

Open de poort!

Circulation and salt transport
in a former estuary after reintroduction
of seawater inflow



Wouter Kranenburg, Deltares & TU Delft

With input from: Meinard Tiessen, Sam Bom, Bas van Leeuwen (Svasek),
Meike Coonen et al. (Hydrologic), Karin Stone, Yann Friocourt, Pieter
Beeldman, Sacha de Goederen e.a. (Rijkswaterstaat)



Contact:

wouter.kranenburg@deltares.nl

Introductie

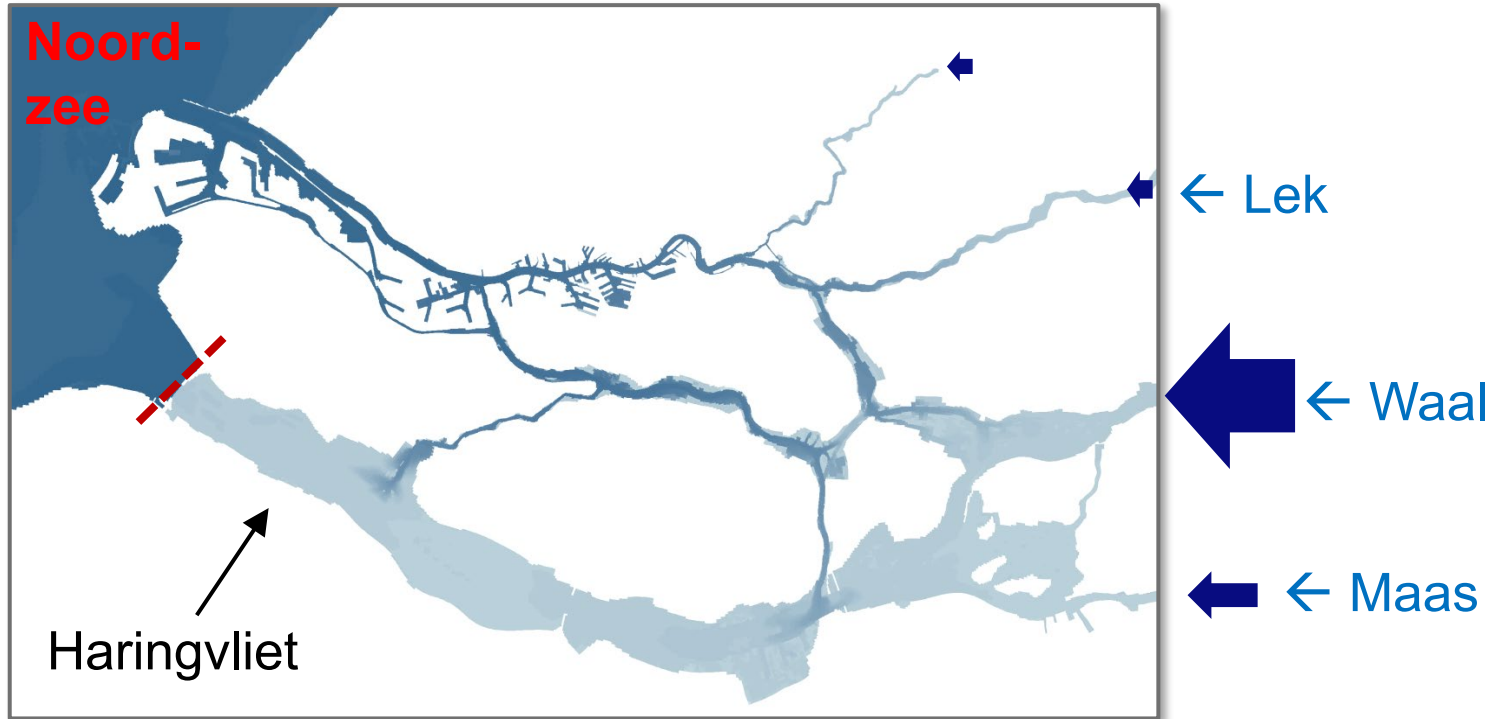


Rhine-Meuse Delta



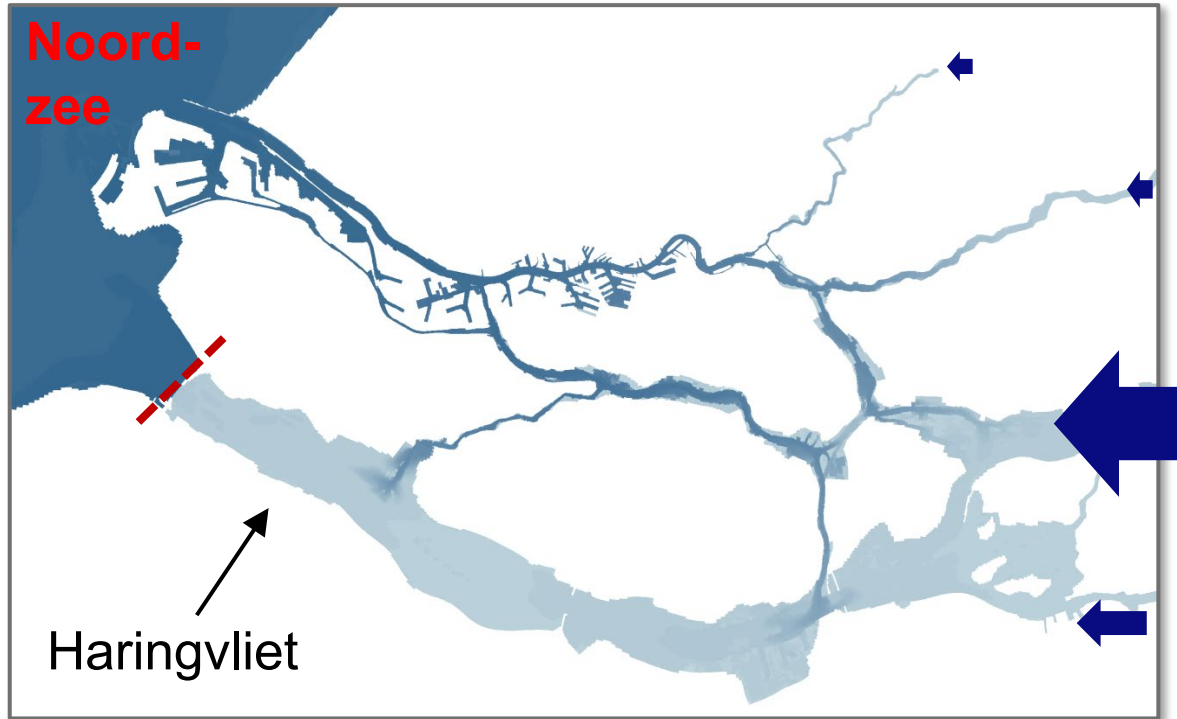
← Rhine
