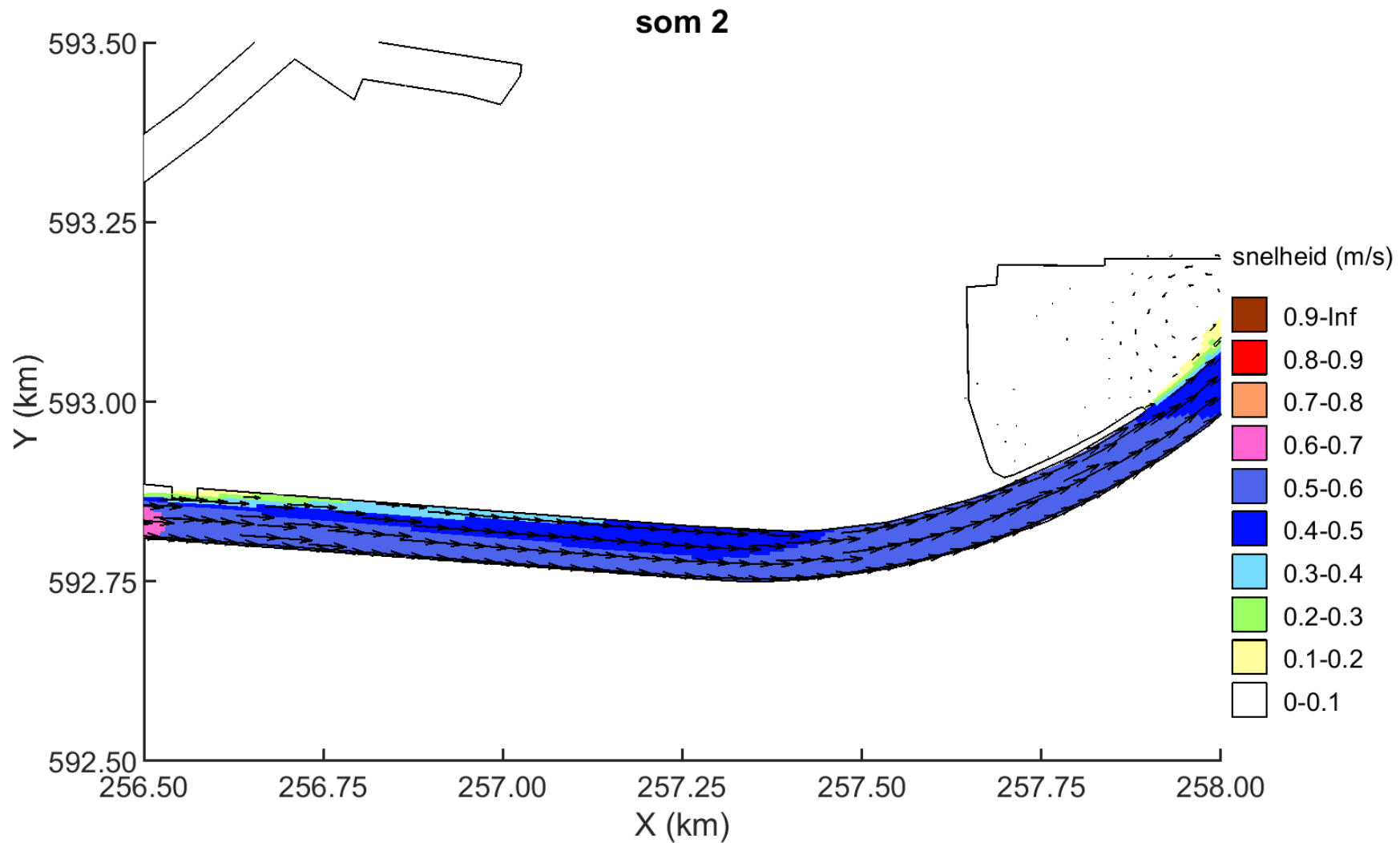
SOM 2

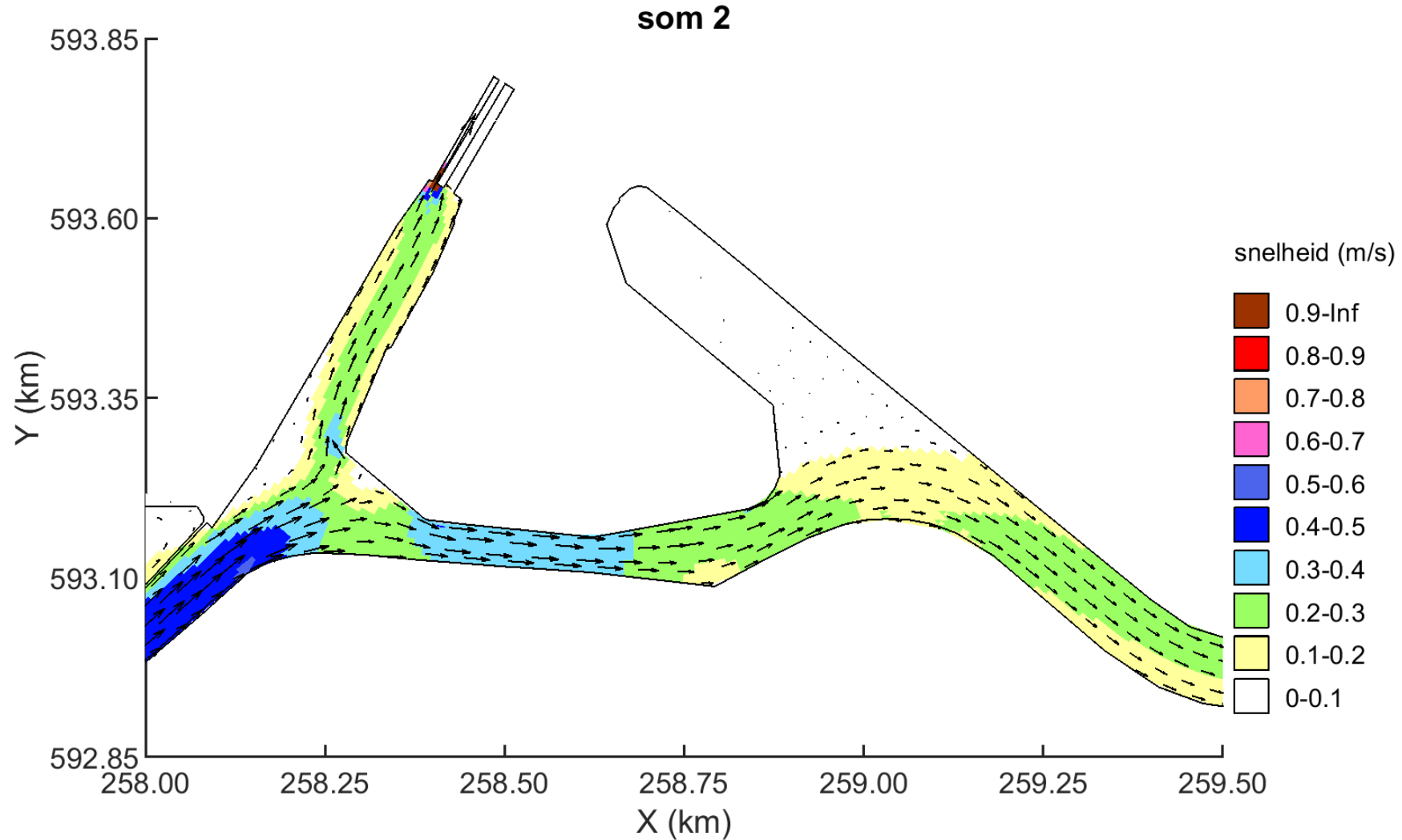
Alternatief 3

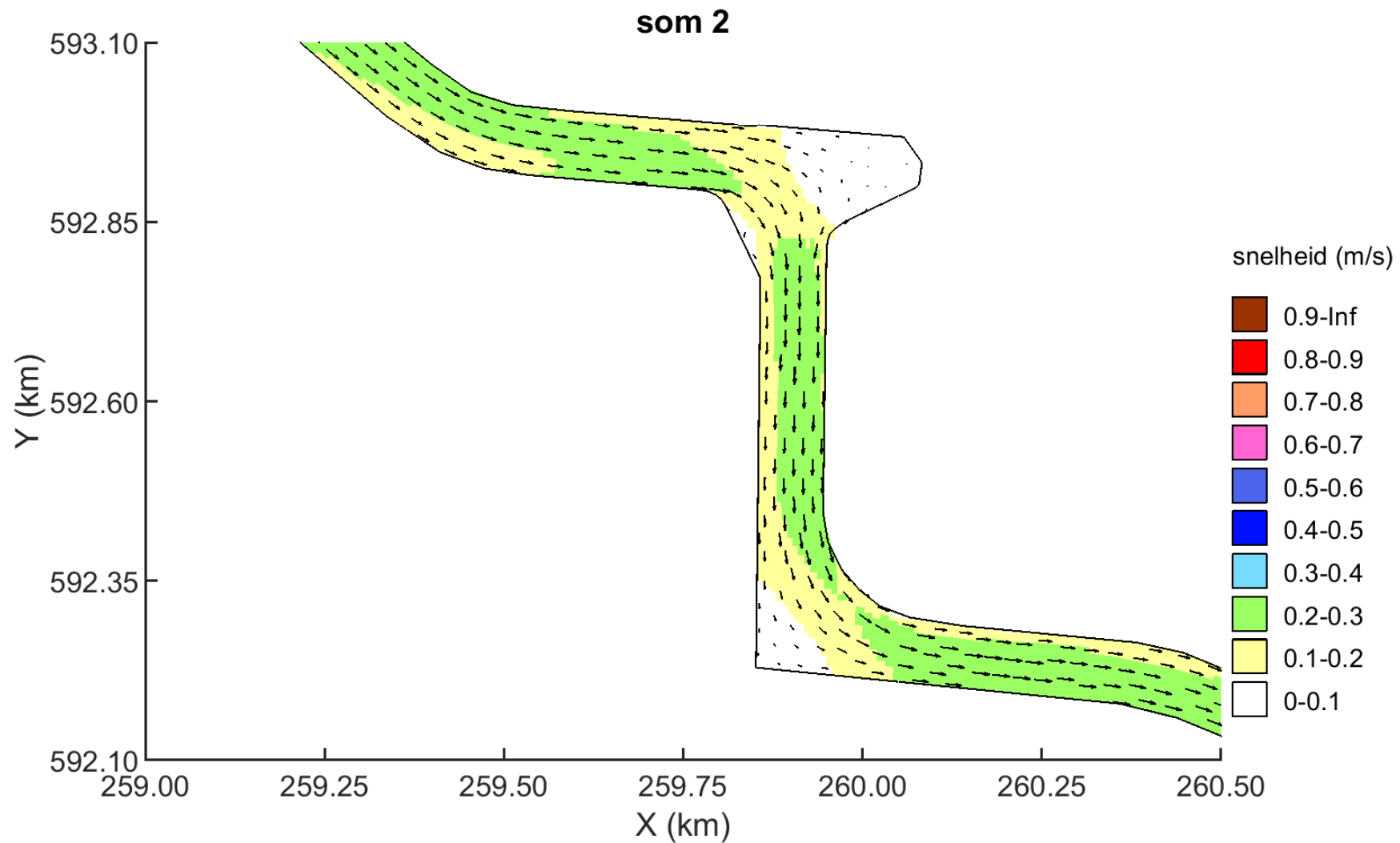


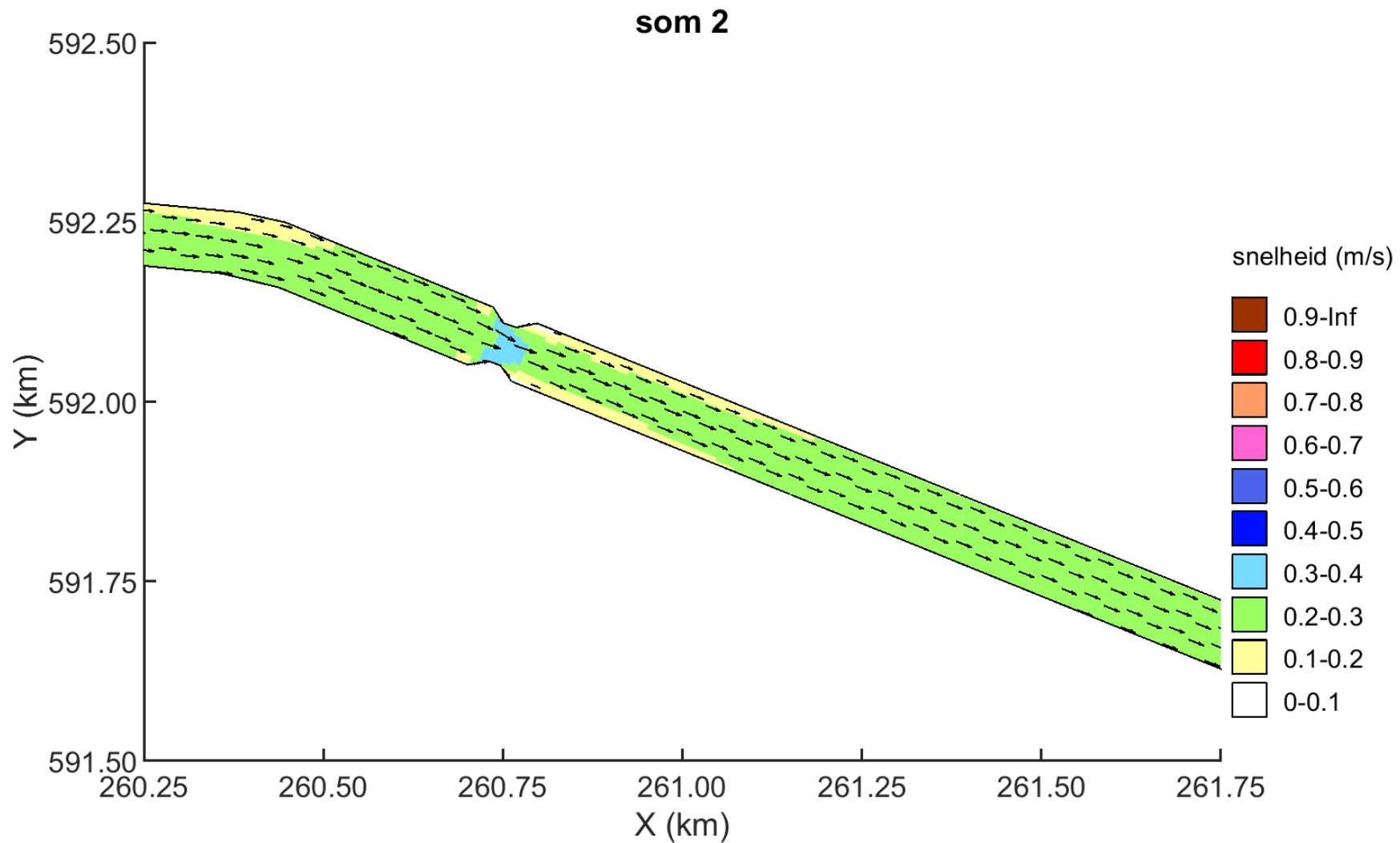


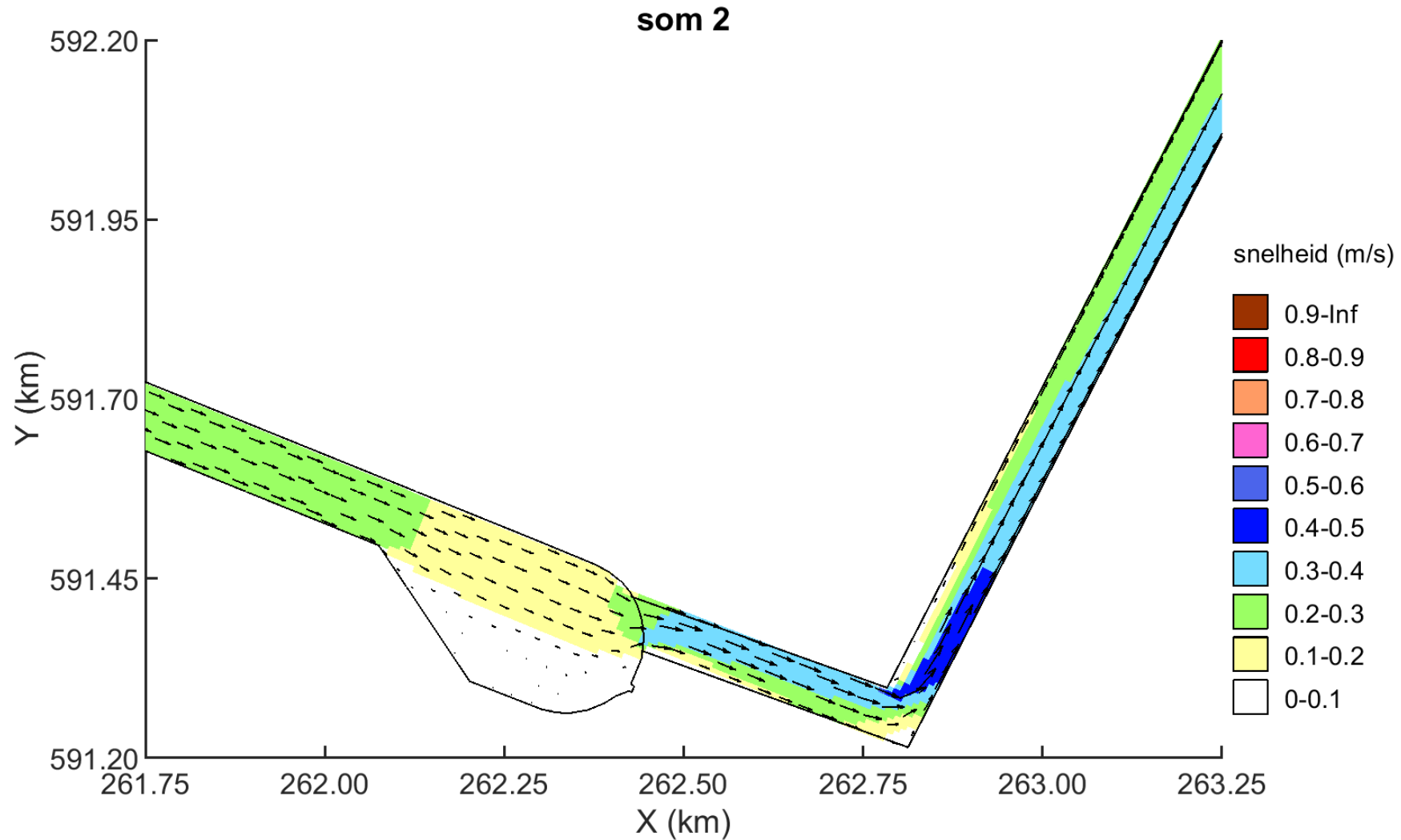






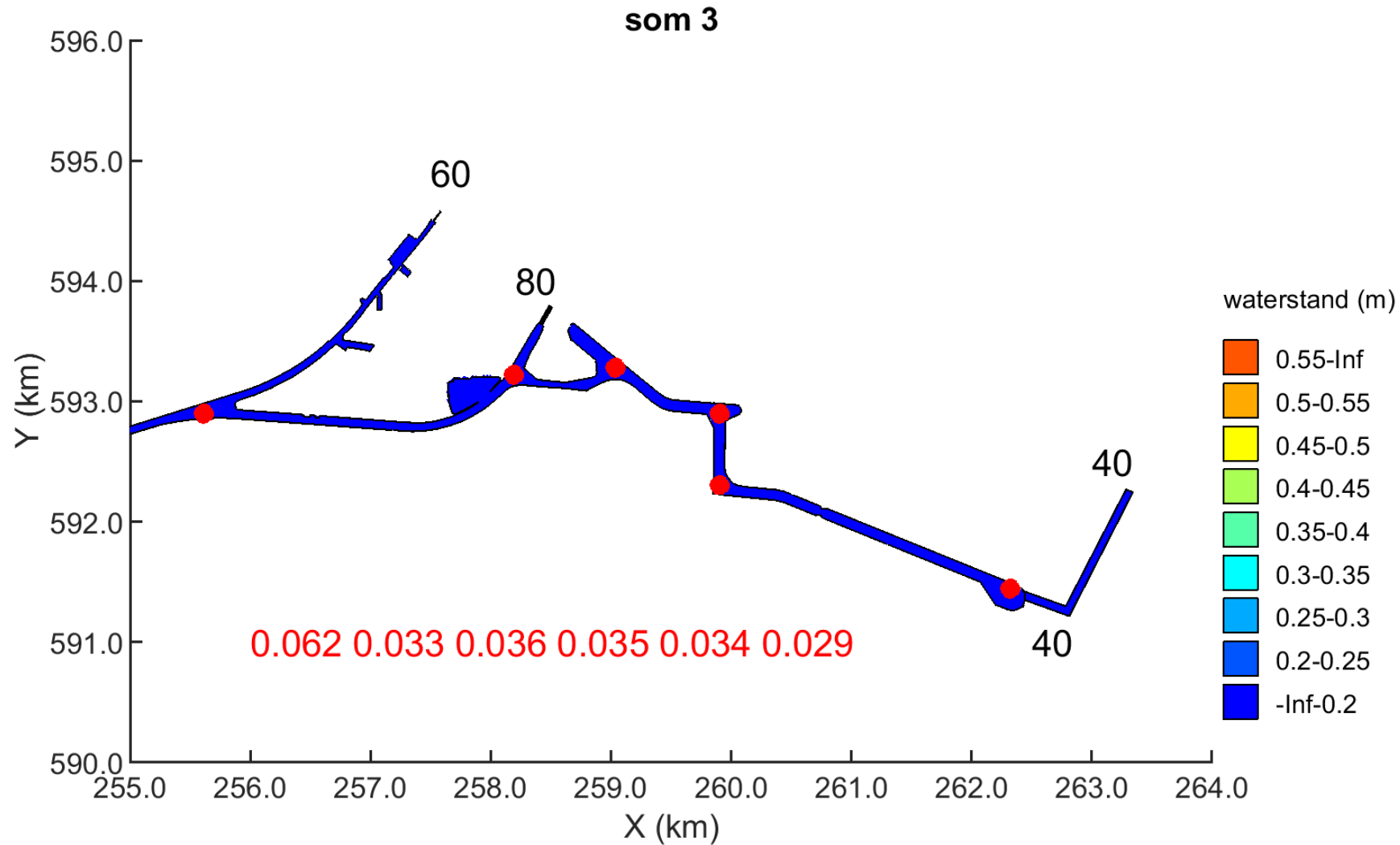


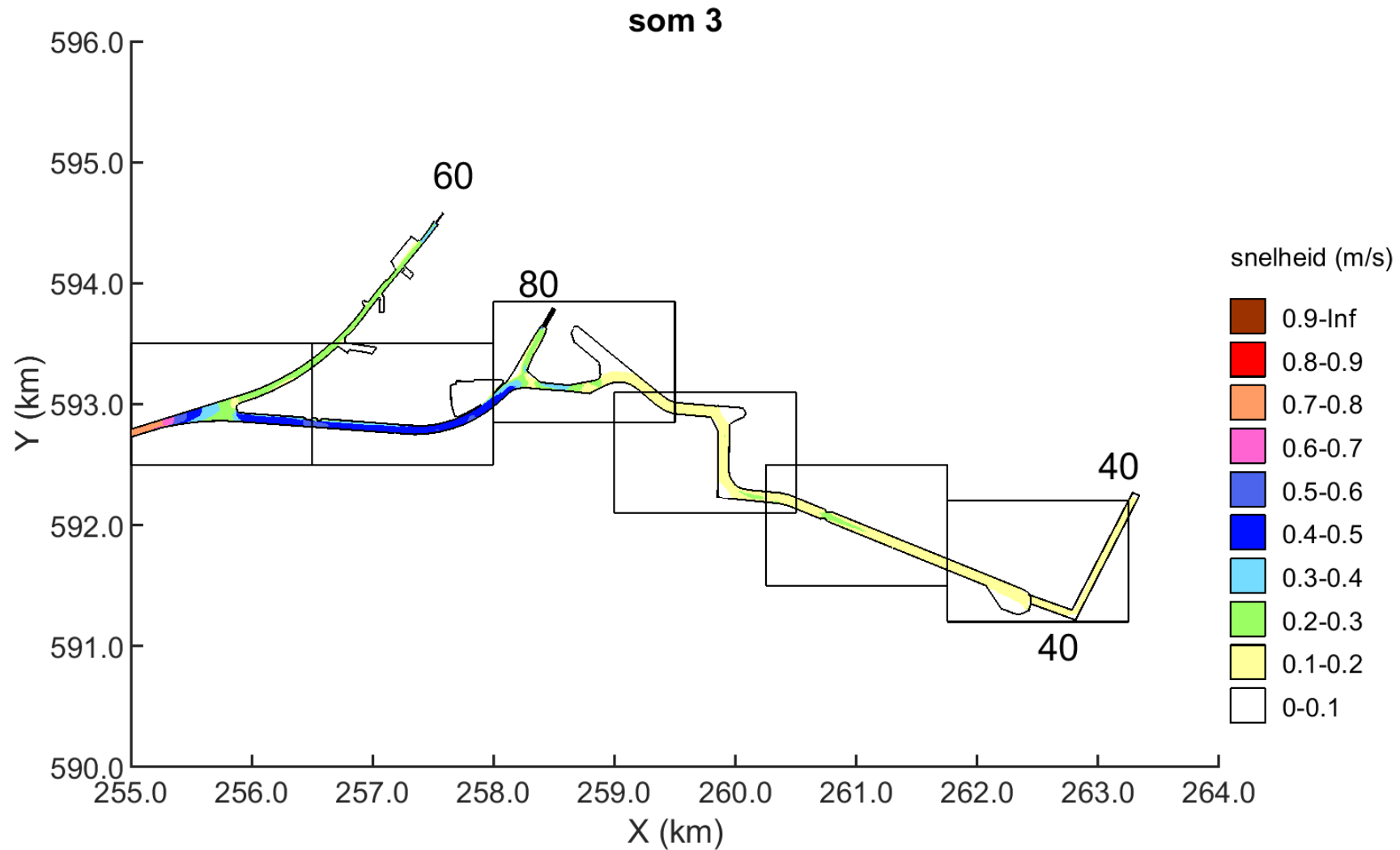


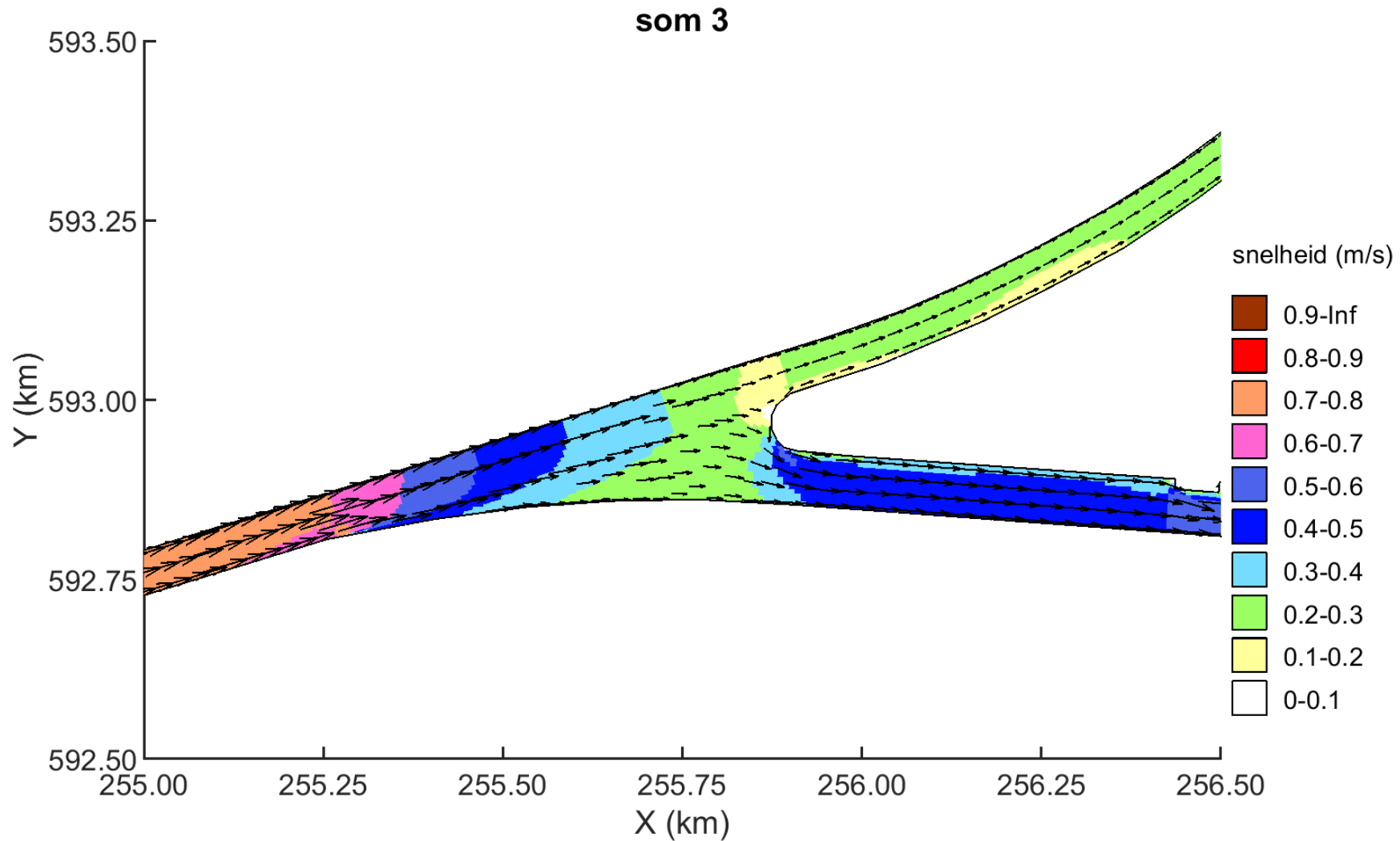


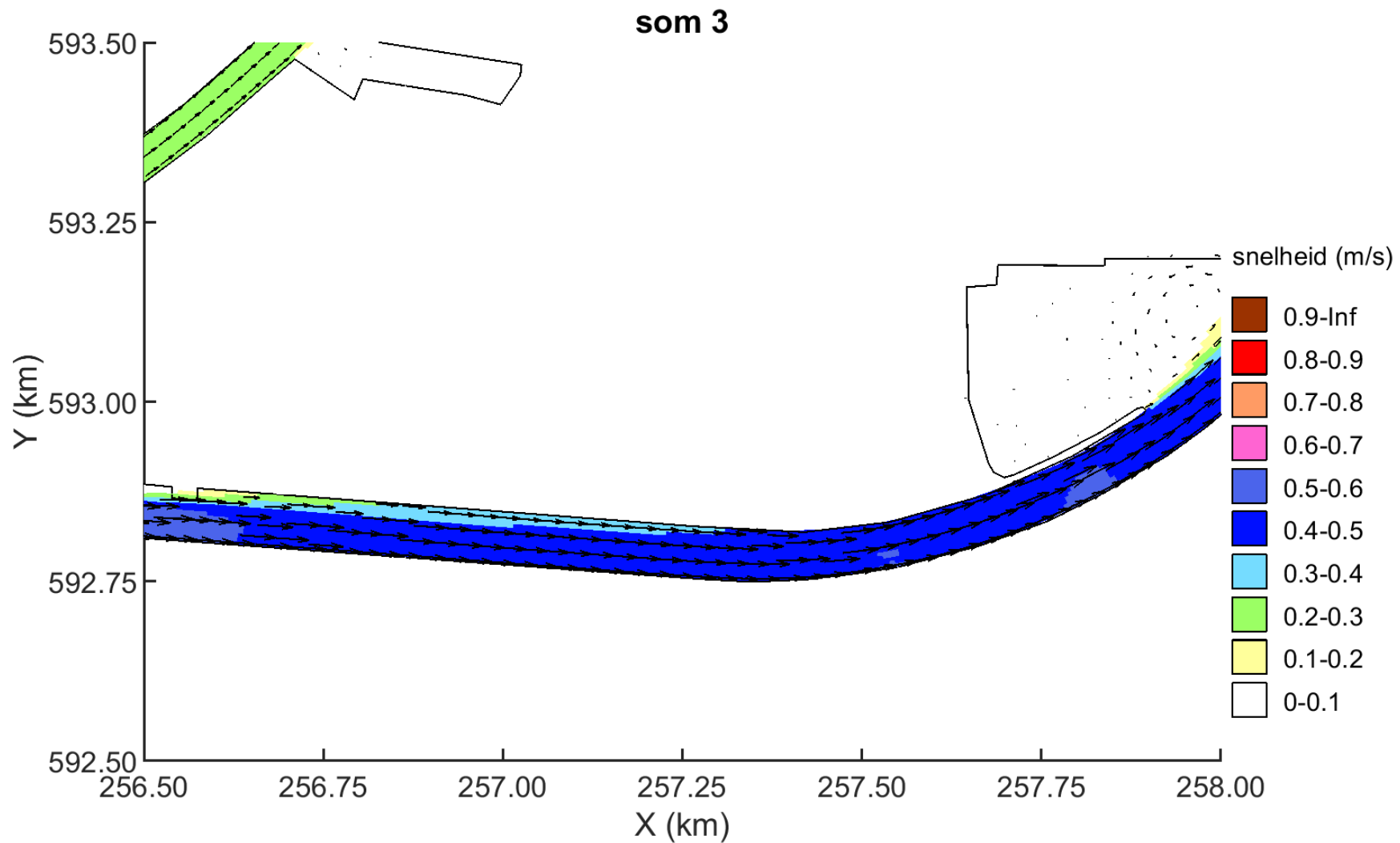
SOM 3

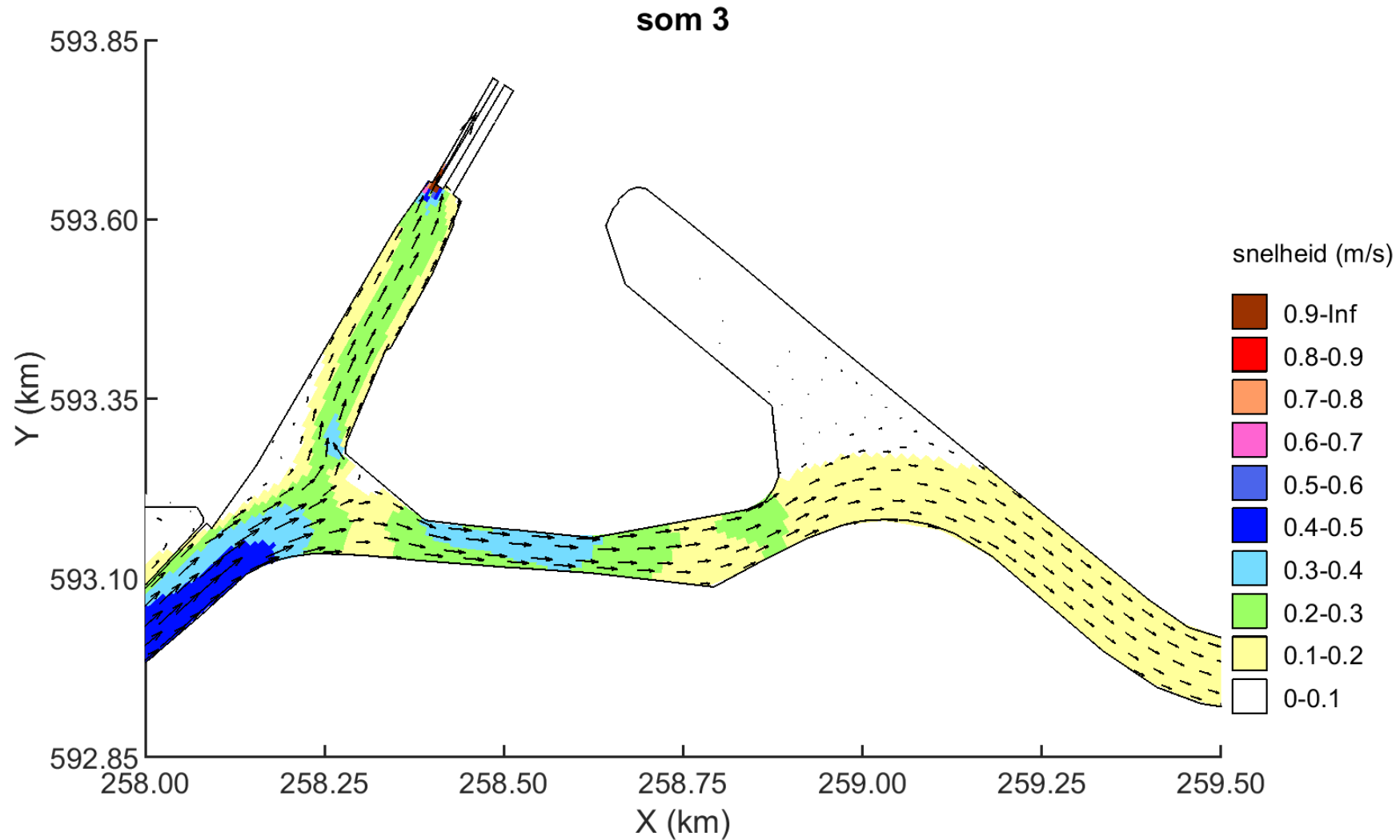
Alternatief 2 winter

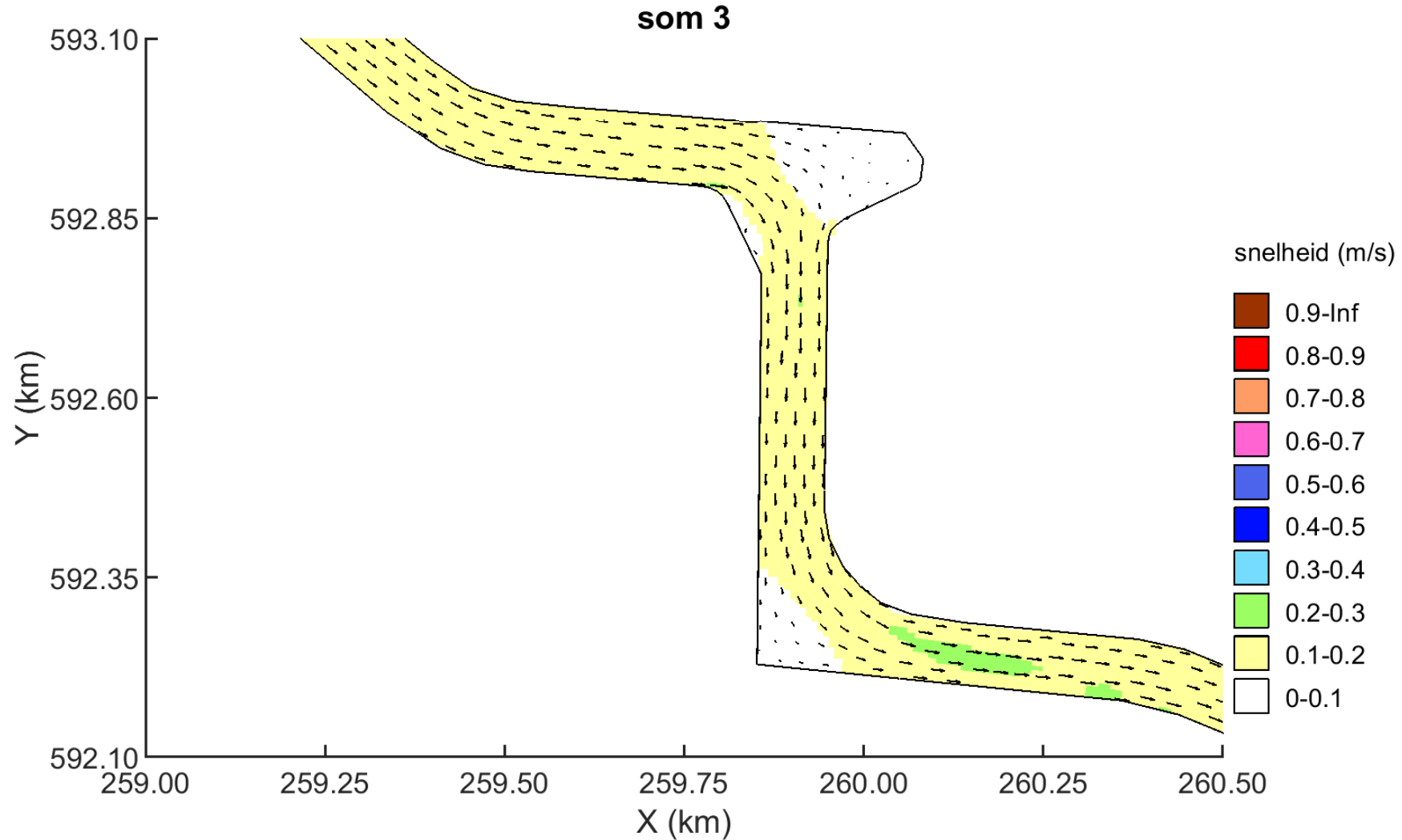




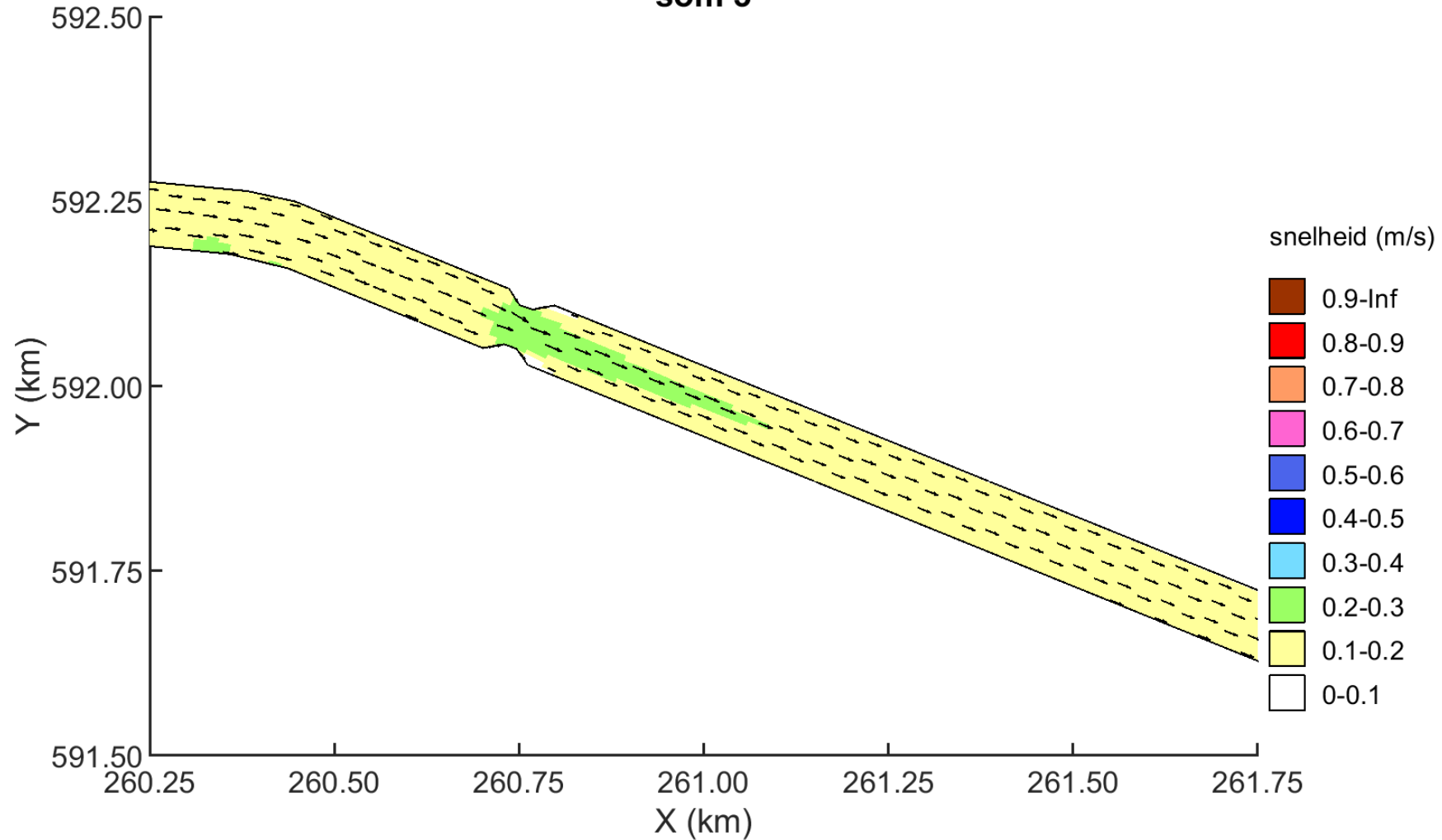


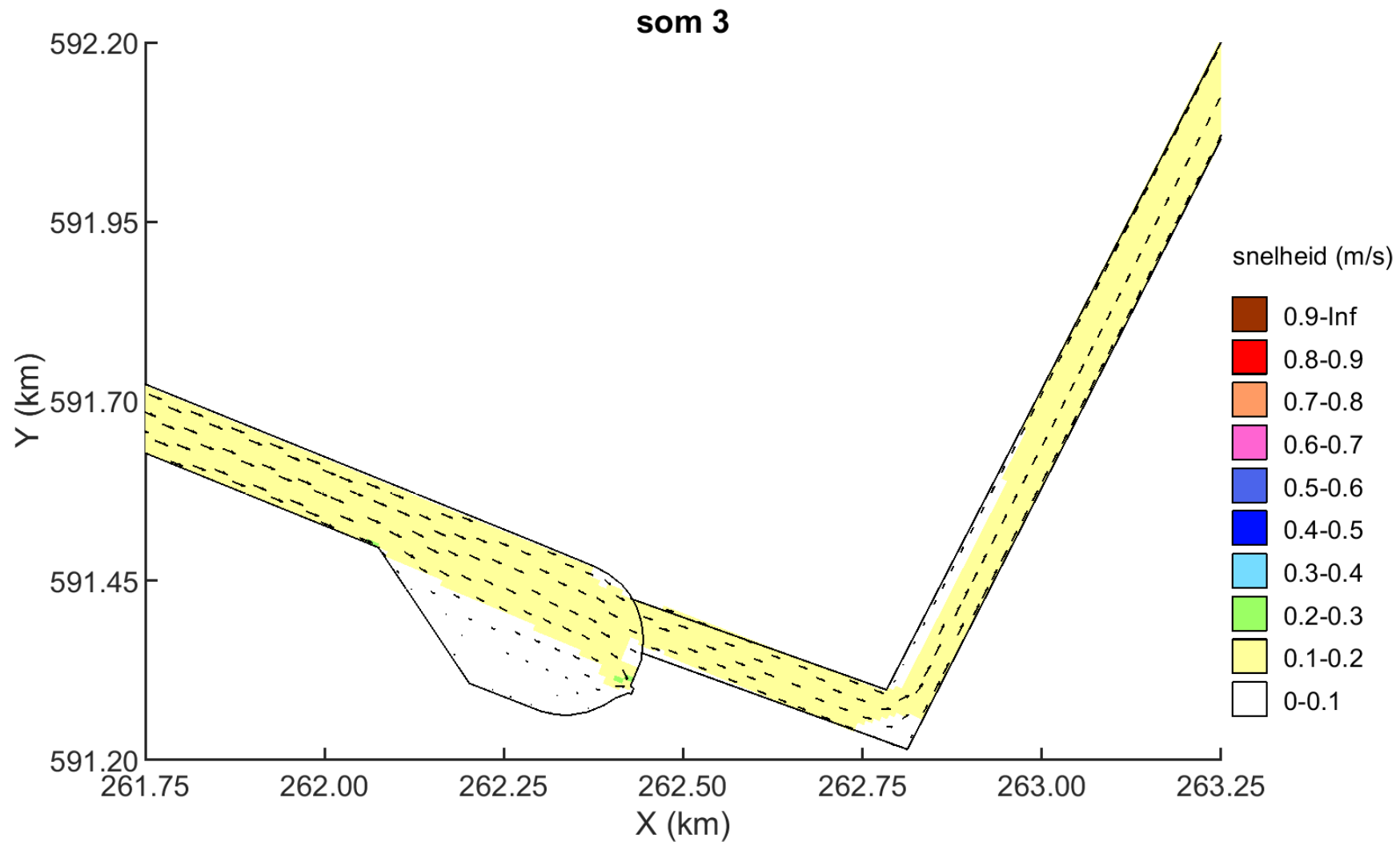






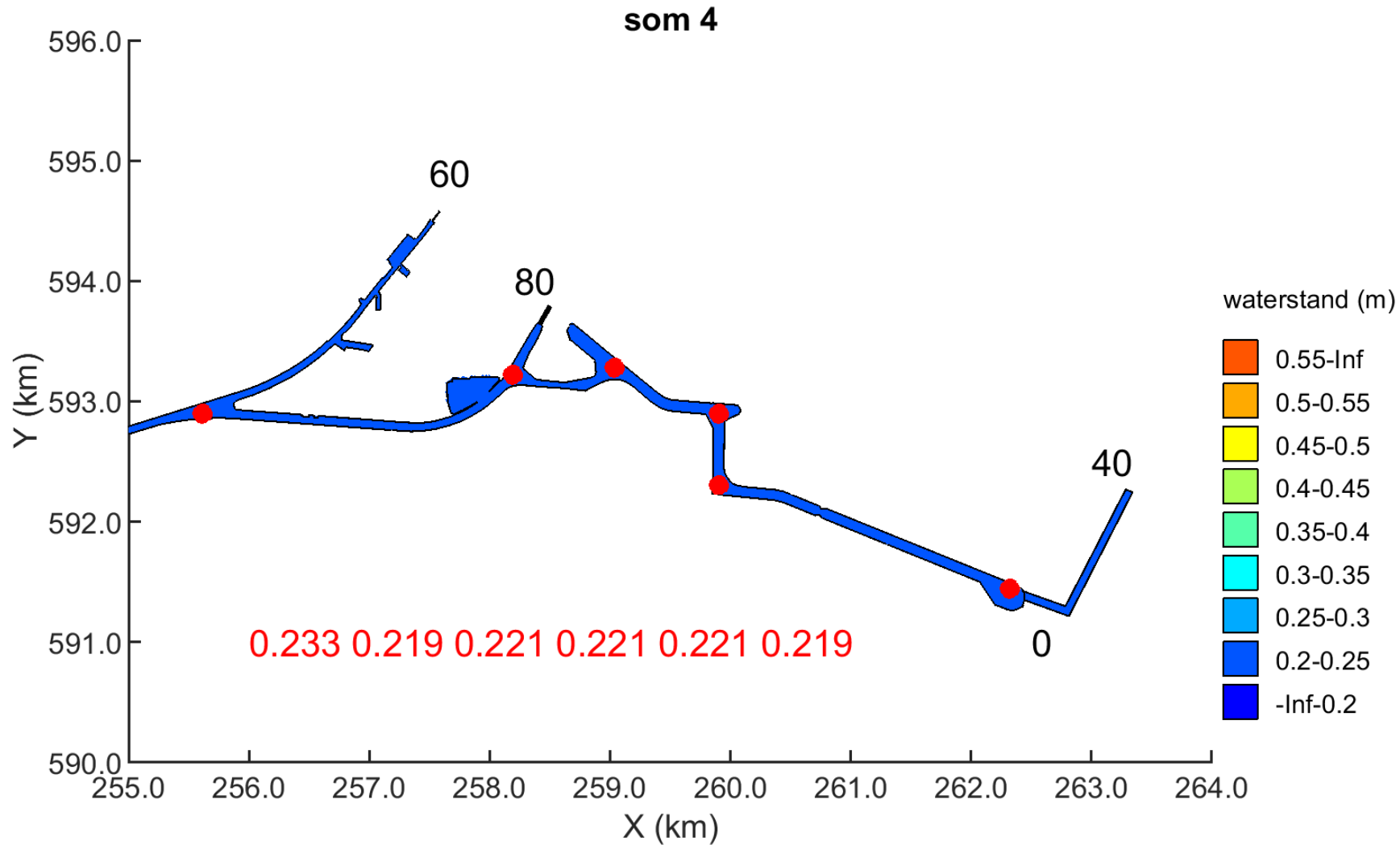
som 3

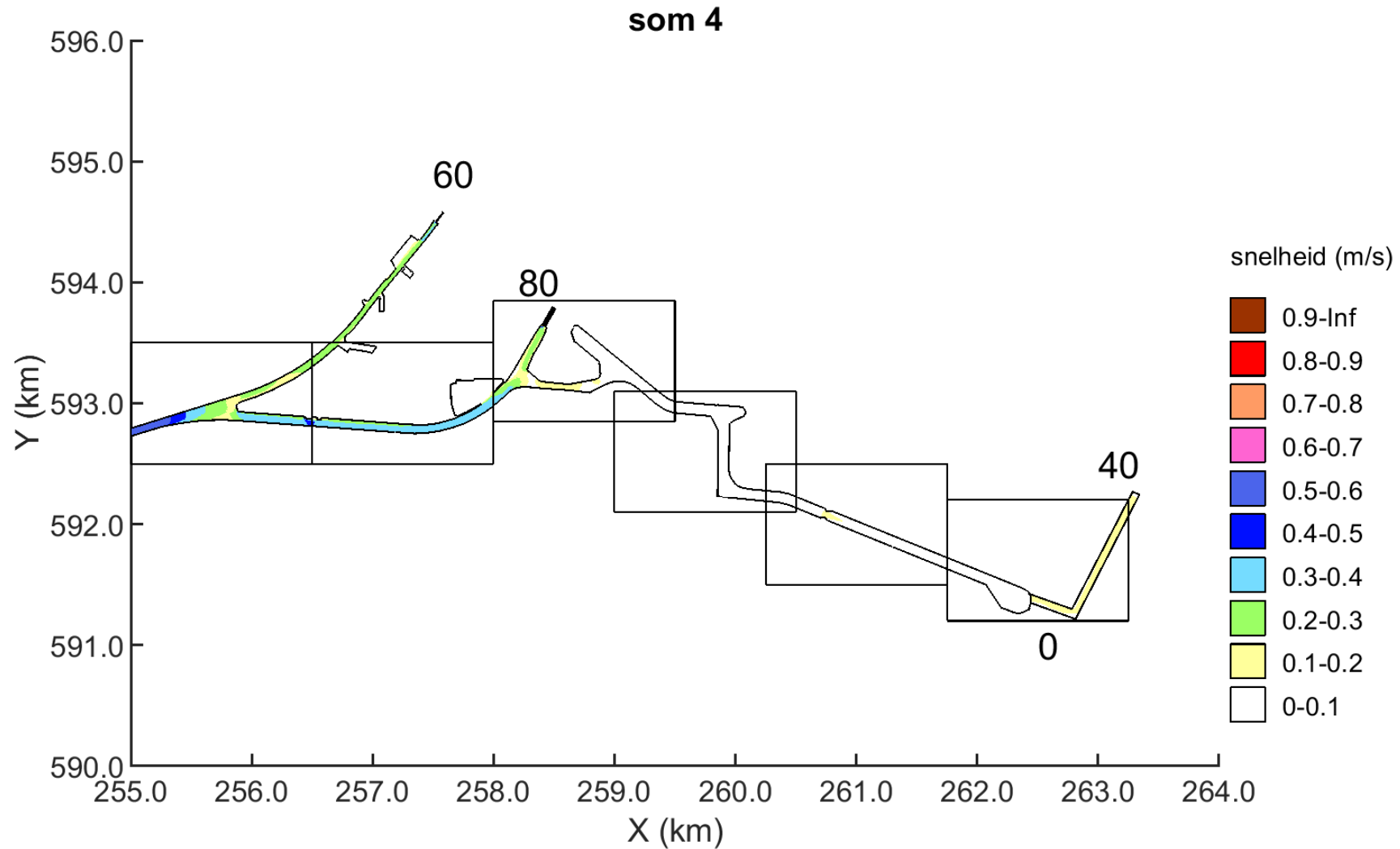


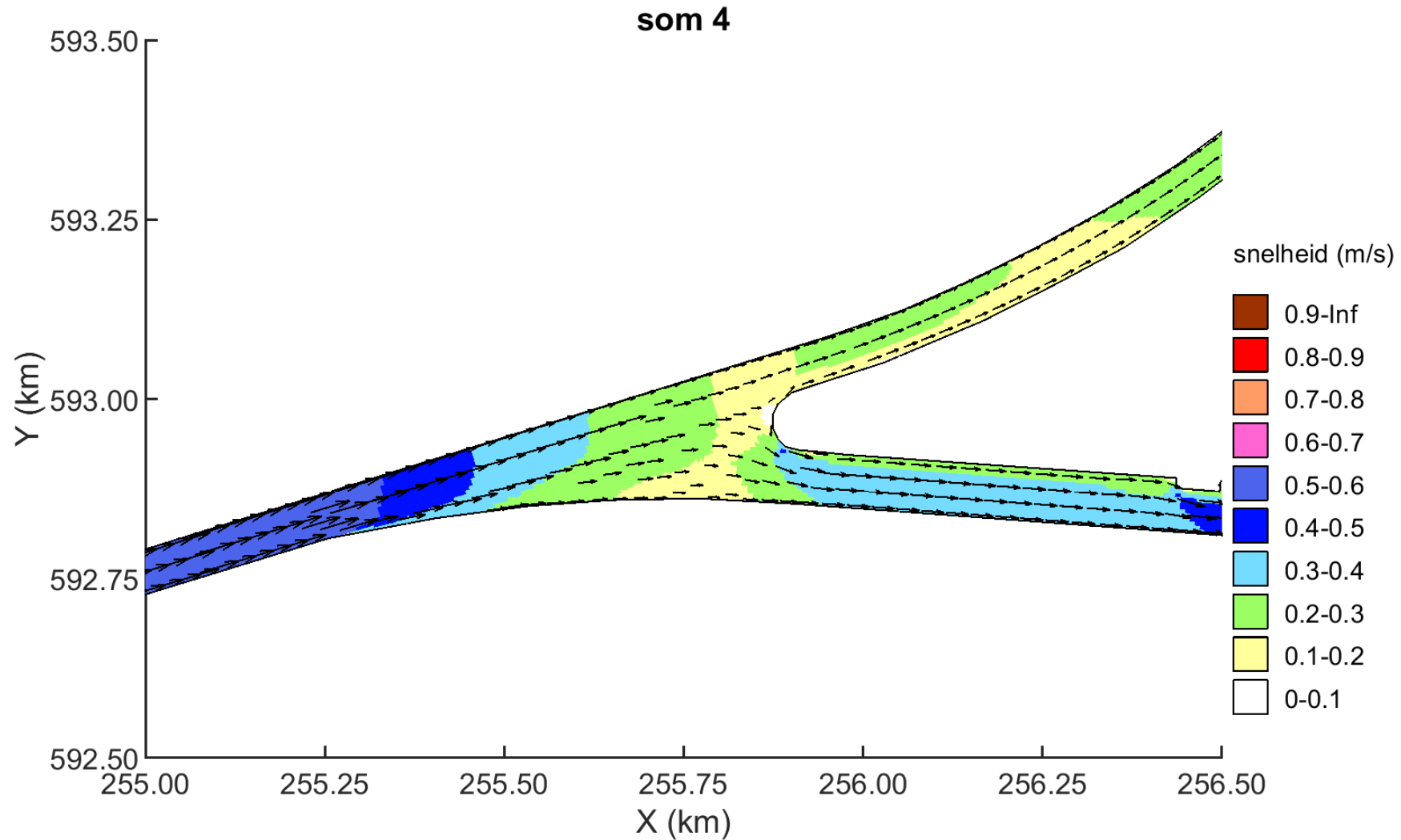


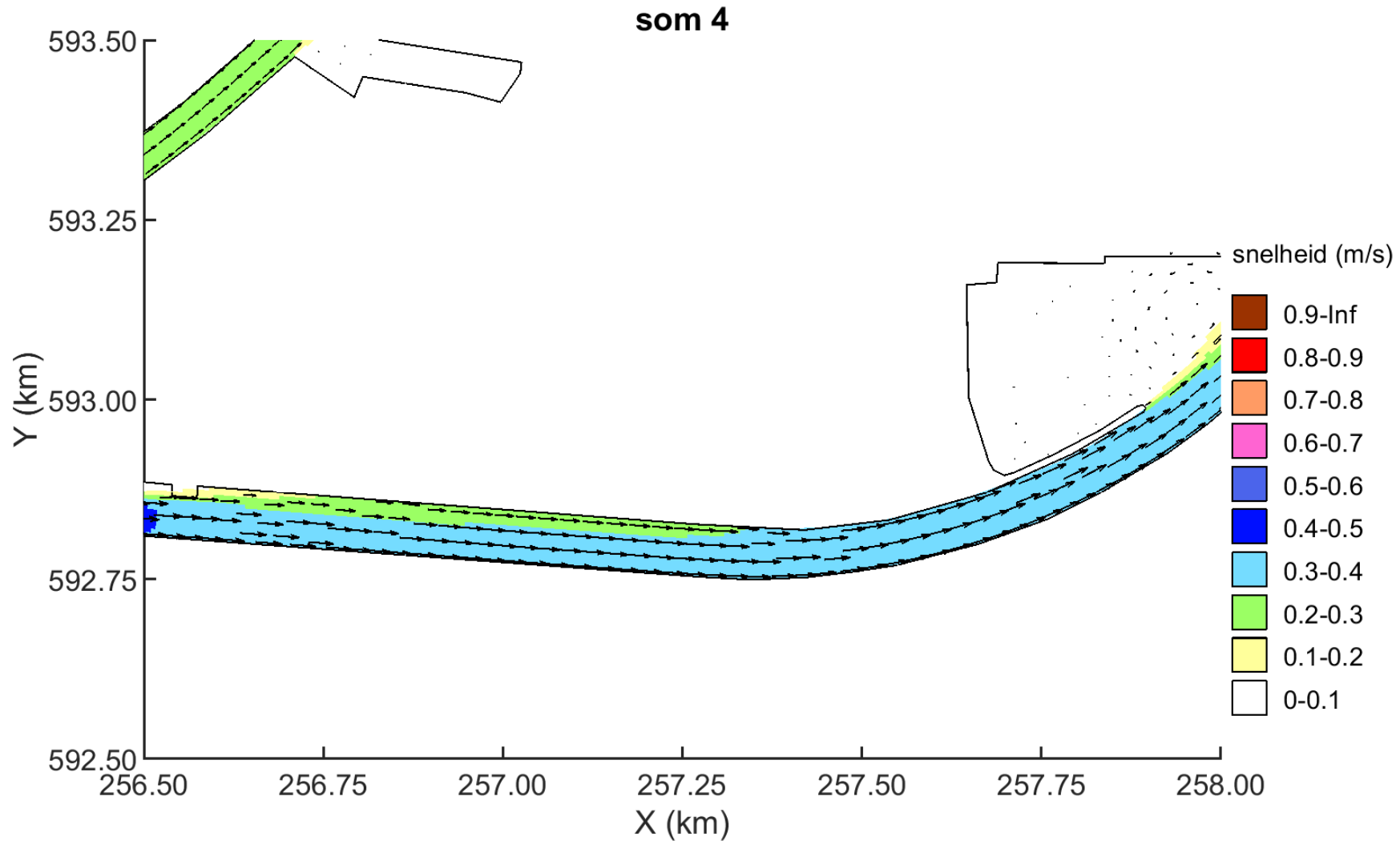
SOM 4

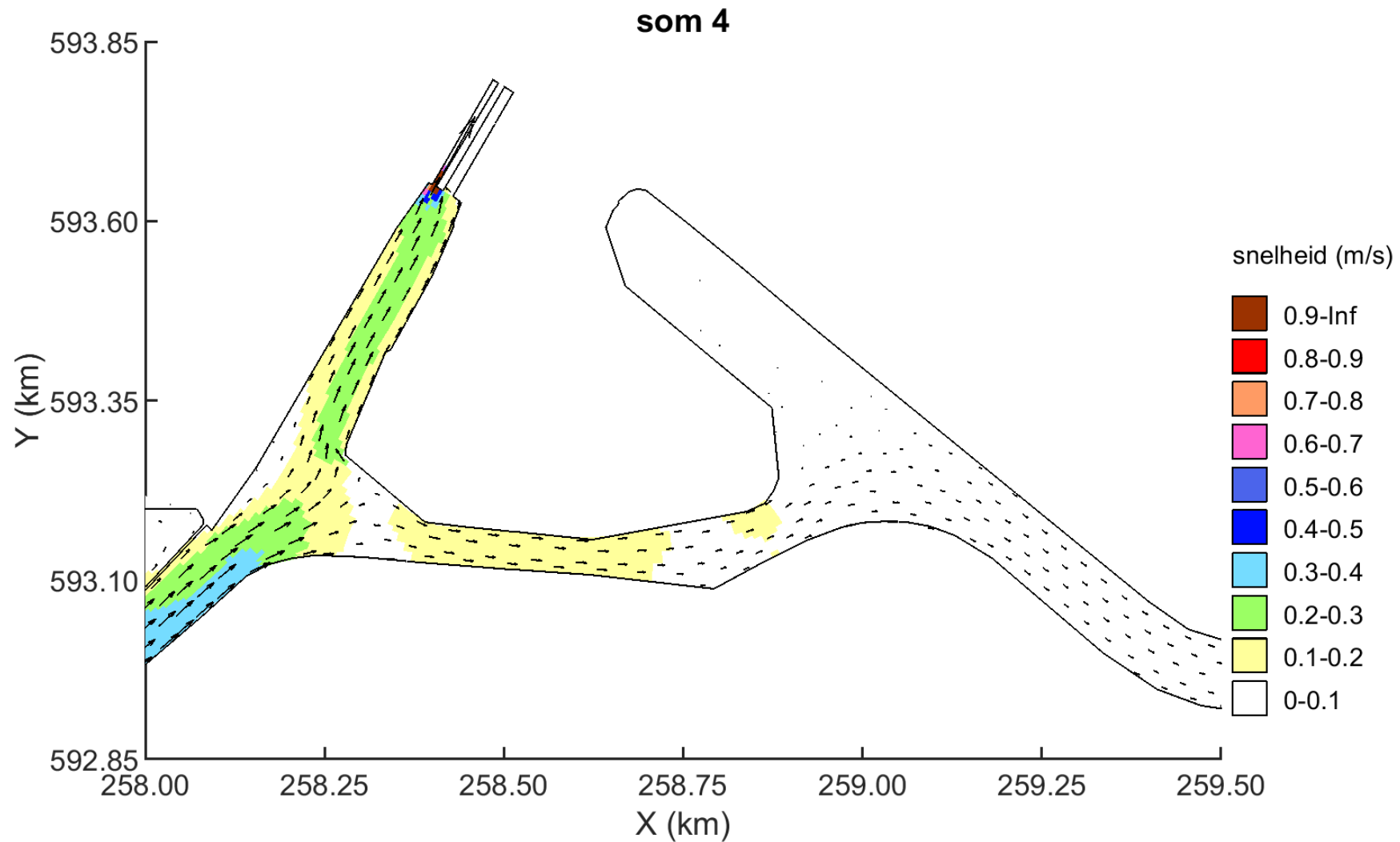
Alternatief 2 winter

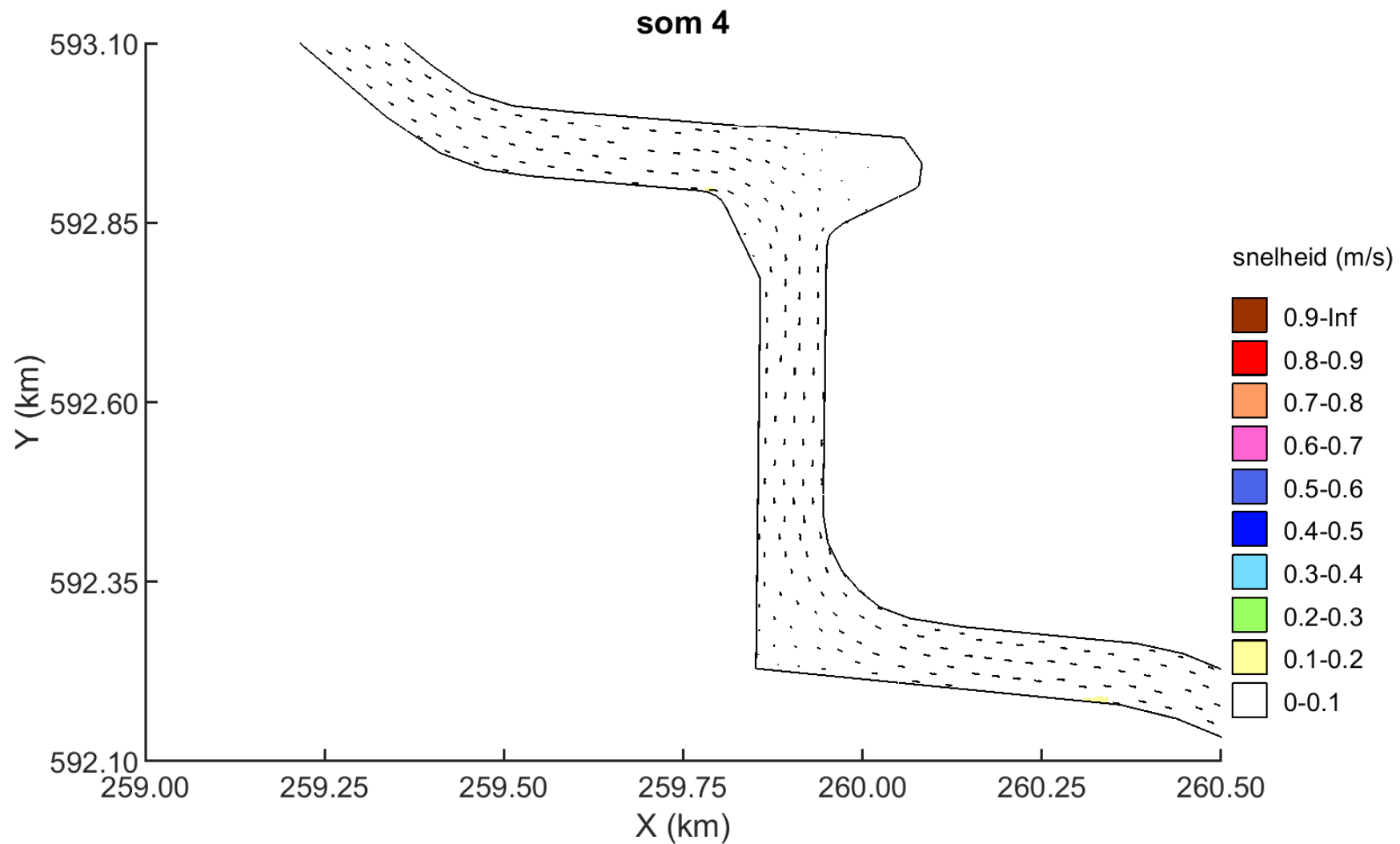


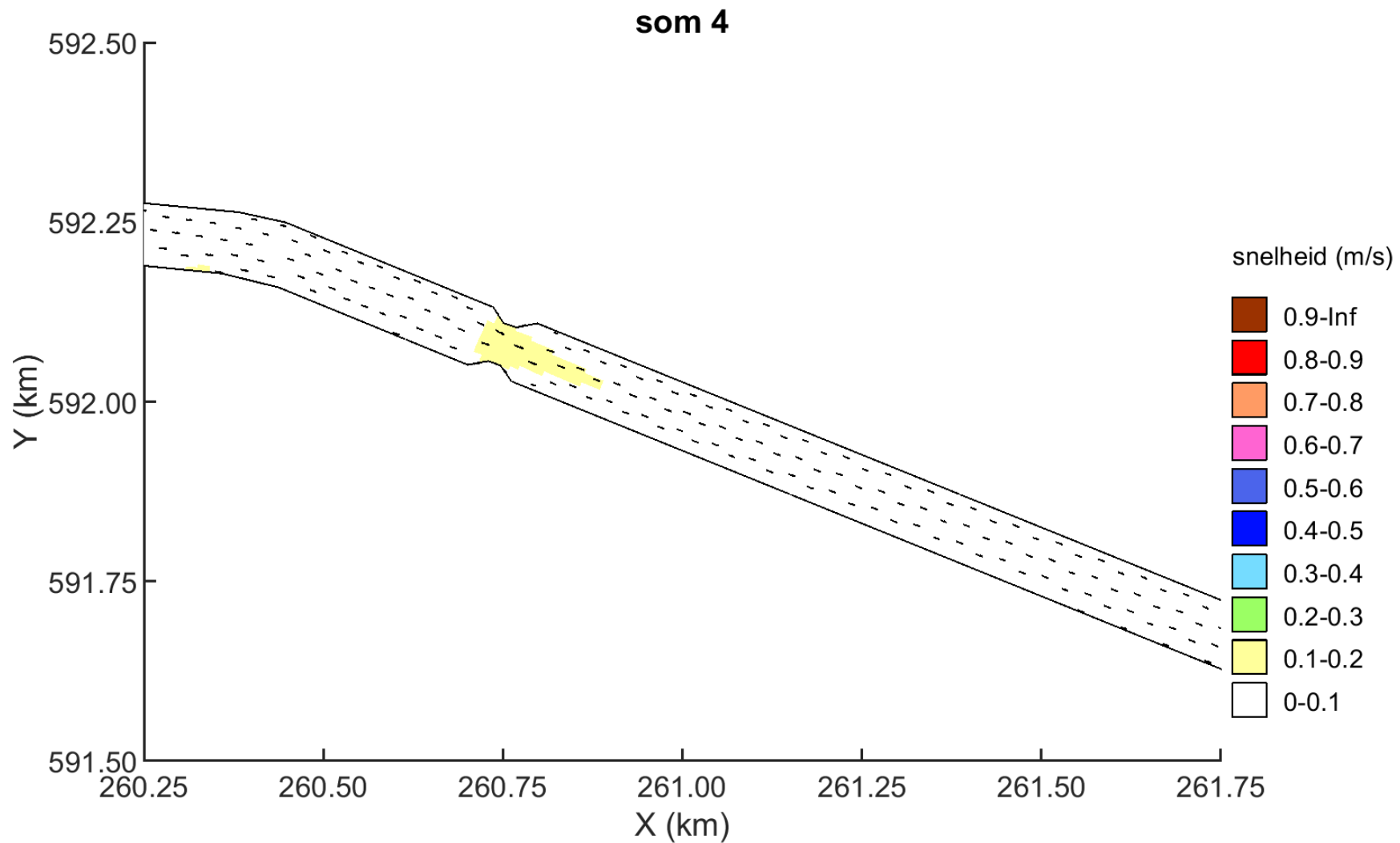


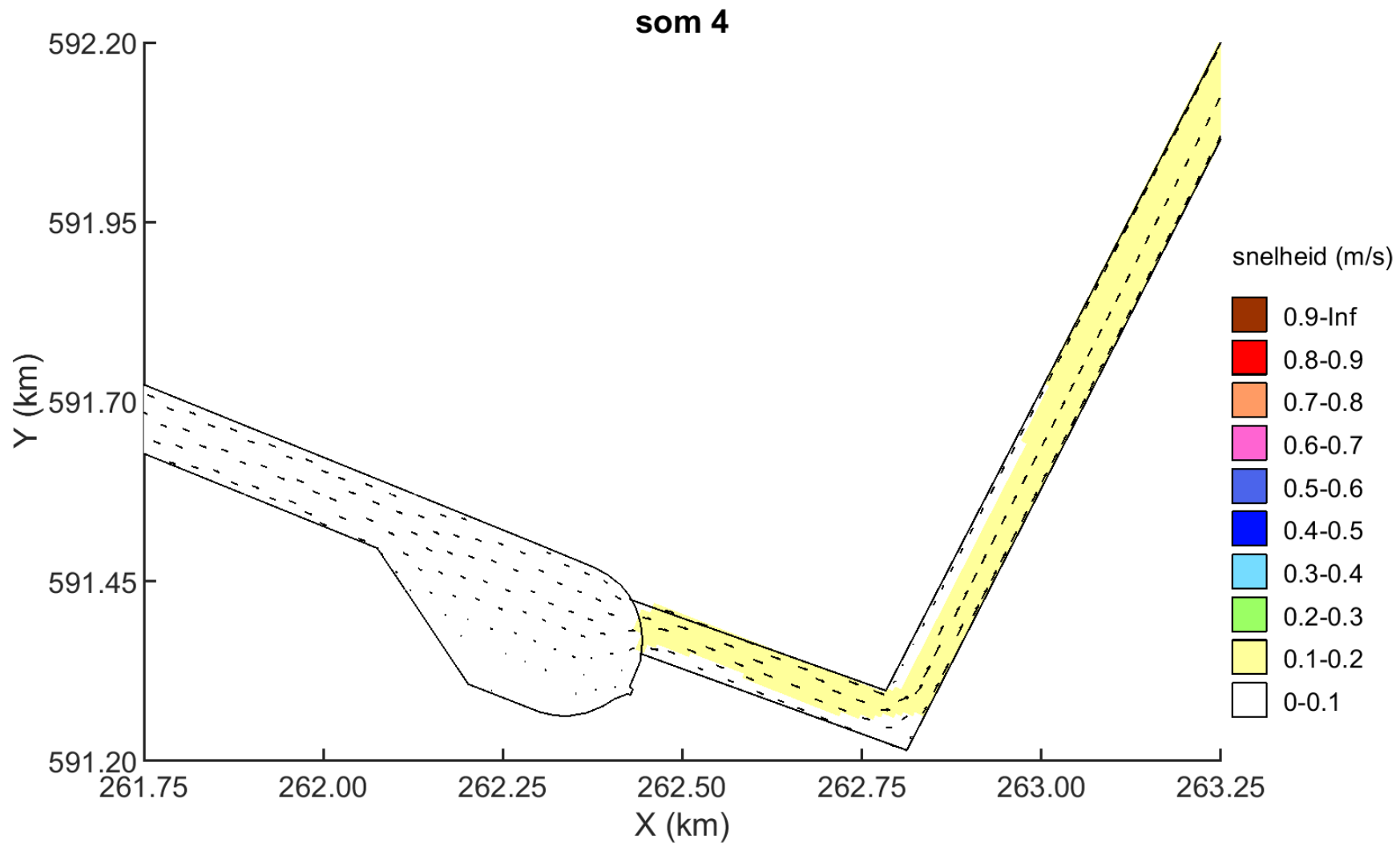






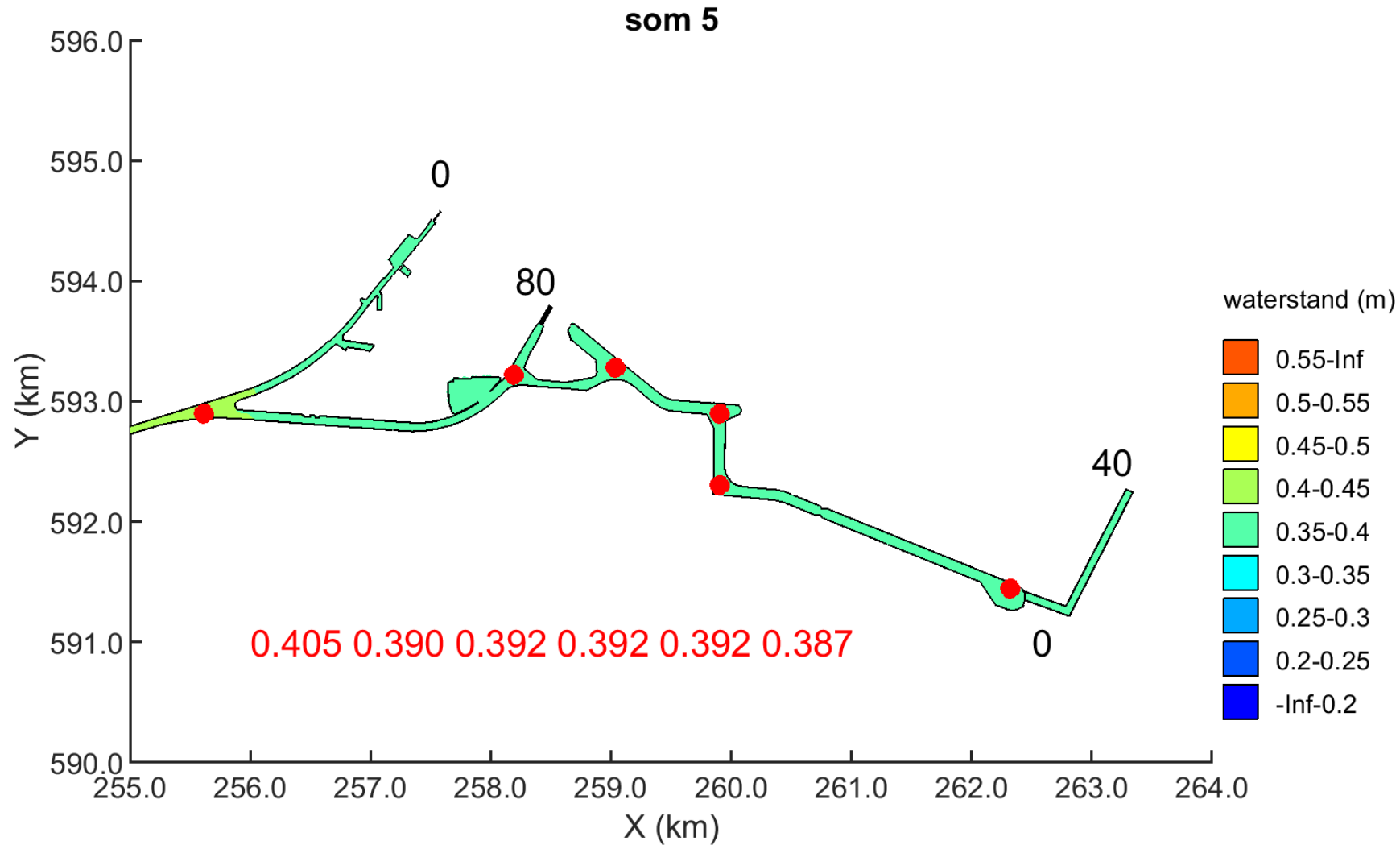


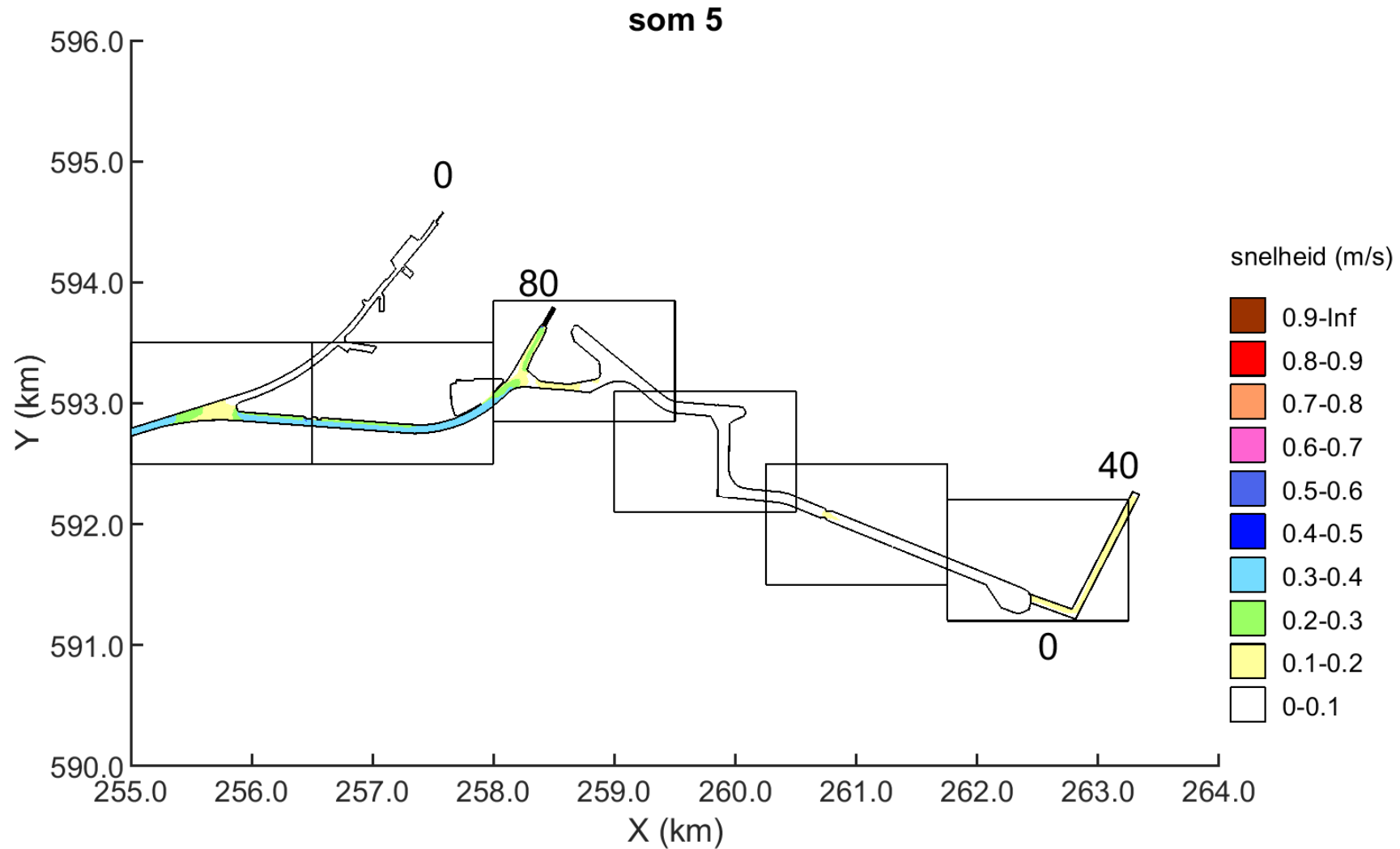


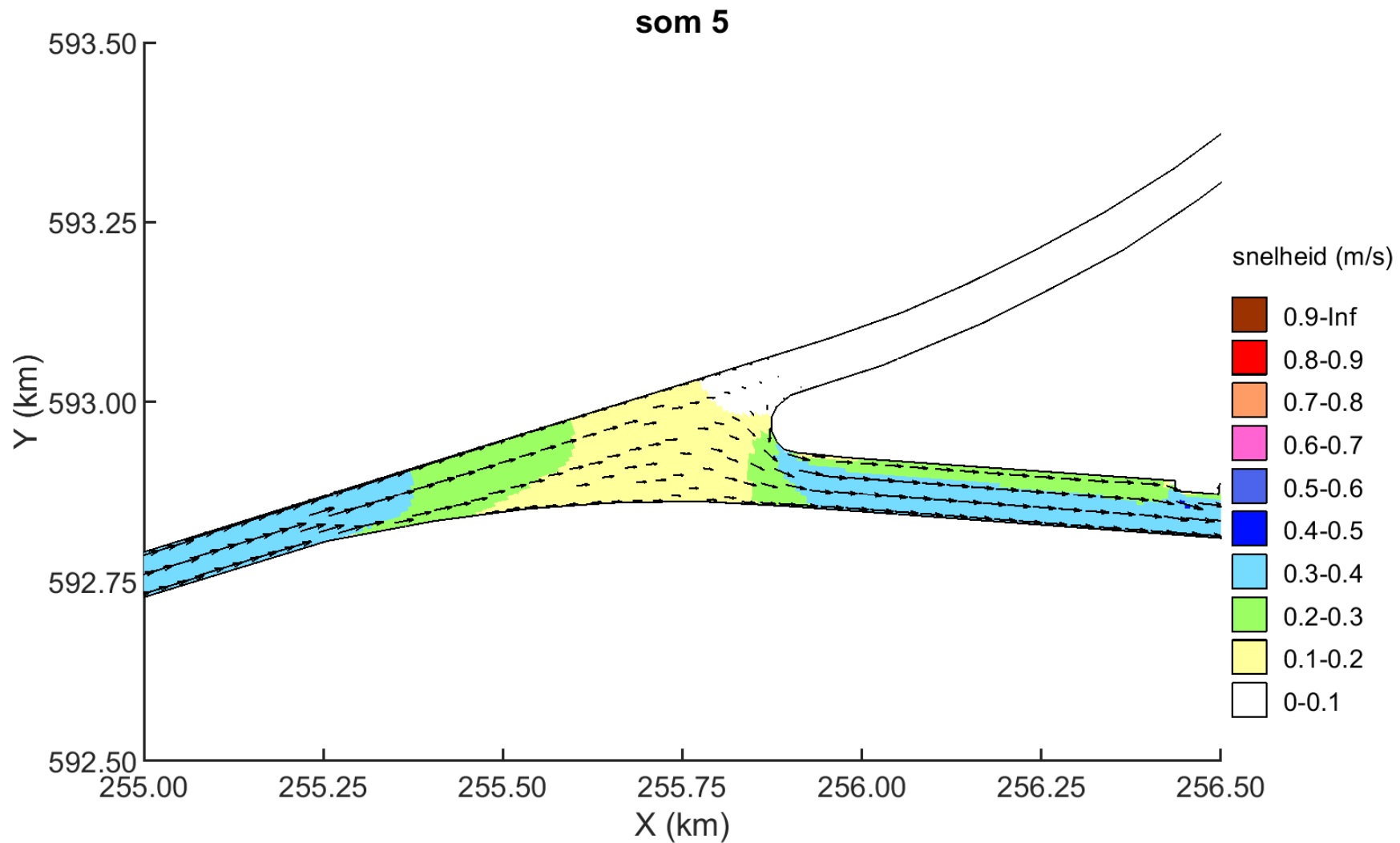


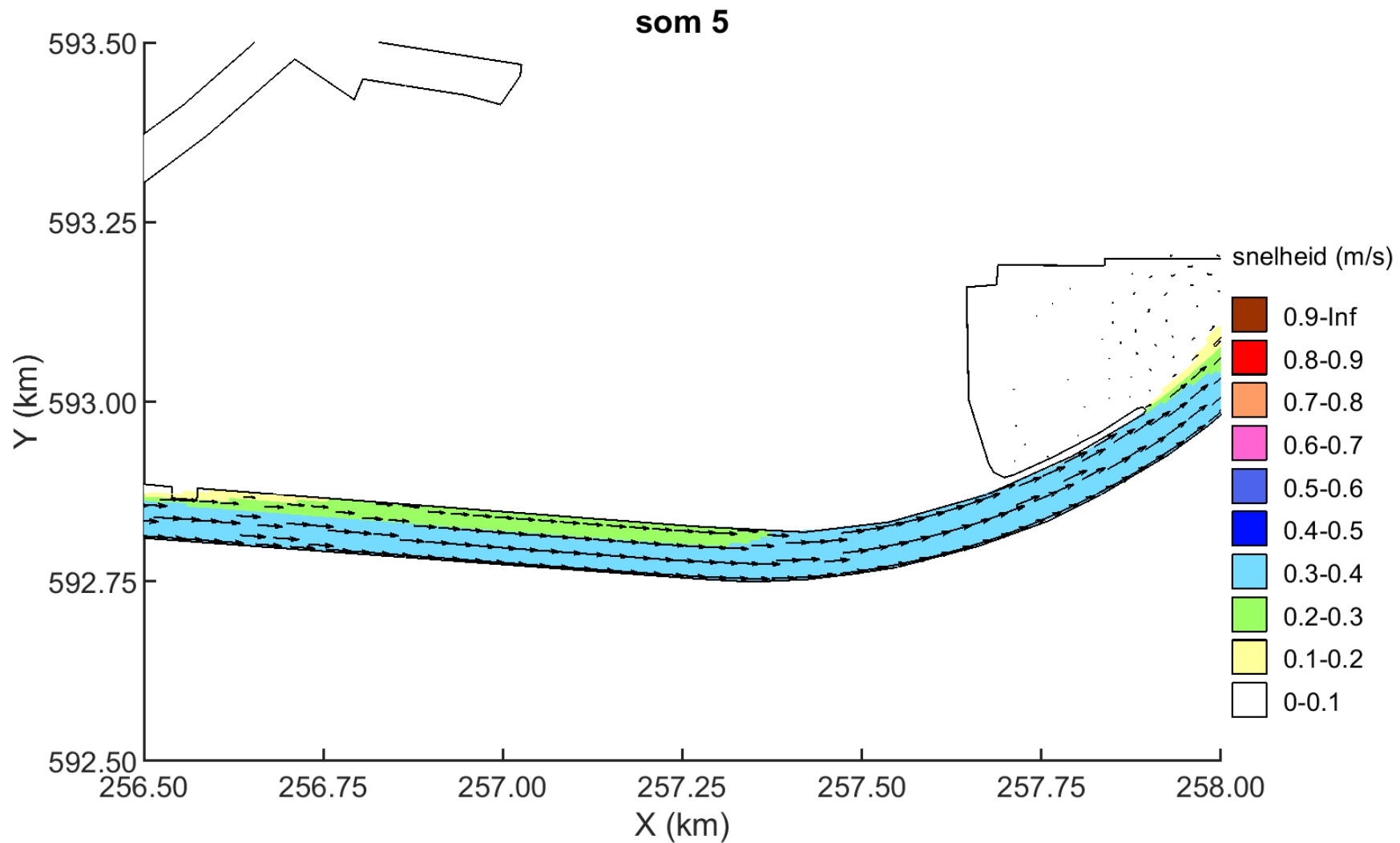
SOM 5

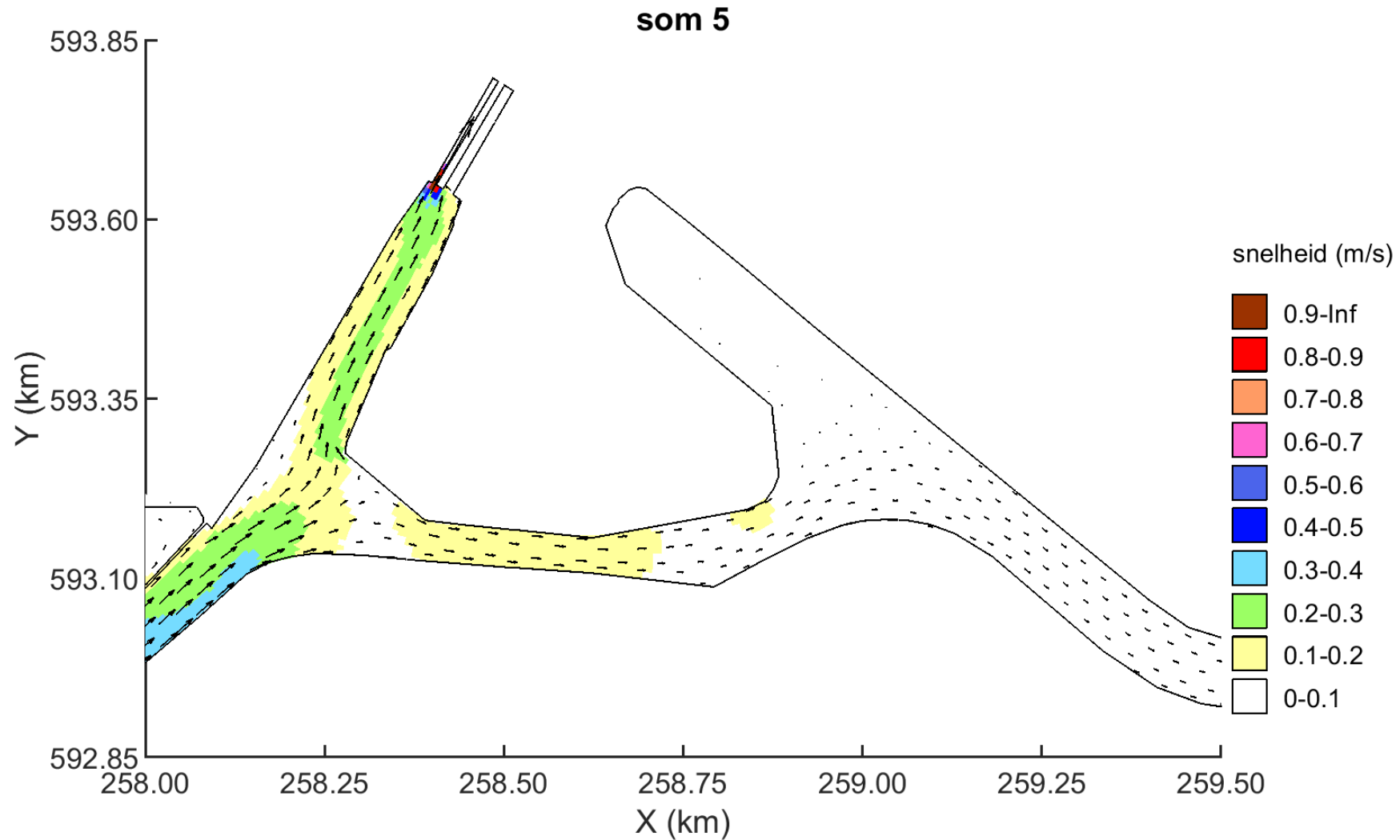
Alternatief 2 zomer

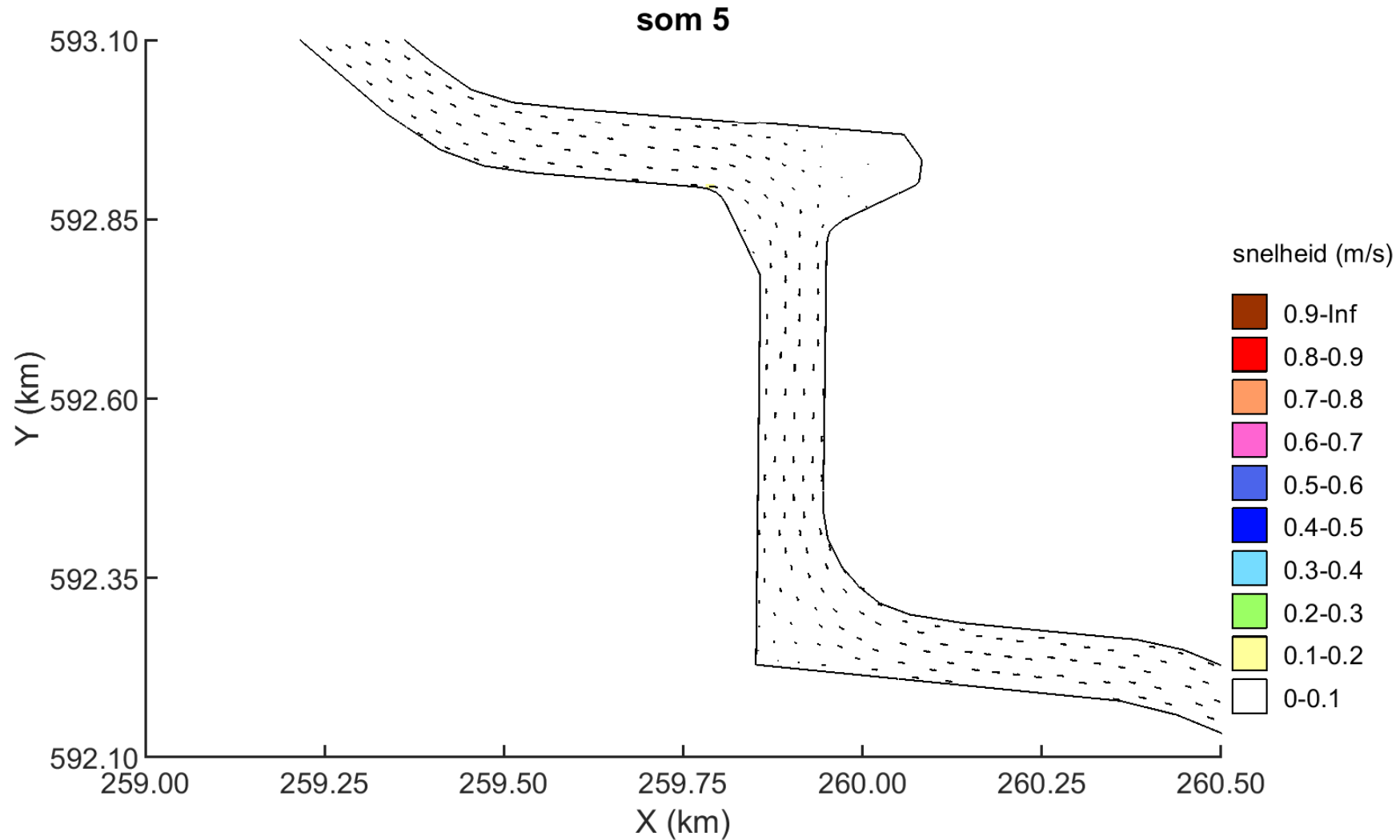


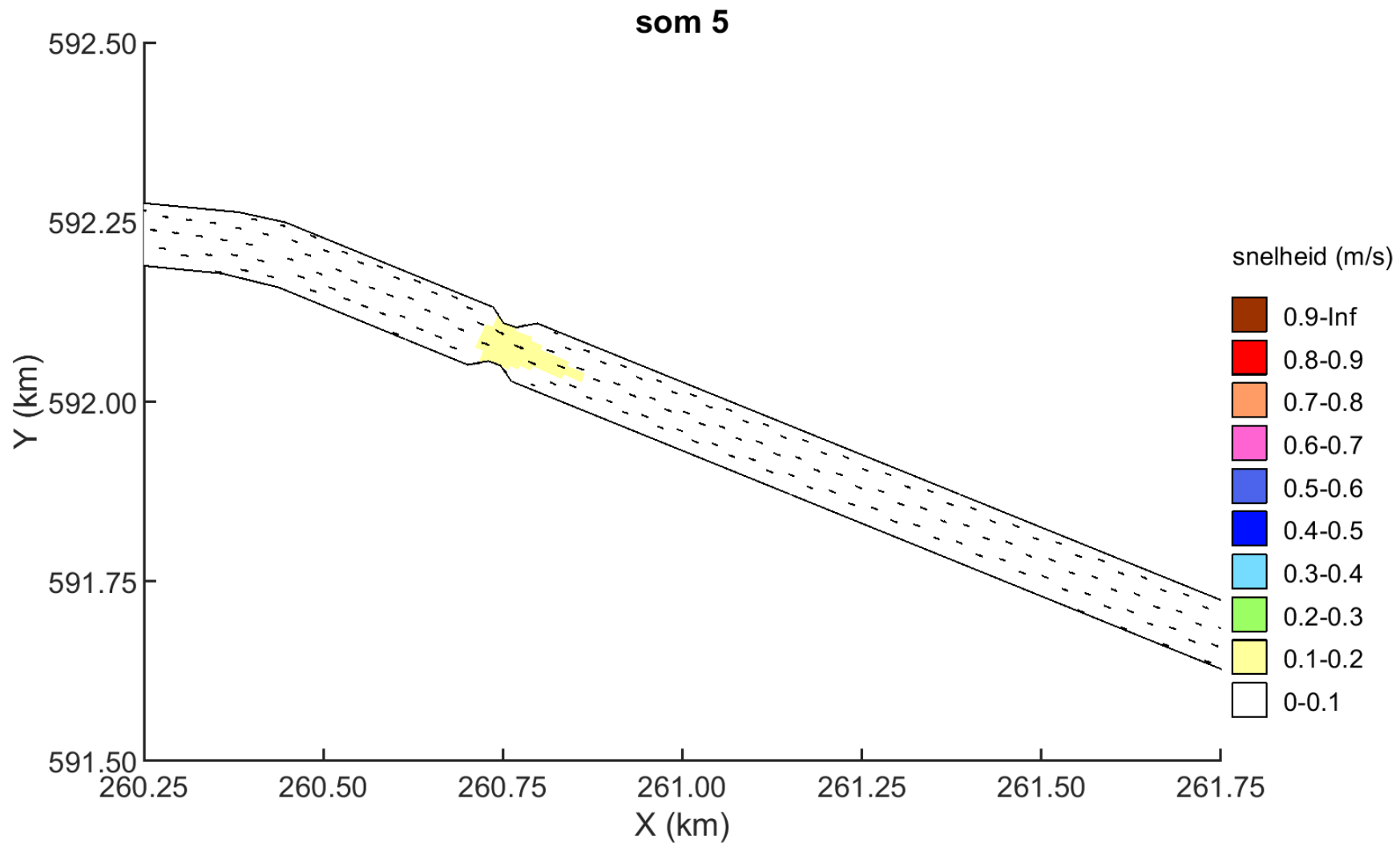


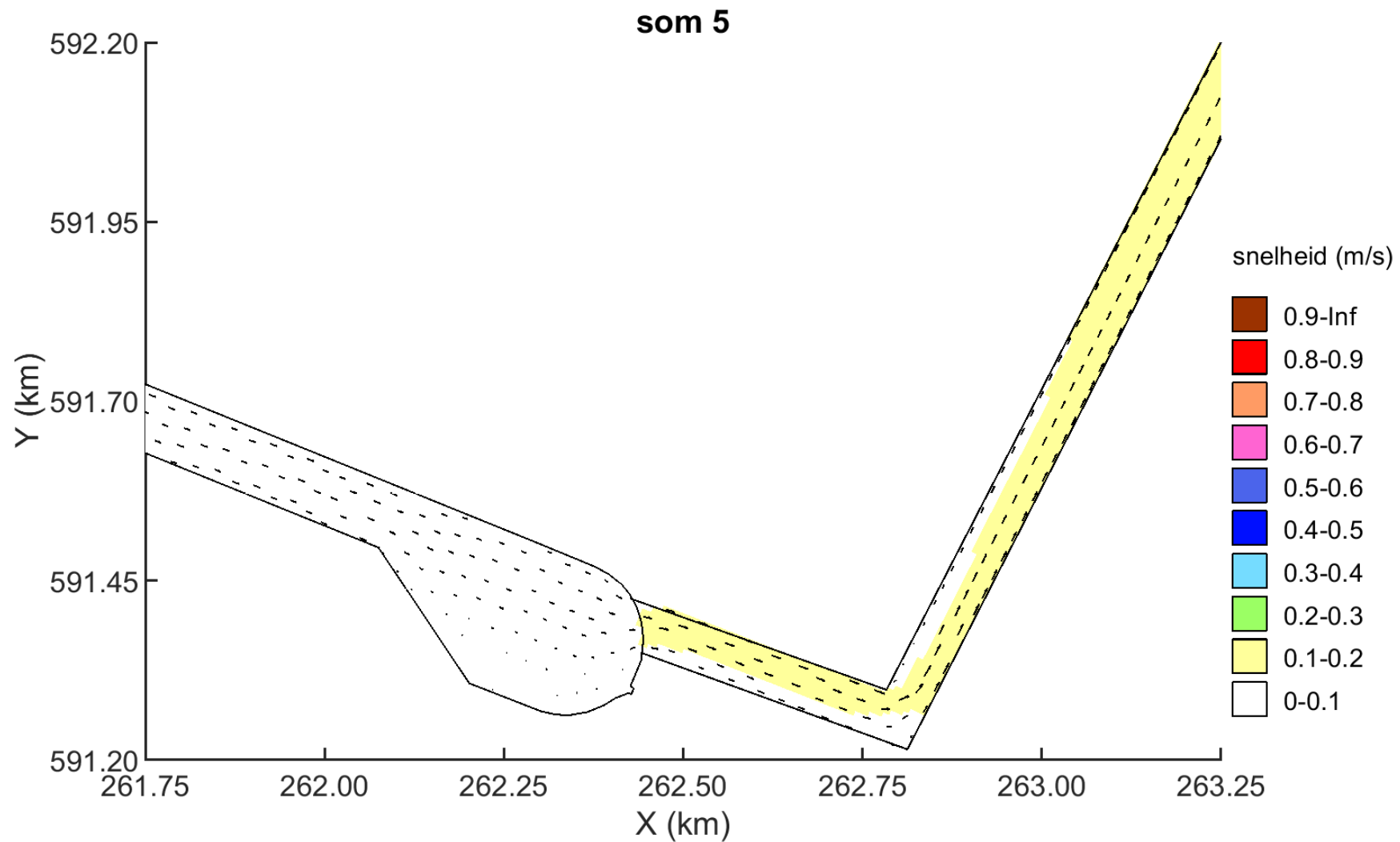






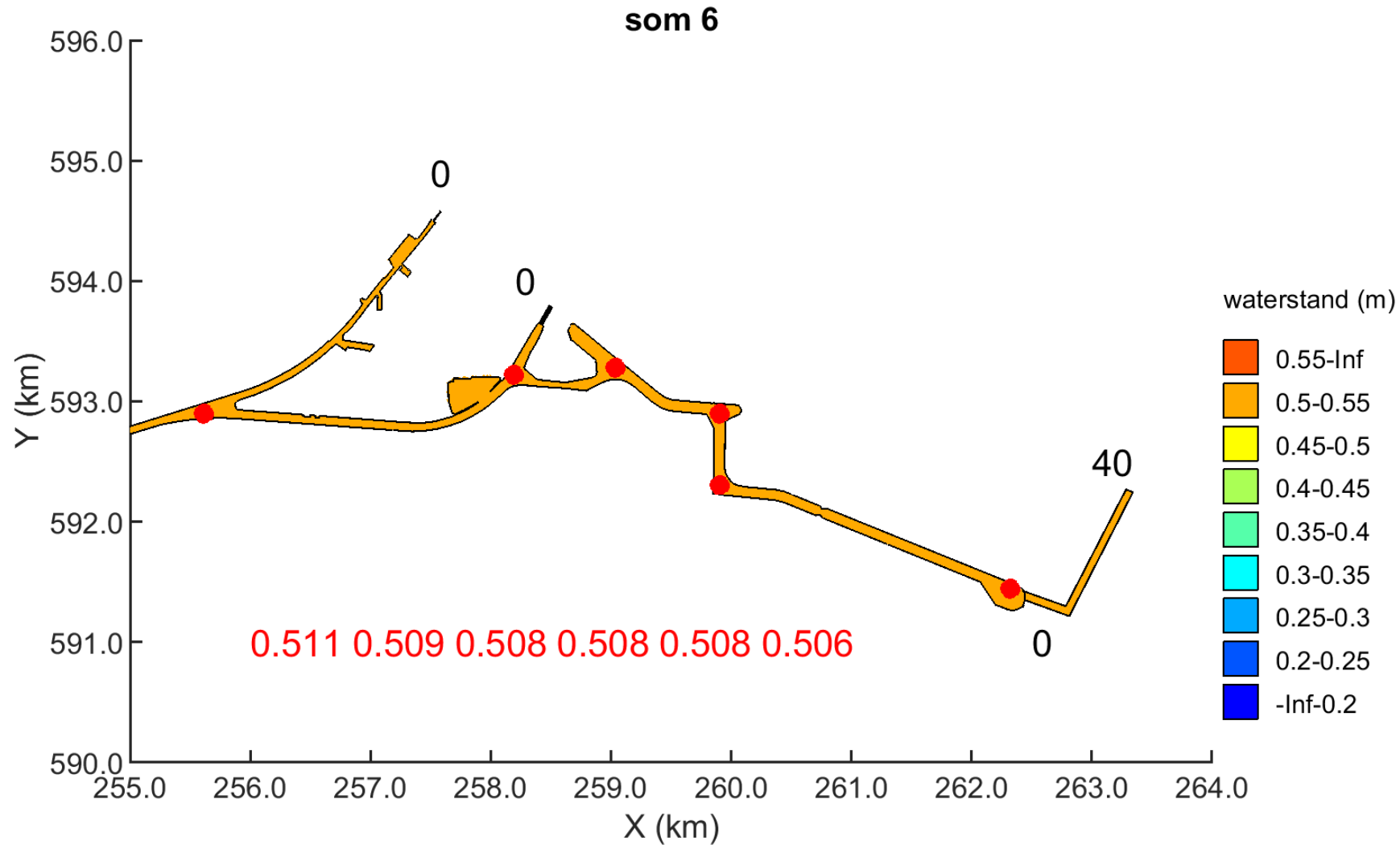


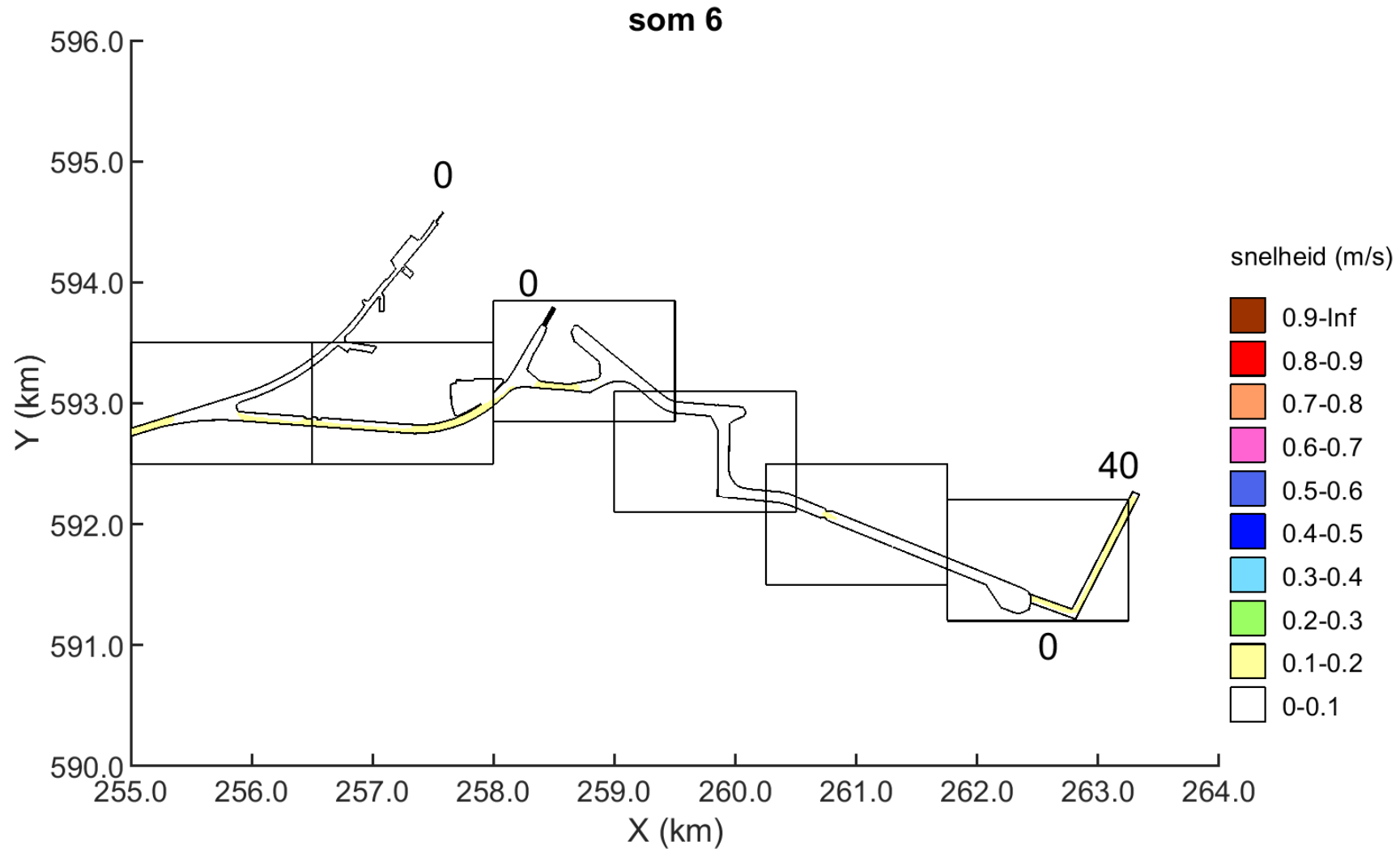


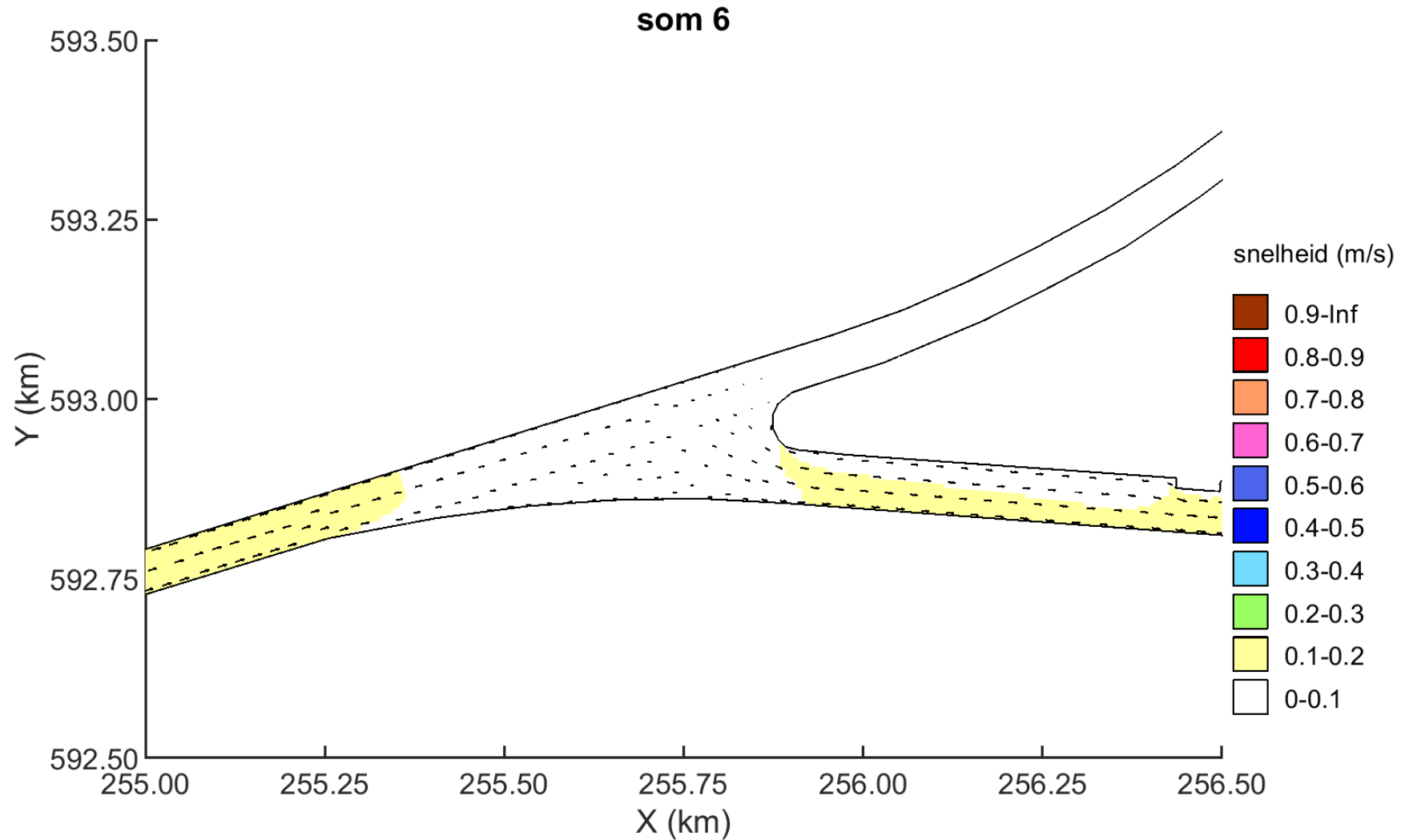


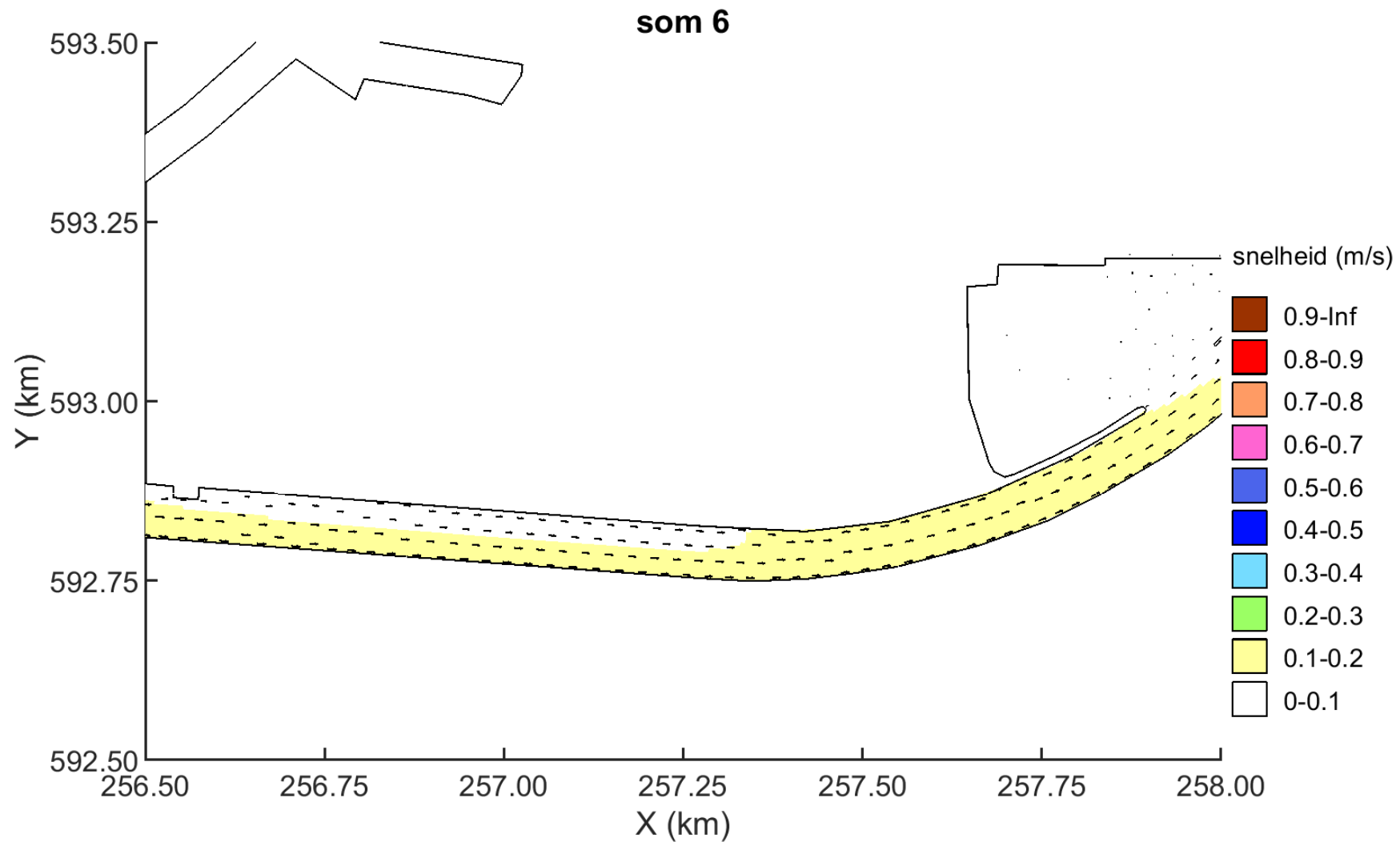
SOM 6

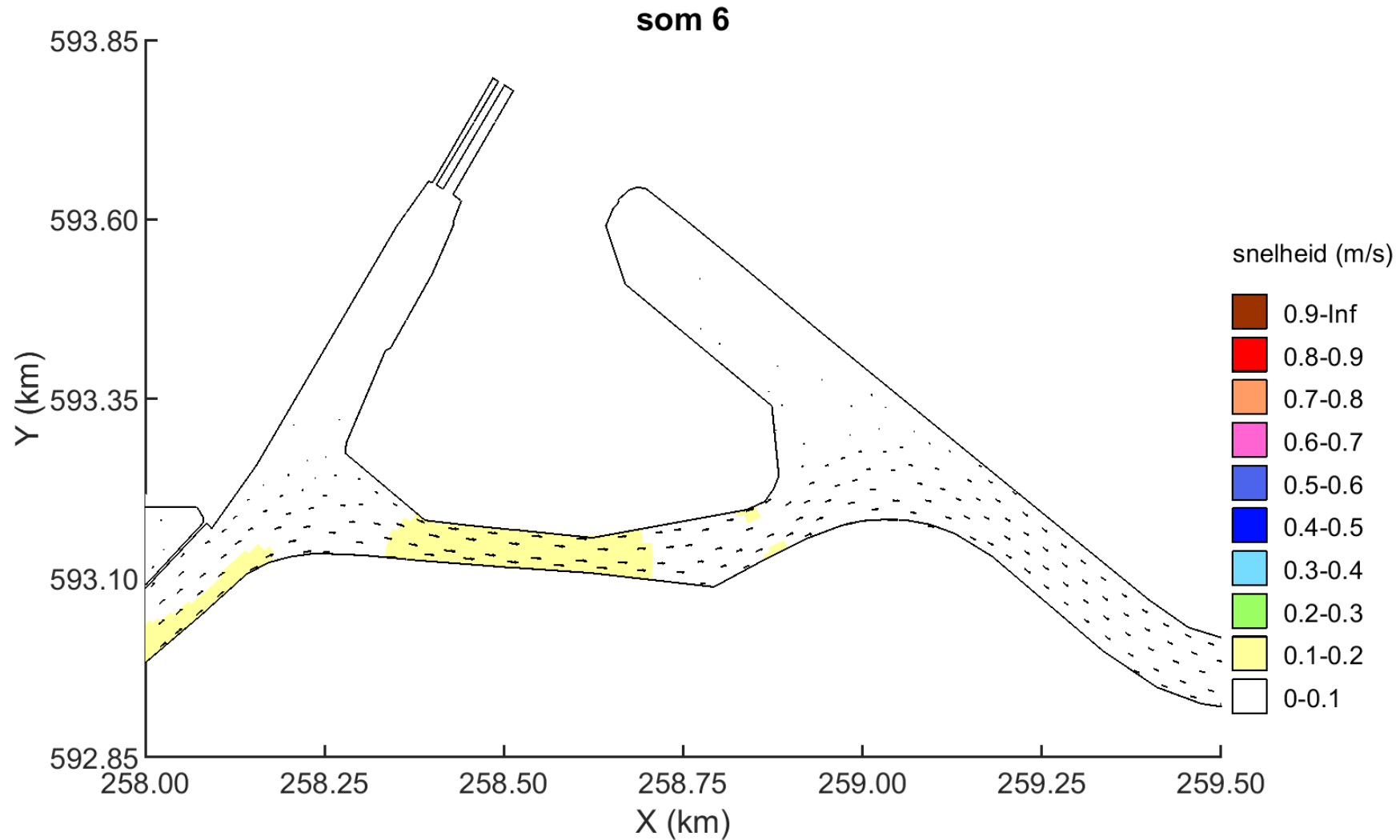
Alternatief 2 zomer

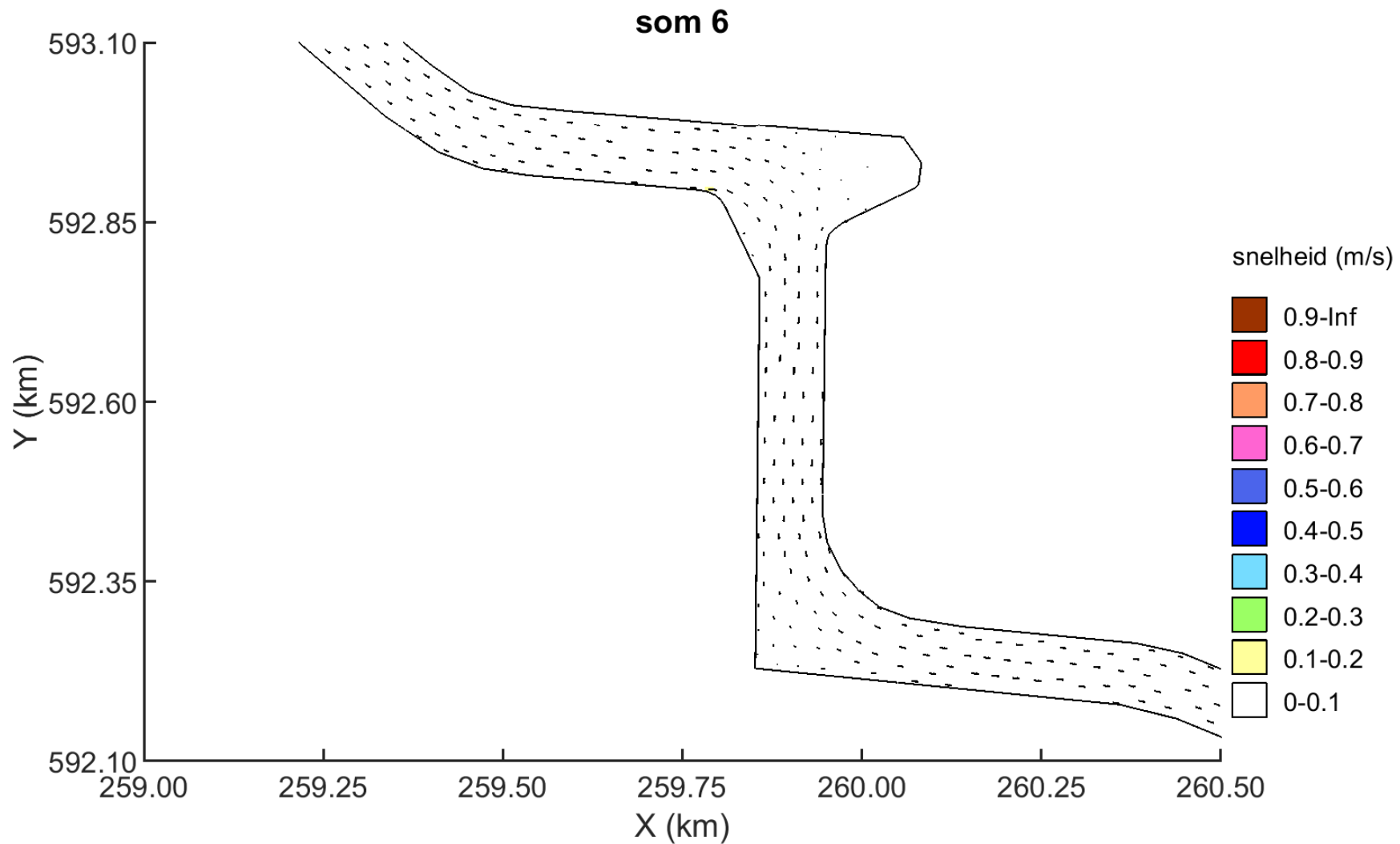


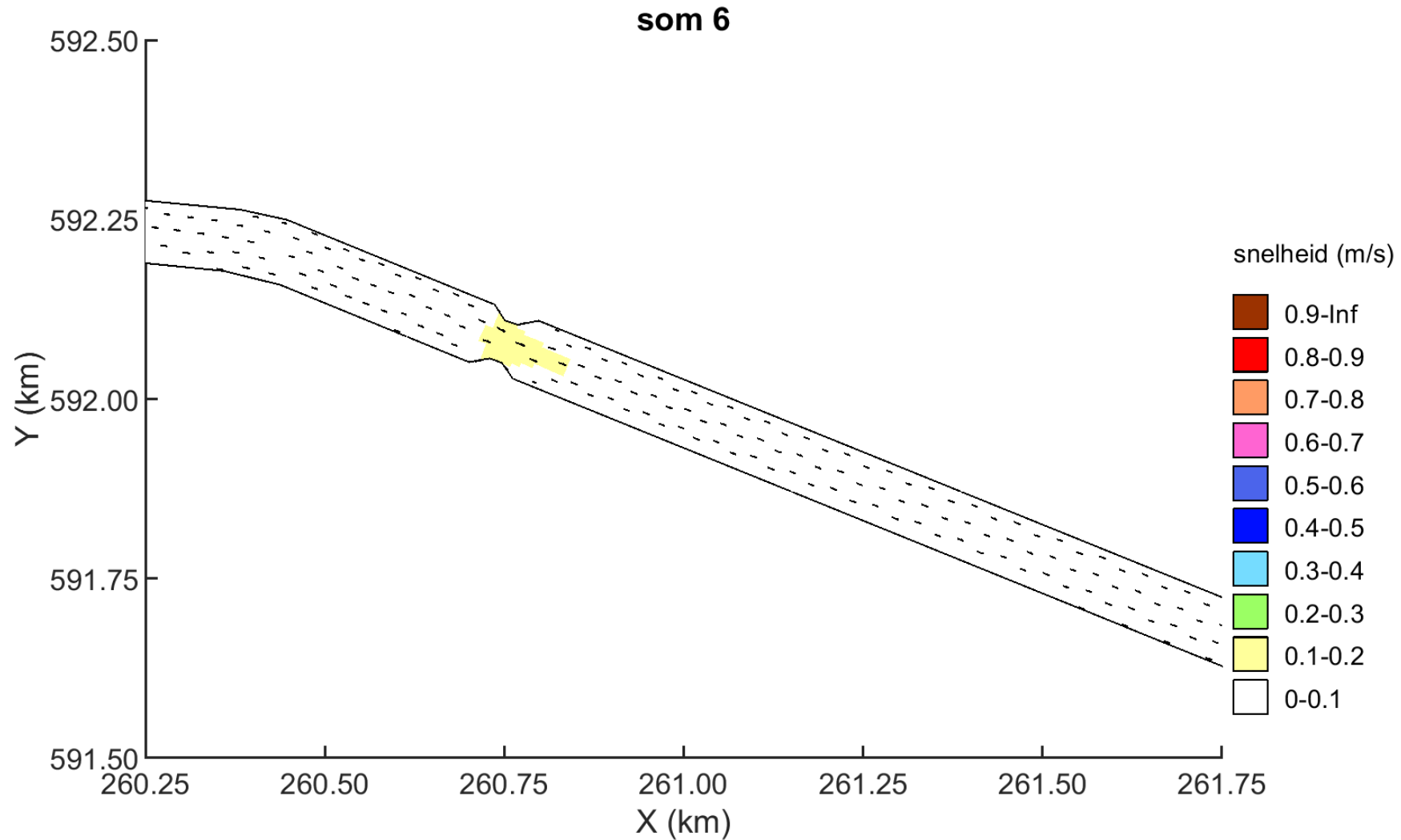


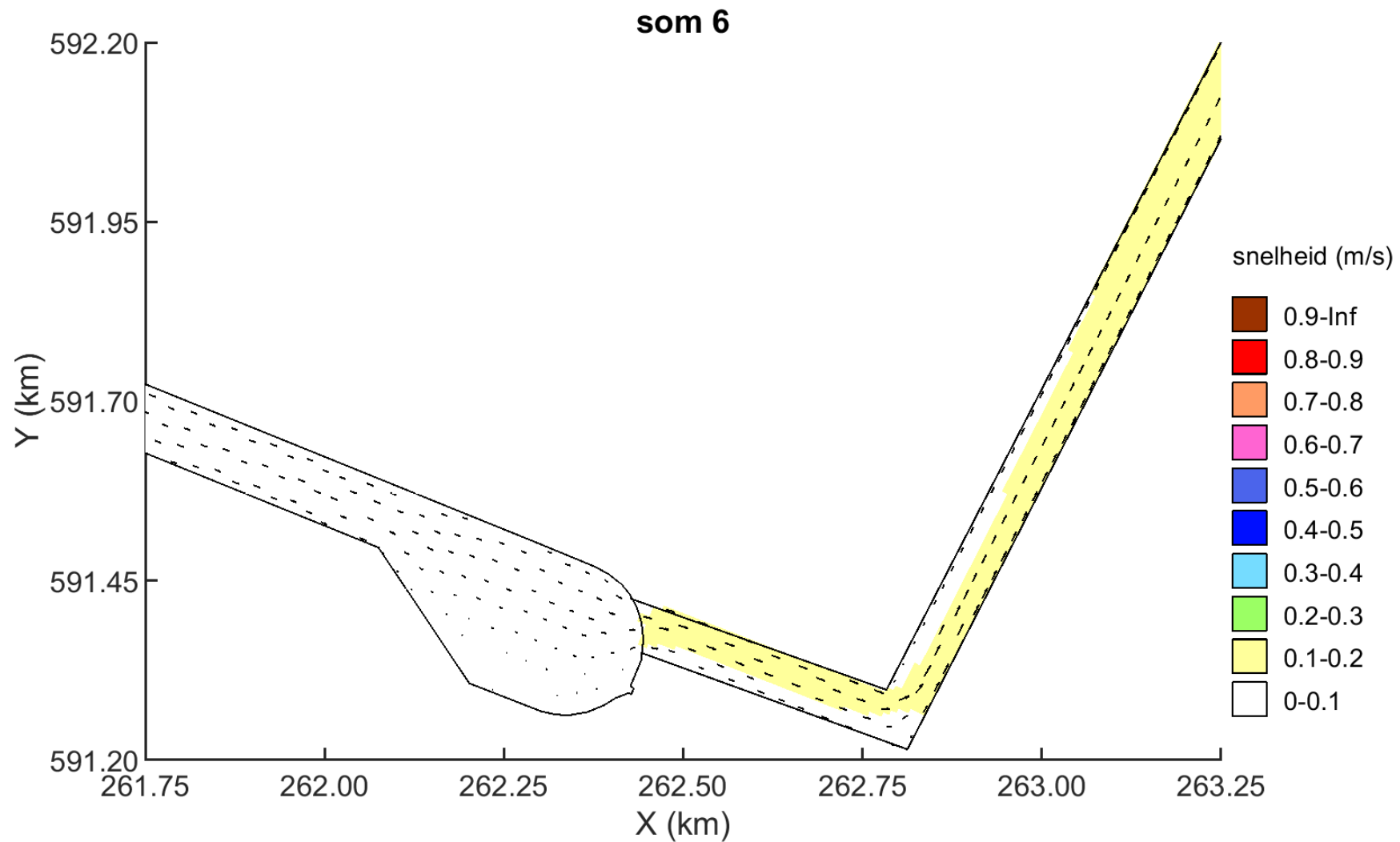












Arcadis. Improving quality of life.

Bijlage B Memo Eemsijlen spuidebieten

Eemszijlen spuidebieten

Analyse historische meetgegevens ten behoeve van de studie nautische veiligheid

Sweco Nederland B.V.	30129769
Onderwerp	Analyse spuidebieten Eemszijlen
Projectnummer	51005619
Klant	Projectgroep Eemszijlen
Auteur	Tessa Andringa
Gecontroleerd door	Bert de Greeff
Vrijgegeven door	Piet Riemersma
Datum	2023-09-19
Versie	D1
Document referentie	NL23-648800269-59607

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Analyse	4
	2.1 Hoe vaak en wanneer zijn de spuumiddelen (Oude Zeesluis, Kleine spuisluis Farmsum en Oosterhornsluis) gebruikt?	4
	2.2 Wat waren de spui volumes per maand?	5
	2.3 Met welk debiet werd er gespuid?	6
	2.4 Wat zijn de debieten wanneer er een vaarverbod werd afgekondigd?	8
	2.5 Welke verklarende variabelen zijn er voor de variatie in spuidebieten?	8
3	Conclusie	11
	Bijlage 1	12

1 Inleiding

Ten behoeve van vervolgonderzoeken in het kader van het project Eemszijlen is het van belang inzicht te krijgen in het huidige functioneren van de afvoer en de spuidebieten op de verschillende afvoerpunten bij Delfzijl. Doel is om inzicht te krijgen hoe vaak en wanneer de spuisluisen open gezet zijn en met welke volumes/debieten er is gespuid. Deze informatie dient onder meer als input voor de studie nautische veiligheid (Arcadis, 2023), waarin wordt berekend welke stroomsnelheden maximaal mogelijk zijn en hoe vaak deze in de huidige praktijk voorkomen.

De onderzoeksvragen ten aanzien van de huidige spuivoorzieningen zijn:

1. Hoe vaak en wanneer zijn de spuimiddelen (Oude Zeesluis, Kleine spuisluis en Oosterhornsluis) gebruikt?
2. Wat waren de spuivolumes per maand?
3. Met welk debiet is er gespuid en hoe is de verhouding zomer - winter?
4. Wat zijn de debieten wanneer er een vaarverbod werd afgekondigd?
5. Welke variatie zit er in de spuidebieten en wat zijn verklarende variabelen hiervoor? Hierbij kijken we naar neerslag en verdamping, buitenwaterstand Delfzijl, waterstand Eemskanaal, zomer/winterseizoen en week/weekenddagen.

Figuur 1 geeft de locaties weer die genoemd worden in deze notitie. Voor sommige locaties worden verschillende namen gebruikt in de beschikbare data. Kleine Zeesluis wordt ook wel als Sluis Farmsum aangeduid. En Oosterhornsluis staat ook wel bekend als Sluis Lalleweer. In de debiet data wordt Oosterhornsluis soms beschreven als stromingskokers.



Figuur 1: locaties sluizen

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen is gebruik gemaakt van data aangeleverd door het Waterschap Hunze en Aa's en openbaar beschikbare data.

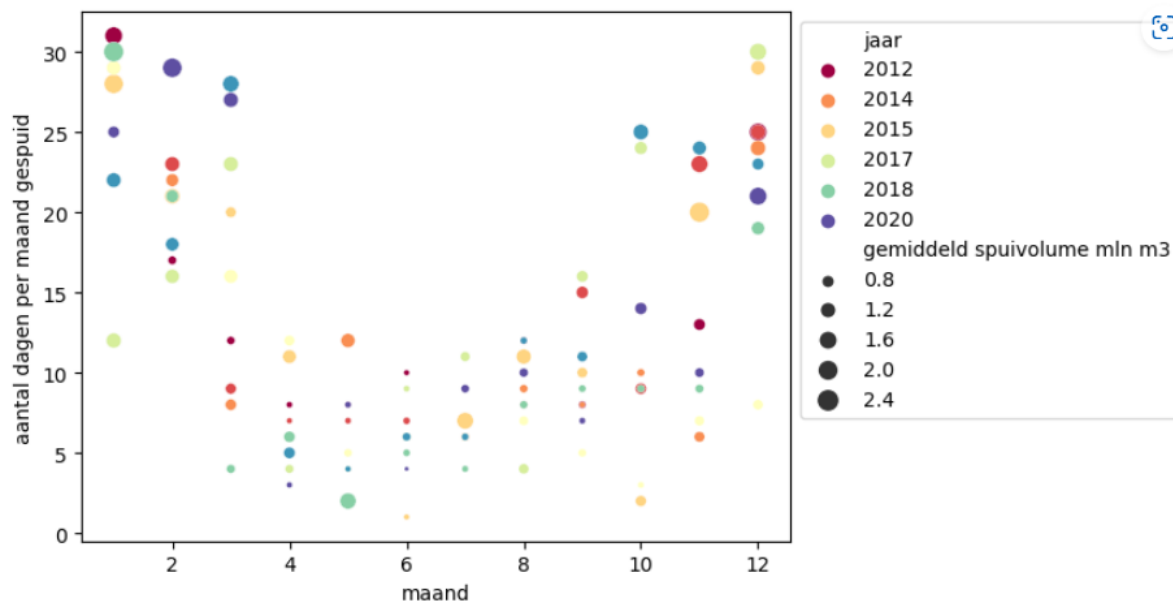
- Eemskanaal (totaal van Oude zeesluis, Kleine sluis en Oosterhornsluis)
 - o spuibolumes per dag
 - o Aangeleverd door waterschap
 - o In opmerkingen aangegeven of Kleine sluis Farmsum of spuikokers Oosterhornsluis ook gebruikt worden
 - o 2012-2022
- Oude zeesluis
 - o Spuidebiet per 5 minuten
 - o Aangeleverd door waterschap
 - o 2012-2022
- Stromingskokers Lalleweer/Oosterhornsluis
 - o spuidebieten (jaren 2010-2015) per uur
 - o spuibolumes (jaren 2016-2022) per dag
 - o Aangeleverd door waterschap
- Rijkswaterstaat
 - o Waterstand Delfzijl (buiten)
 - per 10 minuten
 - 2010-2022
 - o Waterstand Slochtersluis
 - Vanaf 2021
 - o Waterstand spuisluis oude Eemskanaal (= oude zeesluis)
 - Vanaf 2021
- Meteorologische gegevens KNMI
 - o 2010-2022
 - o Neerslag
 - Dagelijks
 - Circa 10 stations in stroomgebied Eemskanaal
 - o Verdamping
 - Station Eelde

De aangeleverde data zijn gebruikt om antwoorden te formuleren op de onderzoeksvragen. De analyseresultaten staan per vraag beschreven in het volgende hoofdstuk. Hoofdstuk 3 geeft als conclusie antwoord op de onderzoeksvragen.

2 Analyse

2.1 Hoe vaak en wanneer zijn de spuisluis (Oude Zeesluis, Kleine spuisluis Farmsum en Oosterhornsluis) gebruikt?

Voor alle jaren is per maand gekeken hoeveel dagen de Oude Zeesluis is ingezet om te spuien. Het resultaat is te zien in *Figuur 2* en Tabel 1. Hieruit blijkt dat in de winter bijna dagelijks wordt gespuid en in de zomer gemiddeld één keer per drie dagen. Er zit grote variatie tussen de jaren; aannemelijk is dat in natte maanden vaker gespuid wordt dan in de droge maanden.



Figuur 2: aantal dagen per maand inzet Oude Zeesluis 2012-2020 (in legenda zijn niet alle jaren weergegeven, in de figuur zijn wel alle 9 jaar weergegeven maar liggen deze soms op elkaar)

Tabel 1: Gemiddeld aantal dagen per maand inzet spuisluis Oude Zeesluis

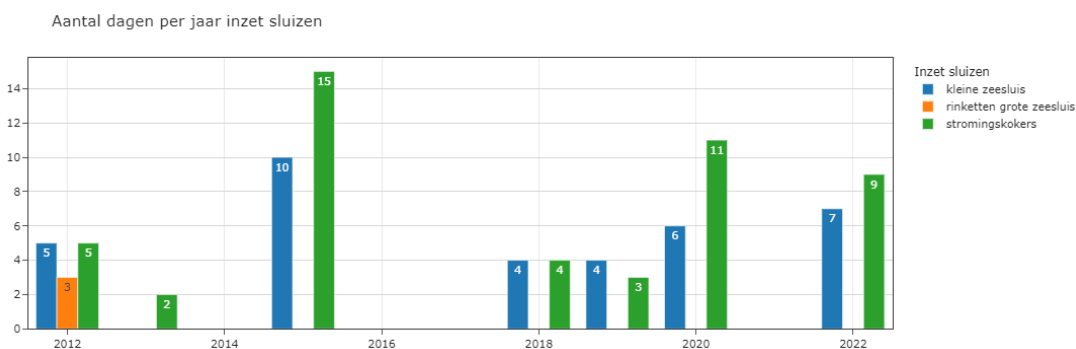
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
26	22	16	8	7	6	7	8	9	12	16	23

Indien er grote hoeveelheden gespuid moeten worden is de capaciteit van de Oude Zeesluis in sommige gevallen onvoldoende. Dan wordt gebruik gemaakt van de spui mogelijkheden van de Kleine Zeesluis (Farmsum) en aflat via de stromingskokers van Oosterhornsluis (ook wel sluis Lalleweer genoemd) en vervolgens gemaal Rozema.

Voor de Oosterhornsluis is data aangeleverd van de spuihoeveelheden per dag. In de opmerkingen is daarbij aangegeven als werd gespuid om andere redenen zoals doorspoeling; deze spui momenten zijn uit de data gefilterd.

Verder is in de data van de Oude Zeesluis in de opmerkingen aangegeven wanneer ook de Kleine Zeesluis en/of rinketten van de Grote Zeesluis of de stromingskokers van de Oosterhornsluis ingezet zijn.

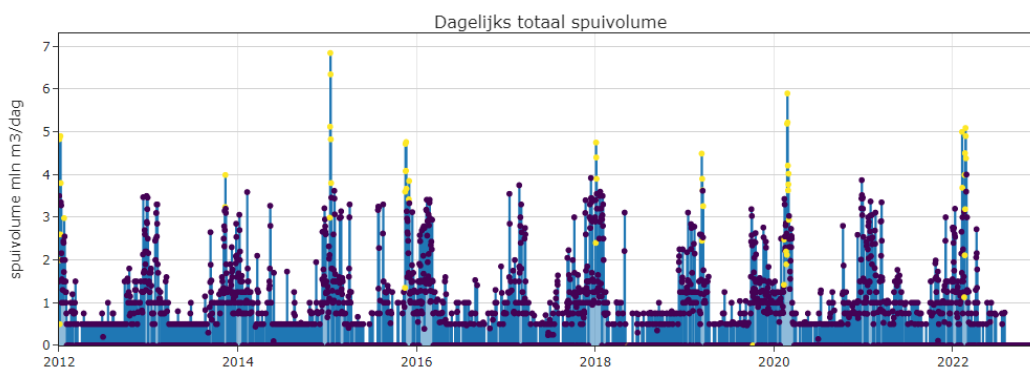
Op basis van bovenstaande twee datasets is zo inzichtelijk gemaakt hoeveel dagen per jaar de sluisen ingezet worden. *Figuur 3* geeft het aantal dagen per jaar weer dat (een van) de extra sluisen ingezet zijn. Hieruit valt af te leiden dat hier grote variatie in zit: soms is het enkele dagen (vaak meerdere dagen aaneengesloten) per jaar en soms het hele jaar niet. Inzet van de stromingskokers van de Oosterhornsluis vindt vooral plaats bij hoge buitenwaterstanden waardoor niet genoeg via de Oude Zeesluis en Kleine Zeesluis Farmsum afgelaten kan worden, zie ook paragraaf 5 over de spuivenster en bijlage 1 voor een voorbeeld in februari 2022.



Figuur 3: Inzet overige sluisen (aantal dagen per jaar)

2.2 Wat waren de spuibolumes per maand?

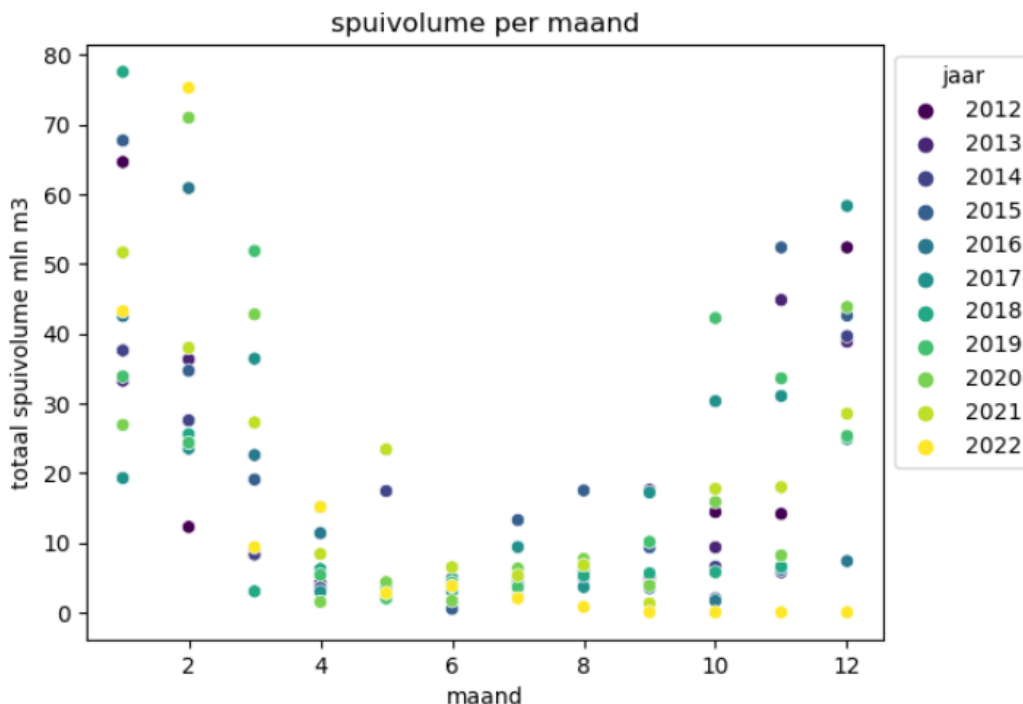
Figuur 4 geeft de dagelijkse spuibolumes weer in de periode 2012-2022, die variëren tussen de 0,5 en 7 miljoen m³ per dag indien er die dag wordt gespuid. Met de gele markeringen is aangegeven wanneer één van de extra sluisen in werking is gegaan, dit is met name indien er meer dan 4 miljoen m³ op een dag gespuid moest worden.



Figuur 4: dagelijks spuibolume 2012-2022

Om beter inzicht te krijgen in de variatie in spuibolumes zijn de dagelijkse spuibolumes opgeteld tot maandelijkse spuibolumes. Deze zijn weergegeven in *Figuur 5* en Tabel 2. Het seizoenseffect is duidelijk zichtbaar in de data: in de zomer wordt gemiddeld 5 miljoen m³ water gespuid per maand en in de winter bijna 10 keer zoveel.

Ook tussen de jaren is grote variatie zichtbaar, naar verwachting afhankelijk van de gevallen neerslag. Zie hiervoor ook de volgende paragraaf.



Figuur 5: spuivolumes per maand

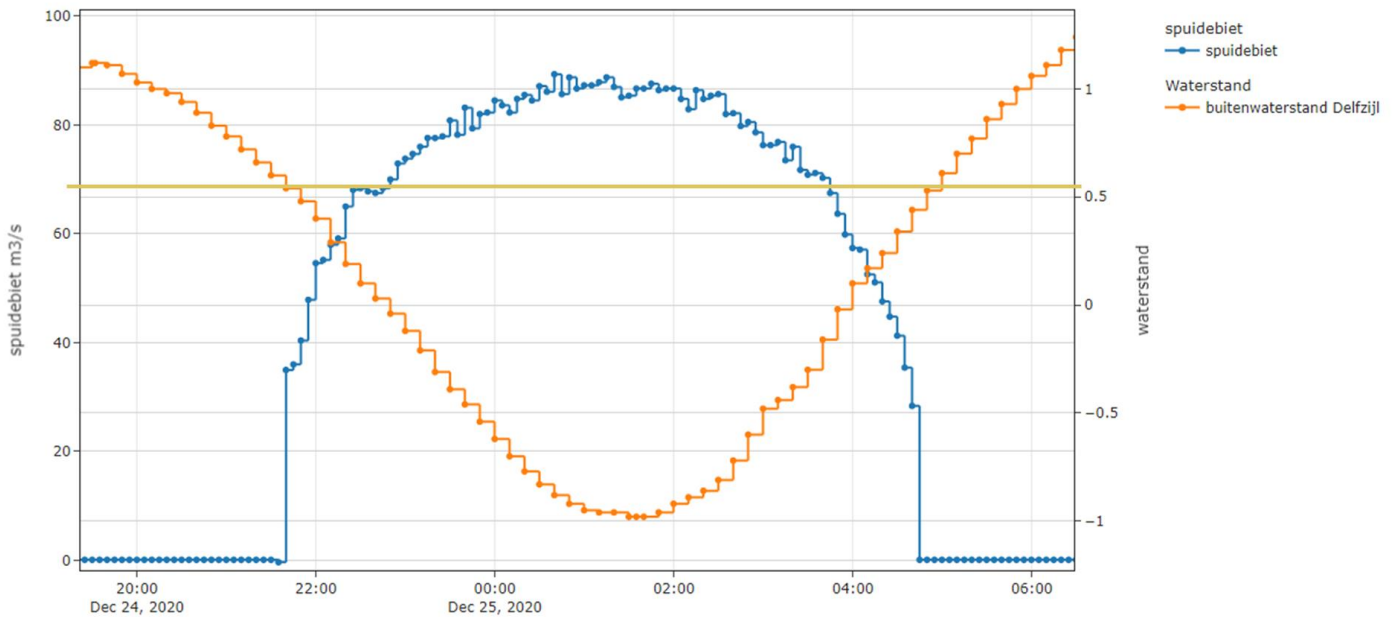
Tabel 2: gemiddeld totaal spuivolume (in miljoen m³) en standaard deviatie per maand

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Gem	45	39	22	7	6	4	5	7	8	15	22	36
stdev	18	21	16	5	7	2	3	4	6	13	18	18

2.3 Met welk debiet werd er gespuid?

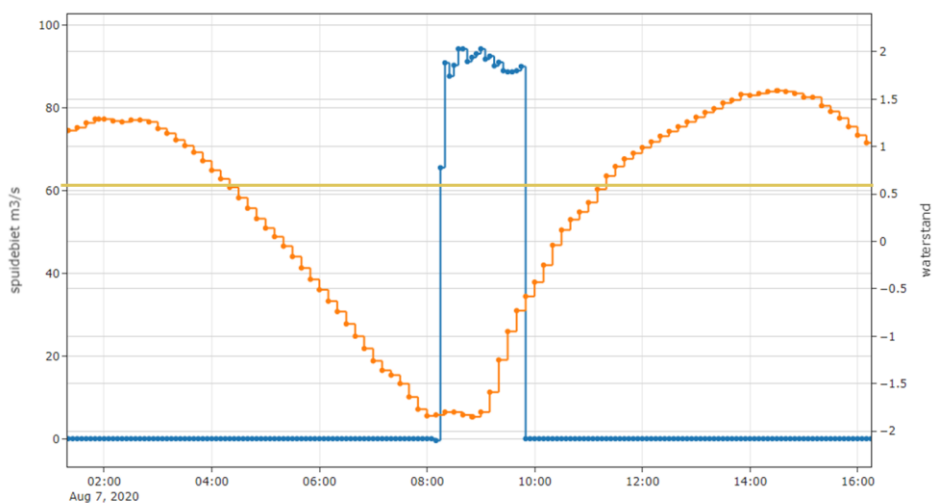
Met de WAAR-regeling wordt bepaald of en hoeveel kuub er gespuid moet worden. De sluisbeheerder zet vervolgens de sluis handmatig open zodra de buitenwaterstand laag genoeg is om te kunnen spuien. Het spuien stopt zodra de gewenste hoeveelheid spuivolume is bereikt (gemeten met een debietmeter) of zodra de buitenwaterstand te hoog wordt. Dit proces valt ook uit de data op te maken: het spuidebiet neemt aan het begin van de spuibeurt langzaam toe doordat de buitenwaterstand zakt. Vervolgens wordt het maximale spuidebiet van de sluis bereikt van 90 à 100 m³/s. Na verloop van tijd (wisselend van duur) stopt het spuien doordat het gewenste spuivolume is bereikt, of neemt het spuidebiet weer langzaam af door het toenemen van de buitenwaterstand. Vrijwel iedere spuibeurt wordt het maximale spuidebiet bereikt.

Figuur 6 geeft als voorbeeld een grafiek weer van het spuidebiet over de tijd van één getijcyclus in een representatieve wintersituatie. Zodra de buitenwaterstand lager was dan de boezemwaterstand (streefpeil NAP +0,53 m) begint het spuien en het stopt weer zodra de buitenwaterstand te hoog wordt. De totale spuiduur is dus circa 7 uur: de duur van eb tijdens één getijcyclus. Er wordt in dit voorbeeld met een maximaal debiet van ca. 93 m³/s gespuid, het maximaal spuidebiet bedraagt 100 m³/s.

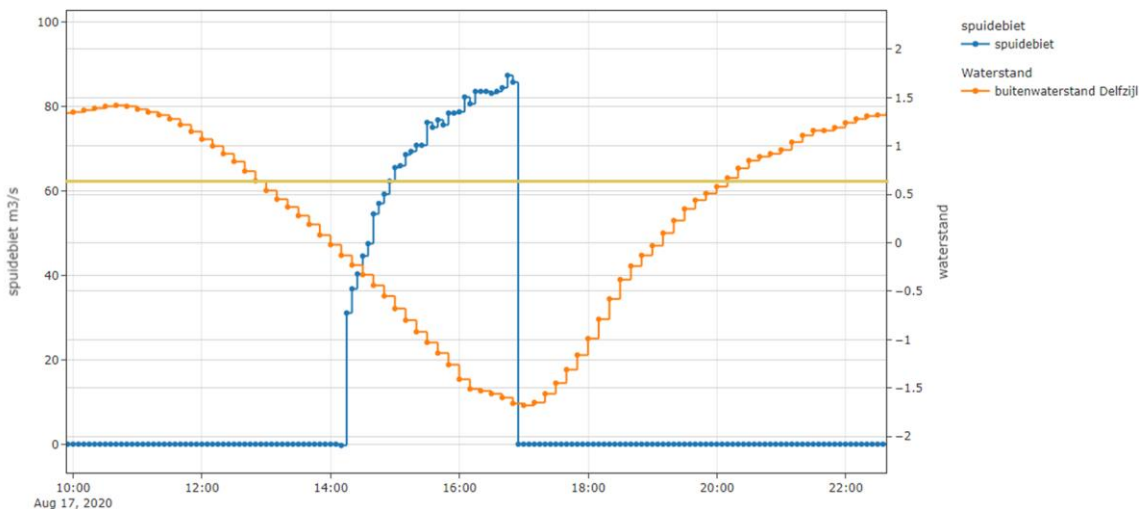


Figuur 6: voorbeeld spuidebiet wintersituatie met spuidebiet Oude Zeesluis (blauw) buitenwaterstand Delfzijl (oranje) en streefpeil Eemskanaal (geel)

In de zomer is het benodigde spuivolume vaak lager. In de zomer wordt veelal alleen een beperkte hoeveelheid gespuid voor doorspoeling van het Eemskanaal ten behoeve van verziltingsbestrijding (waterkwaliteit). De twee voorbeelden in *Figuur 7* geven het spuidebiet in zo'n situatie weer. In de eerste voorbeeldsituatie wordt tijdens volledig eb gespuid en is het debiet dus meteen maximaal met circa 90 m³/s. Het te spuien volume is relatief laag, dus na 1,5 uur wordt het gewenste spuivolume bereikt en stopt het spuien. Bij de tweede situatie wordt begonnen met spuien zodra de buitenwaterstand lager is dan de binnenwaterstand. Het spuidebiet neemt daardoor langzaam toe. Na enkele uren is het gewenste spuivolume bereikt en stopt het spuien.



Figuur 7: voorbeeld zomersituatie 1



Figuur 8: voorbeeld zomersituatie 2

2.4 Wat zijn de debieten wanneer er een vaarverbod werd afgekondigd?

Een vaarverbod wordt ingesteld bij het overschrijden van een bepaalde waterstand. Indien de waterstand op het Eemskanaal te hoog is ($\geq \text{NAP} + 1,05 \text{ m}$), wordt er een vaarverbod afgekondigd om schade aan oevers en kaden te voorkomen. De waterstand stijgt dan boven de boordvoorziening.

Er was bij deze studie geen data beschikbaar van waterstanden in het Eemskanaal waar de vaarverboden uit afgeleid kunnen worden. Op basis van de data kan dus geen antwoord gegeven worden op deze vraag.

Door het waterschap is na inzage van de conceptnotitie aangegeven dat een vaarverbod is ingesteld in januari 2012 en februari 2022. Analyse van deze maanden laat zien dat in deze maanden (bijna) dagelijks is gespuid. Het spuiregime was daarbij vergelijkbaar met het 'normale' regime zoals beschreven in voorgaande paragraaf. De debieten waren ook in deze maanden dus maximaal ongeveer $100 \text{ m}^3/\text{s}$ bij de Oude Zeesluis. Doordat enkele dagen de buitenwaterstand in Delfzijl hoog was, en er minder gespuid kon worden via de Oude Zeesluis, is daarnaast gedurende een paar dagen ook gebruik gemaakt van de stromingskokers van de Oosterhornsluis. Zie in de bijlage de grafieken met spuidebieten in deze twee maanden.

2.5 Welke verklarende variabelen zijn er voor de variatie in spuidebieten?

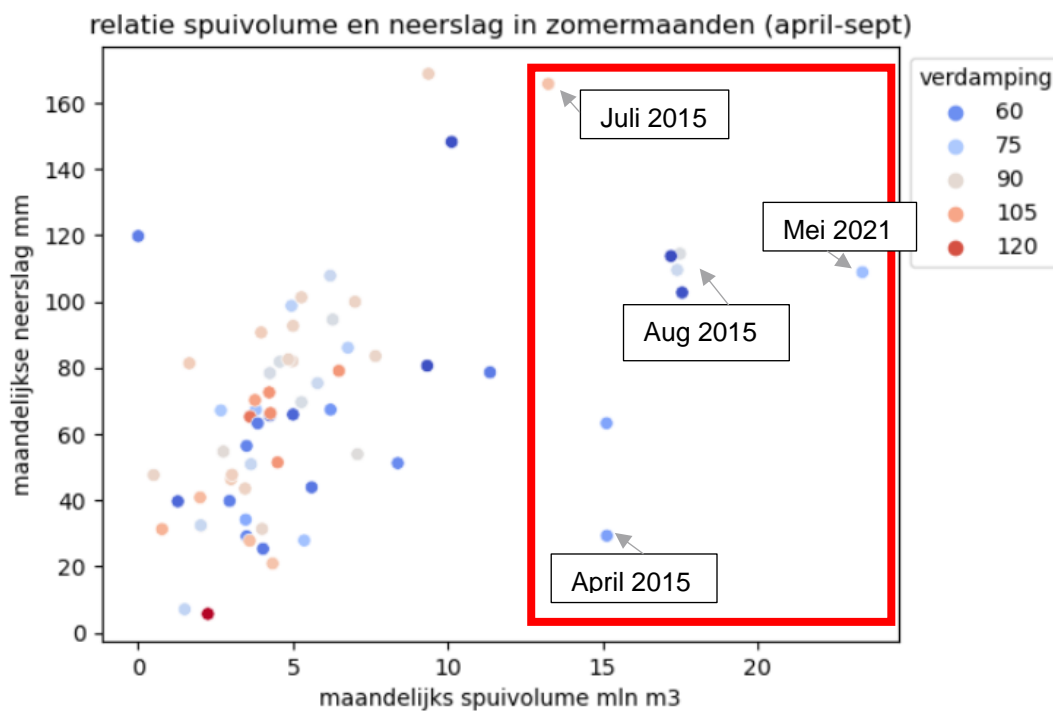
Zomer: terugdringen zoutong

Zoals in paragraaf 2 beschreven zijn de spui volumes in de zomer (april tot en met september) beduidend lager dan in de winter. In de zomermaanden wordt in driekwart van de dagen niet gespuid. Op de dagen dat wel wordt gespuid is dit de helft van de tijd $0,5$ miljoen m^3 : volgens het waterschap wordt in droge perioden de zoutong in de gaten gehouden en bij overschrijding van de gewenste waarde wordt eerst 500.000 m^3 op 1 dag gespuid. Vervolgens wordt via het hiervoor ingerichte meetnet bekeken of dit voldoende effect op het terugdringen van de zoutong heeft gehad. Indien dit niet zo is wordt in dezelfde week nog een 2^e spuibeurt van 500.000 m^3 uitgevoerd, waarmee de zoutong verder wordt

teruggedrongen. Dit moet in 2 fasen gebeuren omdat anders de waterstand in de Eemskanaalboezem te ver uitzakt en er moet voldoende water beschikbaar zijn.

Zomer: relatie spuivolumes met neerslag

Indien we de spuivolumes sommeren per maand zien we in de zomer aanzienlijk lagere spuivolumes dan in de winter (zoals beschreven in paragraaf 2). Echter, er zitten enkele uitschieters bij waarbij 10 miljoen m³ of meer in de maand is gespuid. In Figuur 9 is het maandelijks spuivolumes uitgezet tegen de gevallen neerslag in het stroomgebied en de verdamping in die maand voor de zomermaanden (in Bijlage 1 ook voor alle maanden). Er lijkt een verband zichtbaar: hoe meer neerslag en minder verdamping, hoe meer er gespuid wordt. De maanden waarin veel is gespuid zijn de maanden met relatief veel neerslag/grote piekbuien, vaak aaneengesloten over een paar dagen. In de bijlage zijn de in Figuur 9 weergegeven voorbeeldsituaties meer in detail weergegeven.



Figuur 9: maandelijks spuivolume zomer ten opzichte van maandelijks neerslag

Spuimoment

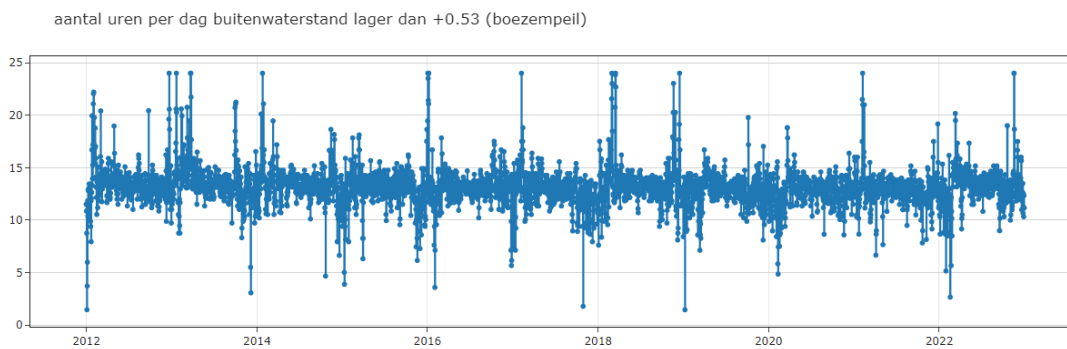
Het spuien is een handbediend proces en vindt daarom voornamelijk overdag plaats. In de data is ook variatie zichtbaar tussen de dagen van de week, maar enkel in de zomermaanden. Het valt bijvoorbeeld op dat in de zomermaanden in 70% van de weekenddagen er niet gespuid wordt, ten opzichte van 50% doordeweeks. Dat er vaak niet gespuid wordt in de weekenddagen, lijkt gecompenseerd te worden op dinsdag en vrijdag: dan wordt er relatief vaak tussen 0 en 1 miljoen m³ gespuid. In de weekend dagen gebeurt dat nauwelijks. Bij de hogere debieten en in de winter is het verschil tussen de dagen verwaarloosbaar klein. Het lijkt er dus op dat er in het weekend pas gespuid wordt als er meer dan ca. 1 miljoen m³ gespuid moet worden en dus niet voor minder en dus ook niet voor de zouttong.

Spuivenster

Op basis van de waterstandsmeting van Rijkswaterstaat in Delfzijl is bepaald hoeveel uur per dag de buitenwaterstand lager is dan het boezempeil. Dit is dus de periode dat onder vrij verval gespuid kan worden. Dit aantal uren is weergegeven in Figuur 10. Gemiddeld is het 13 uur per dag, variërend tussen 10 en 16 uur per dag met uitschieters richting 0 en 24 uur vanwege variaties in het getij.

Vanwege zeespiegelstijging en daling van het boezempeil door bodemdaling zal dit spuivenster in de toekomst kleiner worden. In Bijlage 1 is een voorbeeld weergegeven van februari 2022 waarbij de buitenwaterstand relatief hoog was en er dus weinig uren gespuid kon worden vanuit de Oude Zeesluis. Een situatie als deze kwam in de meetperiode ongeveer eens per 2 jaar voor.

Note; bij deze analyse is uitgegaan van het standaard boezempeil en is dus geen rekening gehouden met verhoogde boezempeilen.



Figuur 10: aantal uren per dag buitenwaterstand lager dan binnenwaterstand

3 Conclusie

Dit hoofdstuk geeft op basis van de data een antwoord op de vooraf gestelde onderzoeksvragen.

1. Hoe vaak en wanneer zijn de spuimiddelen (Oude Zeesluis, Kleine zeesluis en Oosterhornsluis) gebruikt?

De Kleine zeesluis en stromingskokers van de Oosterhornsluis zijn sommige jaren helemaal niet ingezet en andere jaren een paar keer over een aaneengesloten periode van enkele dagen. Dit gebeurt op momenten dat er veel water (indicatief meer dan 4 miljoen m³ per dag) afgelaten moet worden. Gemiddeld is dit eens per 2 jaar. Indien we inzoomen op deze situaties valt op dat de Oosterhornsluis ingezet werd op het moment dat de buitenwaterstand relatief hoog was; er kan dan maar korte tijd gespuid worden via de Oude Zeesluis waardoor het teveel afgelaten wordt via de Oosterhornsluis richting gemaal Rozema. Hier geldt ook de voorwaarde: eerst Oude Zeesluis, dan Kleine Zeesluis en als laatste de stromingskokers. Tijdens spuien worden de stromingskokers in principe niet ingezet, dit vindt alleen tijdens hoog water op zee plaats wanneer spuien niet mogelijk is.

2. Wat waren de spuibolumes per maand?

De maandelijkse spuibolumes variëren tussen de 0 en 80 miljoen m³. Er is duidelijk een seizoenseffect zichtbaar in de data: in de zomer wordt gemiddeld 5 miljoen m³ water gespuid per maand en in de winter bijna 10 keer zoveel. Ook tussen de jaren is grote variatie zichtbaar, hierin zit een relatie met de gevallen neerslag en de optredende verdamping.

3. Met welk debiet werd er gespuid?

Op basis van de hoeveelheid water die afgelaten moet worden, wordt bepaald hoe lang er gespuid wordt. Het spuidebiet hangt vervolgens af van de buitenwaterstand die varieert door het getij. Tijdens vloed kan niet worden gespuid, tijdens eb kan het maximale debiet van 100 m³/s worden bereikt. Bijna iedere keer dat er gespuid wordt, wordt dit maximale debiet ook bereikt. De duur waarin gespuid wordt varieert tussen circa een uur en het gehele getij.

4. Wat zijn de debieten wanneer er een vaarverbod werd afgekondigd?

Op deze vraag kan geen antwoord worden gegeven omdat er bij deze studie geen data beschikbaar was de waterstand in het Eemskanaal. Aangenomen wordt echter dat deze situatie met name zal optreden bij veel neerslag (groot waterbezwaar) in combinatie met hoge zeewaterstanden. Als gevolg van bodemdaling en zeespiegelstijging zal deze situatie in de toekomst steeds vaker kunnen optreden.

5. Welke variatie zit er in de spuidebieten en wat zijn verklarende variabelen hiervoor? Hierbij kijken we naar neerslag en verdamping, buitenwaterstand Delfzijl, waterstand Eemskanaal, zomer/winterseizoen en week/weekenddagen.

De spuihoeveelheden hebben een duidelijke link met de neerslag en verdamping in die maand.

In de zomermaanden wordt aanzienlijk minder vaak en minder volume gespuid dan in de winter. Toch wordt ook in de zomer vaak nog om de paar dagen gespuid (gemiddeld 2x/week) (ook wanneer geen/ weinig neerslag is gevallen). Vaak is dit dan ongeveer 0,5 miljoen m³ per dag om de zouttong terug te dringen.

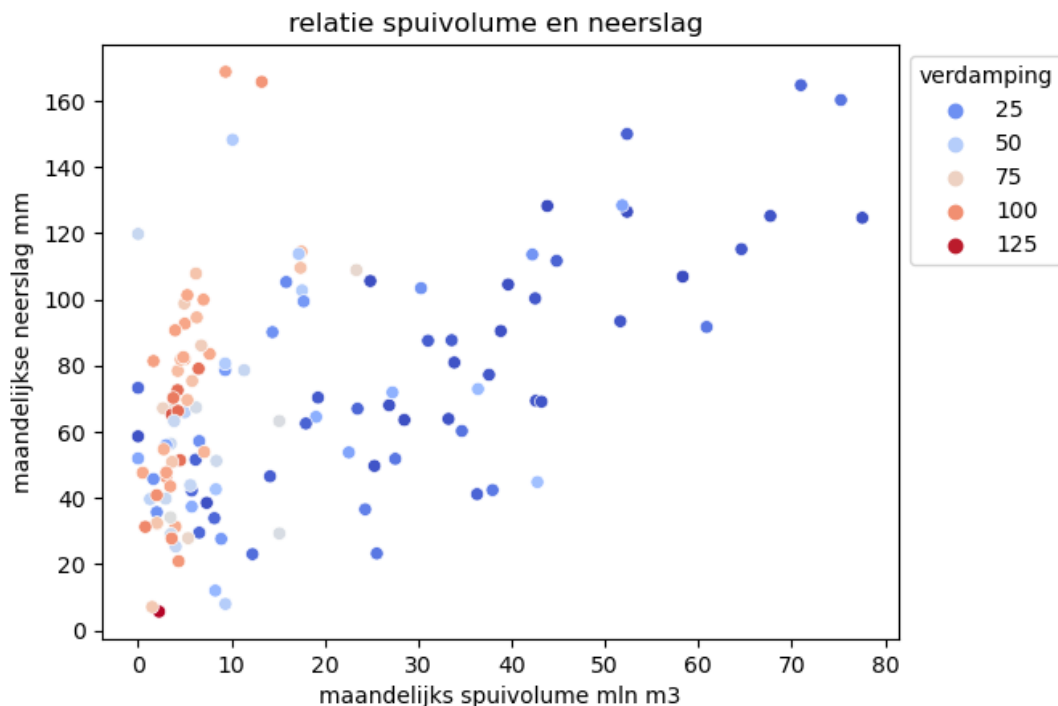
Het spuien is handbediend. Het vindt met name overdag plaats en bij lage spuibehoefte ook met name doordeweeks.

Er kan onder vrij verval gespuid worden als de boezemwaterstand in het Eemskanaal hoger is dan de waterstand aan de buitenzijde in Delfzijl. Die buitenwaterstand fluctueert met het getij en is gemiddeld 13 uur per dag lager dan NAP+0,53 m (boezempeil). Door variatie in het getij is dit soms meer of minder, met uitschieters waarbij niet of maar een paar uur gespuid kan worden.

Bijlage 1

Maandelijkse spuivolumes uitgezet tegen neerslag en verdamping voor gehele jaar in periode 2013-2022

Hoe meer neerslag, hoe meer er gespuid wordt in die maand. In de zomermaanden zijn de spuivolumes lager ondanks de soms hoge neerslaghoeveelheden, dit wordt verklaard door de hoge verdampingswaarden.



Zomermaanden met hoge maandelijkse spuivolumes

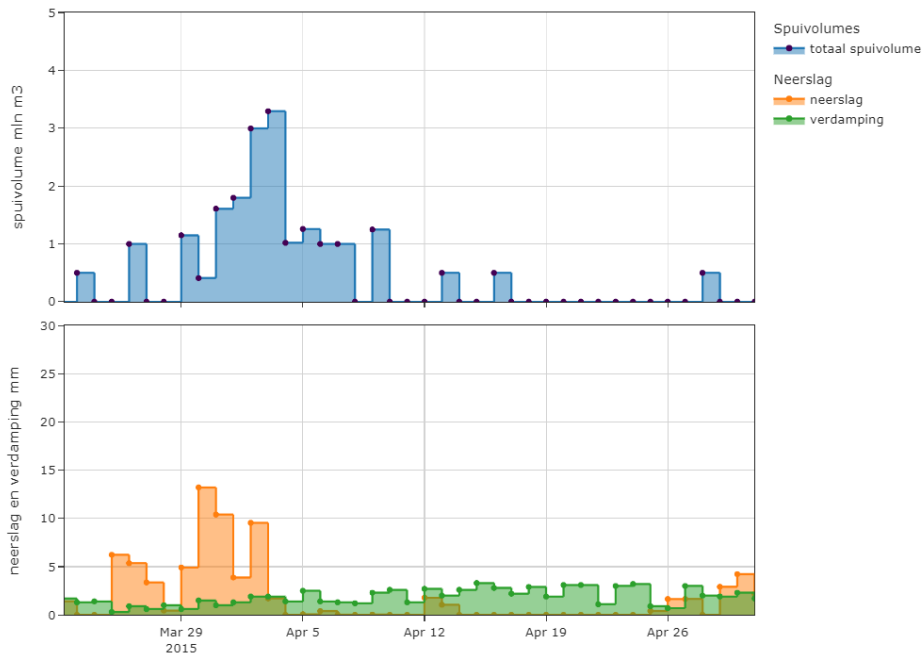
Er zijn maanden tussen april en september waarin relatief veel gespuid werd, maandelijks totaal 10 miljoen m3 of meer. Dit komt gemiddeld zo'n 1 keer per jaar voor.

Ingezoomd op de situaties in het rode blok in *Figuur 9* (voor geel gemarkeerd zie grafieken hieronder):

jaar	maand	totaal spuivolume mln. m3	aantal dagen per maand gespuid	neerslag	verdamping
2013	9	17.56	15	102.69	48.7
2014	5	17.4	12	109.51	82.3
2015	4	15.13	11	29.31	63.8
2015	7	13.24	7	165.67	98.2
2015	8	17.49	11	114.4	86.6
2016	4	11.36	12	78.61	56.4
2017	9	17.2	16	113.71	47.4
2019	9	10.12	11	148.17	48.5
2021	5	23.38	20	108.84	71.4
2022	4	15.12	11	63.26	64.8

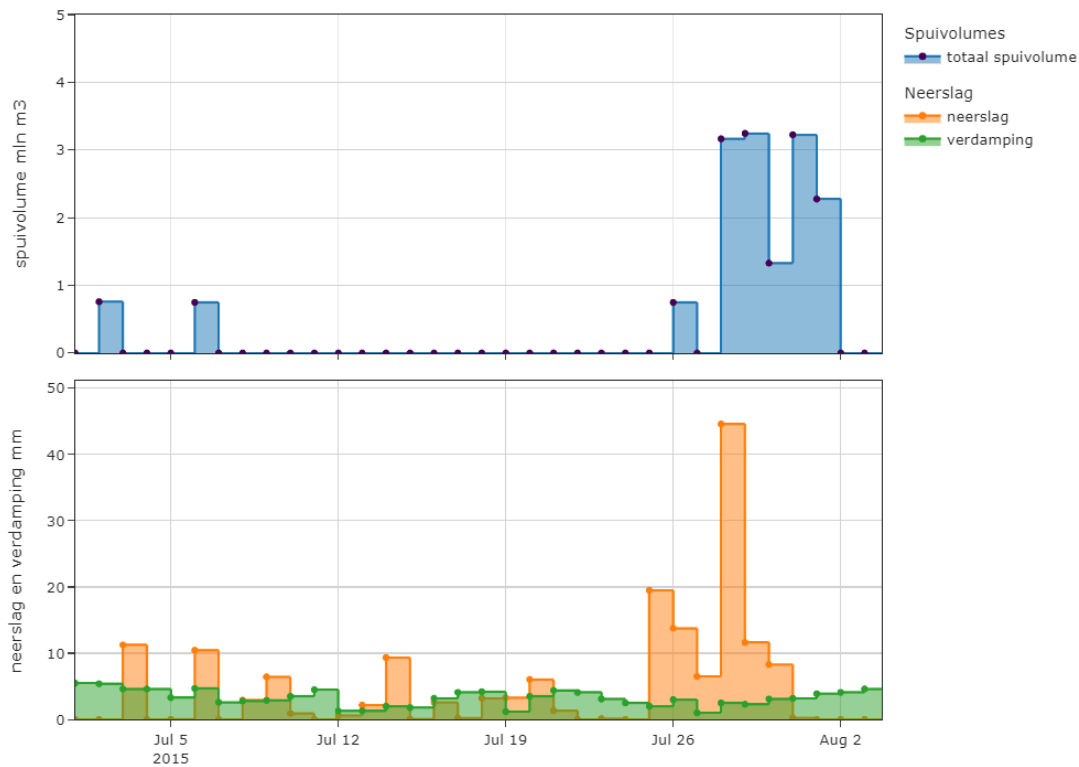
April 2015

In april was de neerslaghoeveelheid laag, maar de spuihoeveelheid hoog. Dit is echter een vertekend beeld; er viel eind maart 2015 veel neerslag en dit werd begin april afgevoerd door de spuisluis.



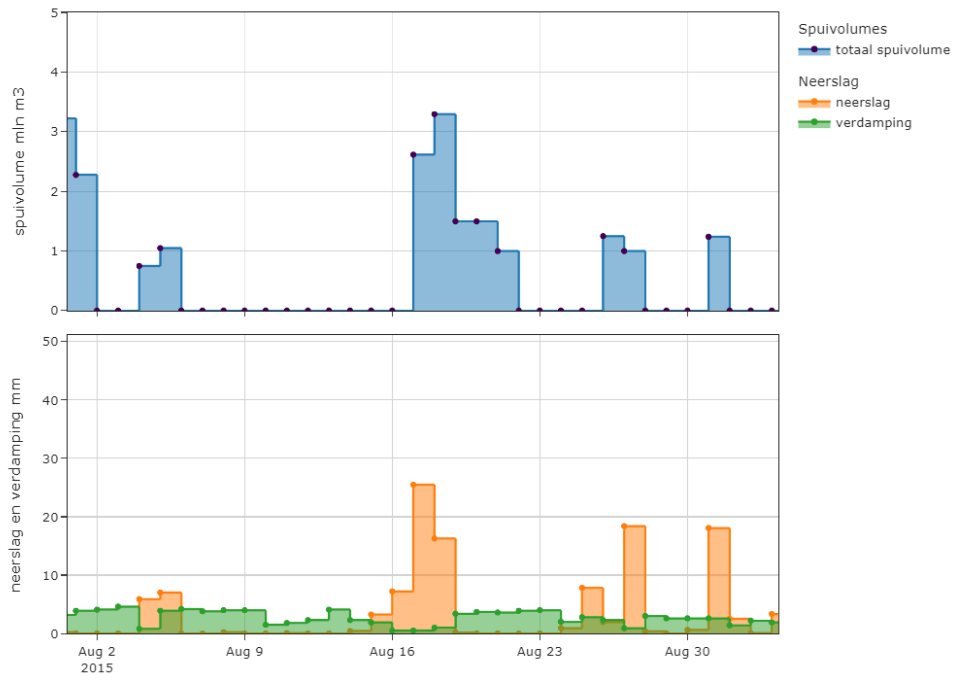
Juli 2015

Meerdaagse neerslag met zeer hoge pieken. Daarna hoge spuivolumes.



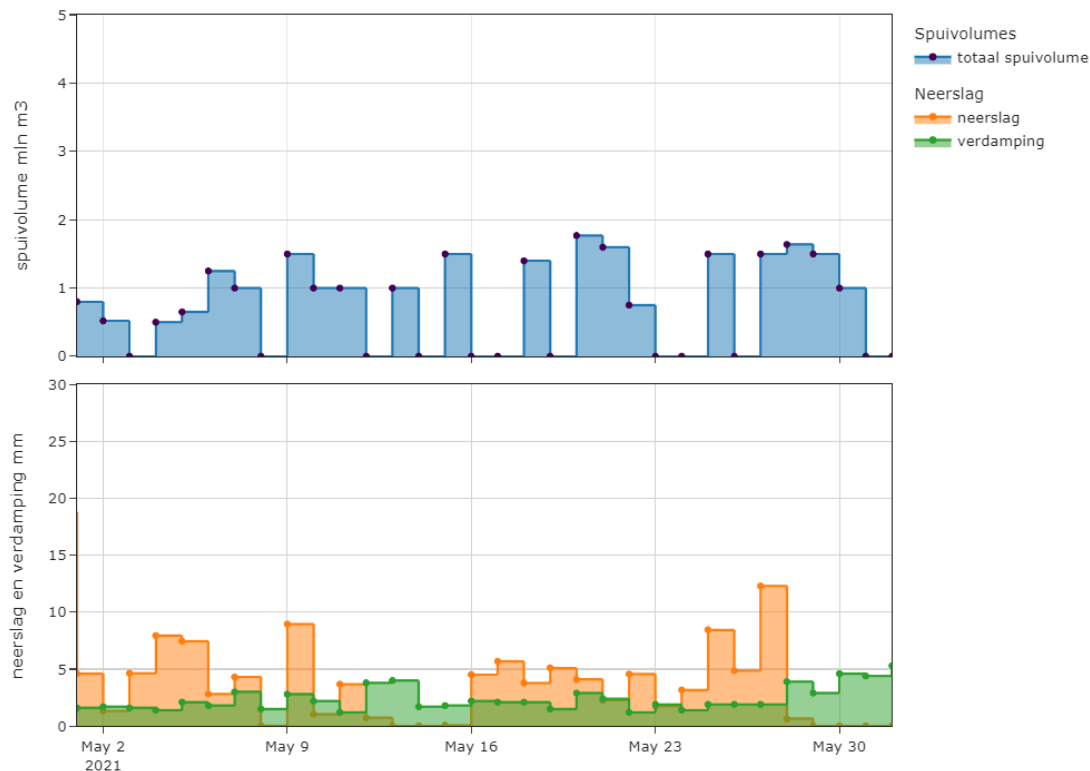
Augustus 2015

Enkele buien in de maand met hoge pieken. Daarna hoge spui volumes



Mei 2021

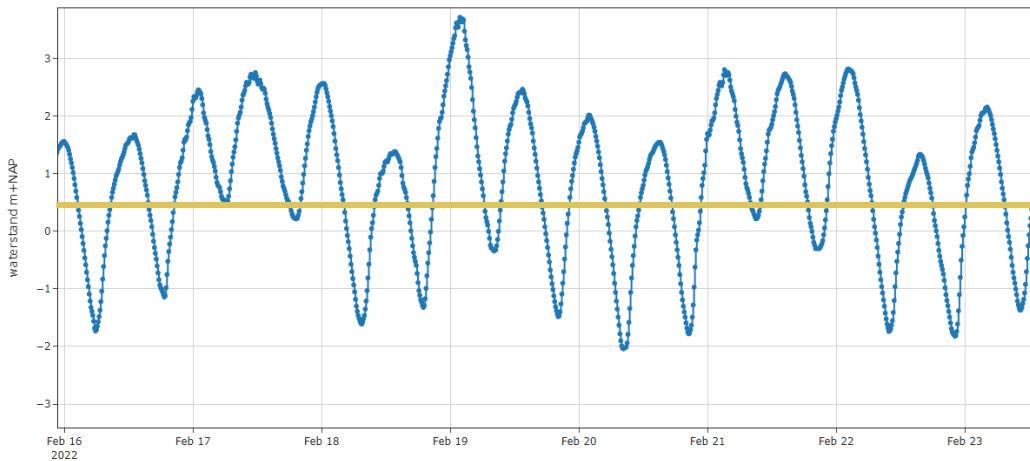
Gedurende de maand veel dagen met neerslag. Relatief lage verdamping. Daardoor gedurende de maand 20 dagen spuien.



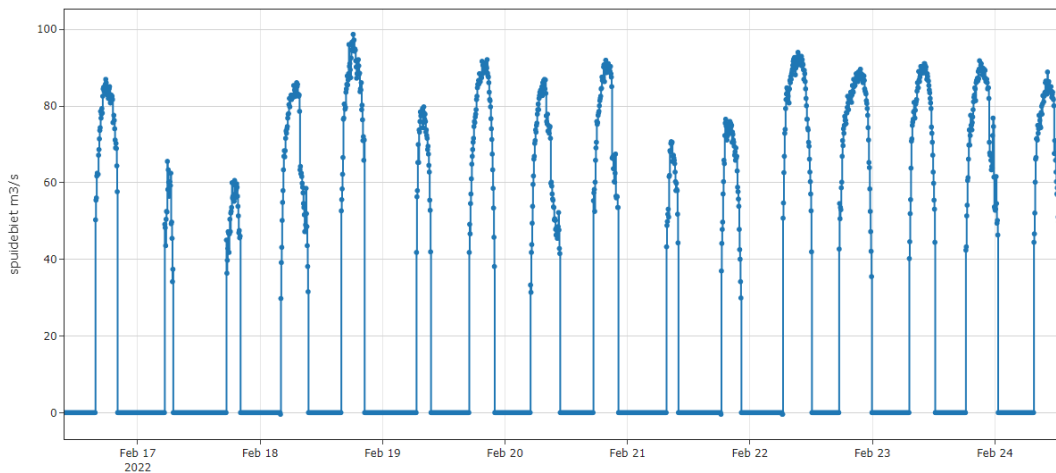
Spuivenster – hoogwater voorbeeld

In februari 2022 was gedurende enkele dagen de buitenwaterstand relatief hoog. Soms zo hoog dat ook tijdens eb het hoger bleef dan het boezempeil (indicatief weergegeven met gele lijn) waardoor spuien bemoeilijkt werd. Een groot deel van het spuivolume is dus ook afgelaten via de Oosterhornsluis in plaats van via de Oude Zeesluis, zie onderstaande grafieken.

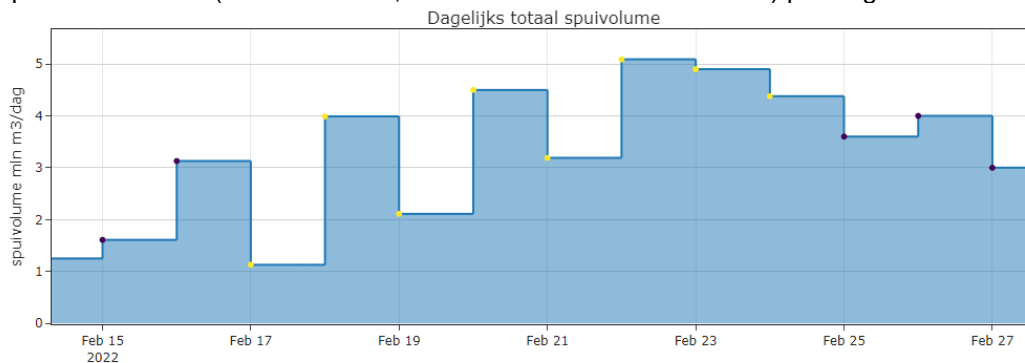
Waterstand buiten - Delfzijl



Spuidebiet Oude Zeesluis

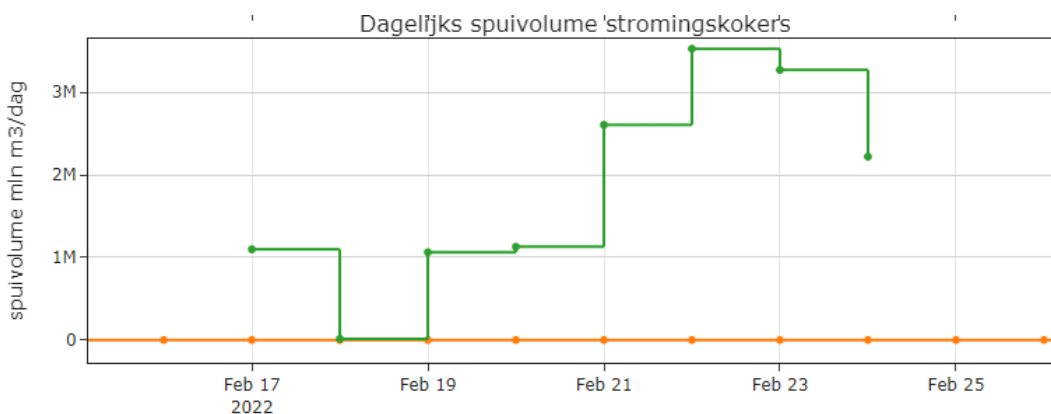


Spuivolume totaal (Oude Zeesluis, kleine sluis en Oosterhornsluis) per dag



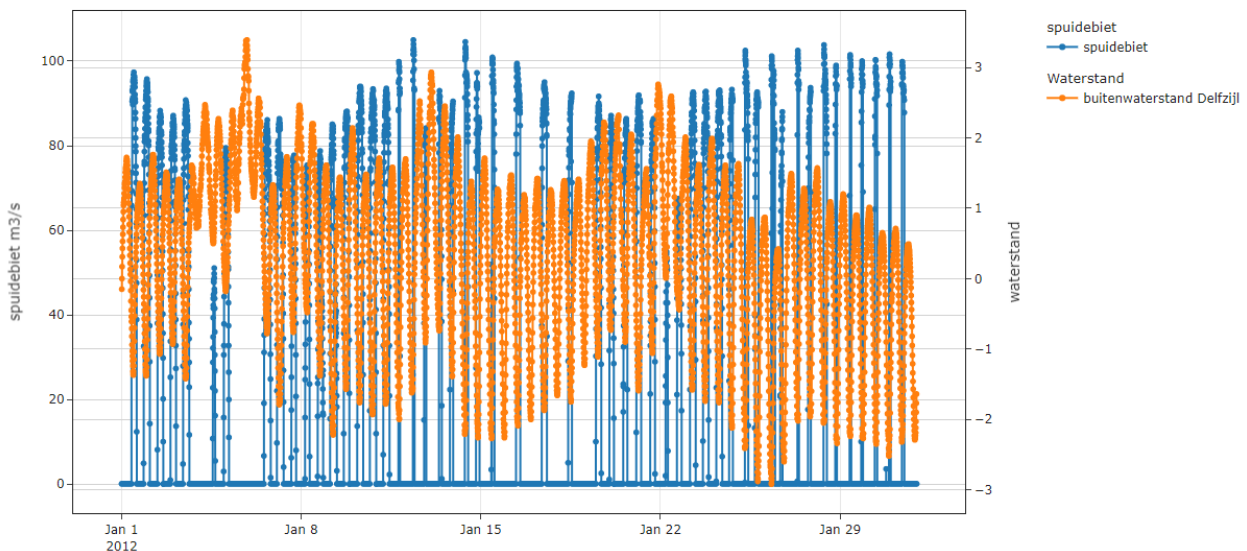
Spuivolume stromingskokers Oosterhornsluis per dag (groene lijn) (Nb. waar geen groene lijn zichtbaar is, dus voor 17 februari en na 24 februari, is het volume 0)

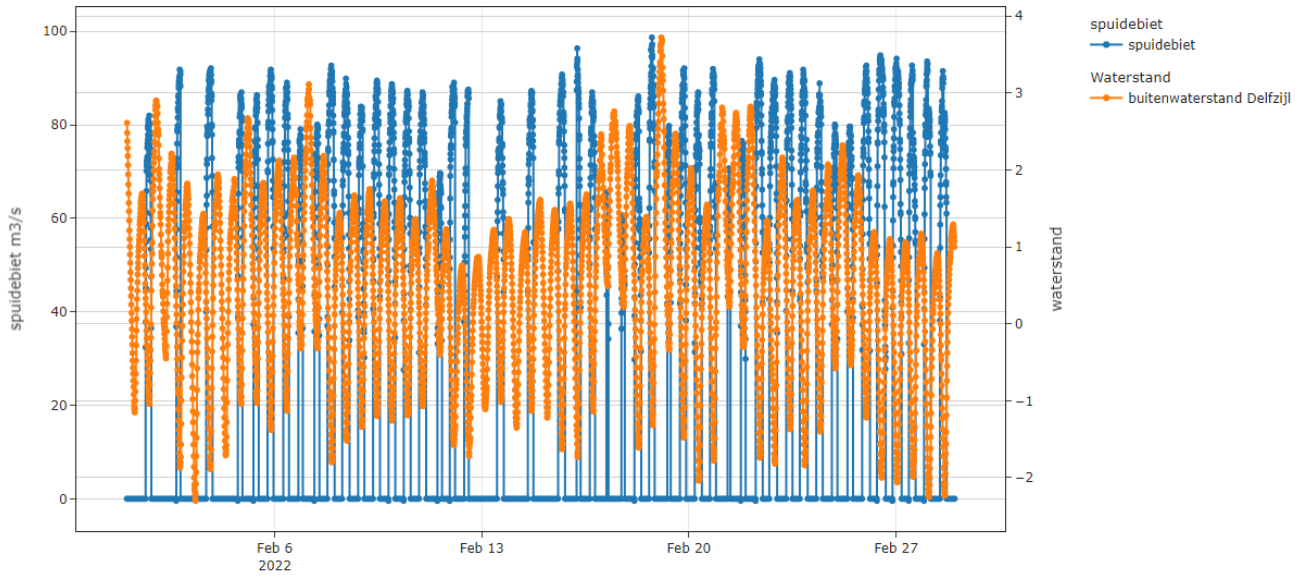
In bovenstaande figuur is af te lezen dat tijdens de piek op 22 februari er ruim 5 miljoen m³ water op een dag werd gespuid. Onderstaande figuur geeft weer dat een groot deel daarvan, circa 3,5 miljoen m³ die dag, via de stromingskokers van de Oosterhornsluis is gegaan vanwege de hoge buitenwaterstand.



Spuidebieten tijdens vaarverbod

In januari 2012 en februari 2022 is een vaarverbod afgekondigd. Onderstaande grafieken geven het debiet van de Oude Zeesluis weer in die maanden. Het debiet is ook hier maximaal circa 100 m³/s. Rond de periodes van 3-6 januari 2021 en 16-22 februari 2022 was de buitenwaterstand in Delfzijl relatief hoog en kon er minder lang gespuid worden via de Oude Zeesluis. In die periodes is dan ook water afgelaten via de Oosterhornsluis.





Colofon

MIRT VERKENNING KUSTONTWIKKELING EEMSZIJLEN
NAUTISCHE VEILIGHEID (ZEEF 2)

KLANT

Provincie Groningen

AUTEUR

Mark Bos

PROJECTNUMMER

30089960

ONZE REFERENTIE

FCR7FC4WZVA2-1788890884-835:definitief

DATUM

25 september 2023

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Jean-Pierre Dubbelman
Binnenvaartkapitein & nautisch adviseur infra

Rian Aarts
Junior Nautisch Adviseur

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op