← Meuse

Situatiebeschrijving



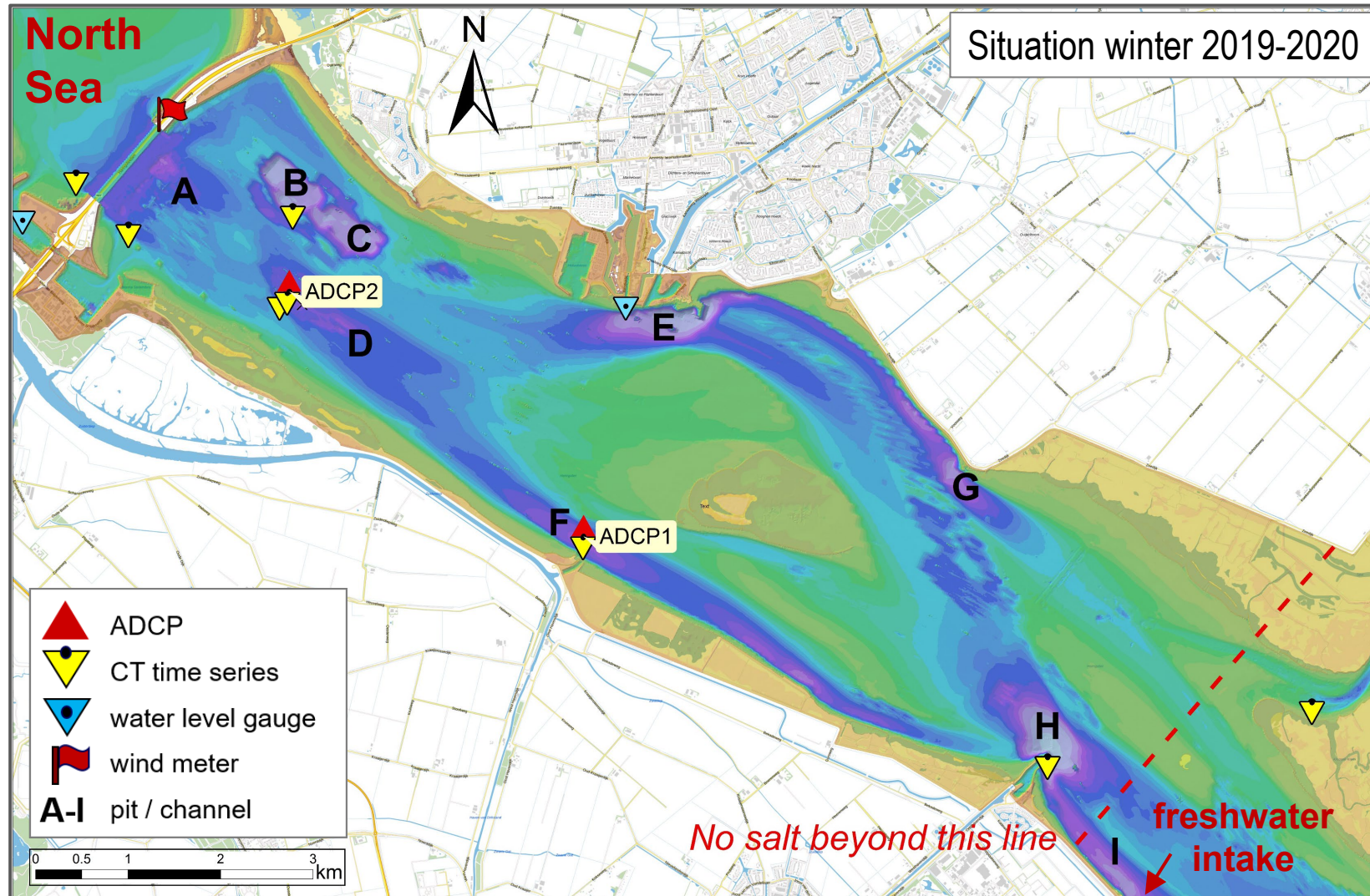
- Zeewaartse uitstroom gereguleerd met sluisen

Situatiebeschrijving



- Zeewaartse uitstroom gereguleerd met sluisen
- Sinds 2018: Beperkte herintroductie zeewater instroom

Onderzoeksvragen Verzilting



- **Instroming**
 - Hoeveel zout komt er binnen?
 - Waar gaat dat naar toe?
- **Spoelen**
 - Hoeveel debiet hebben we nodig voor uitspoelen zout?
- **Verspreiding**
 - Hoe verspreidt het zout zich bij gesloten sluisen?

Hoe werkt dit?

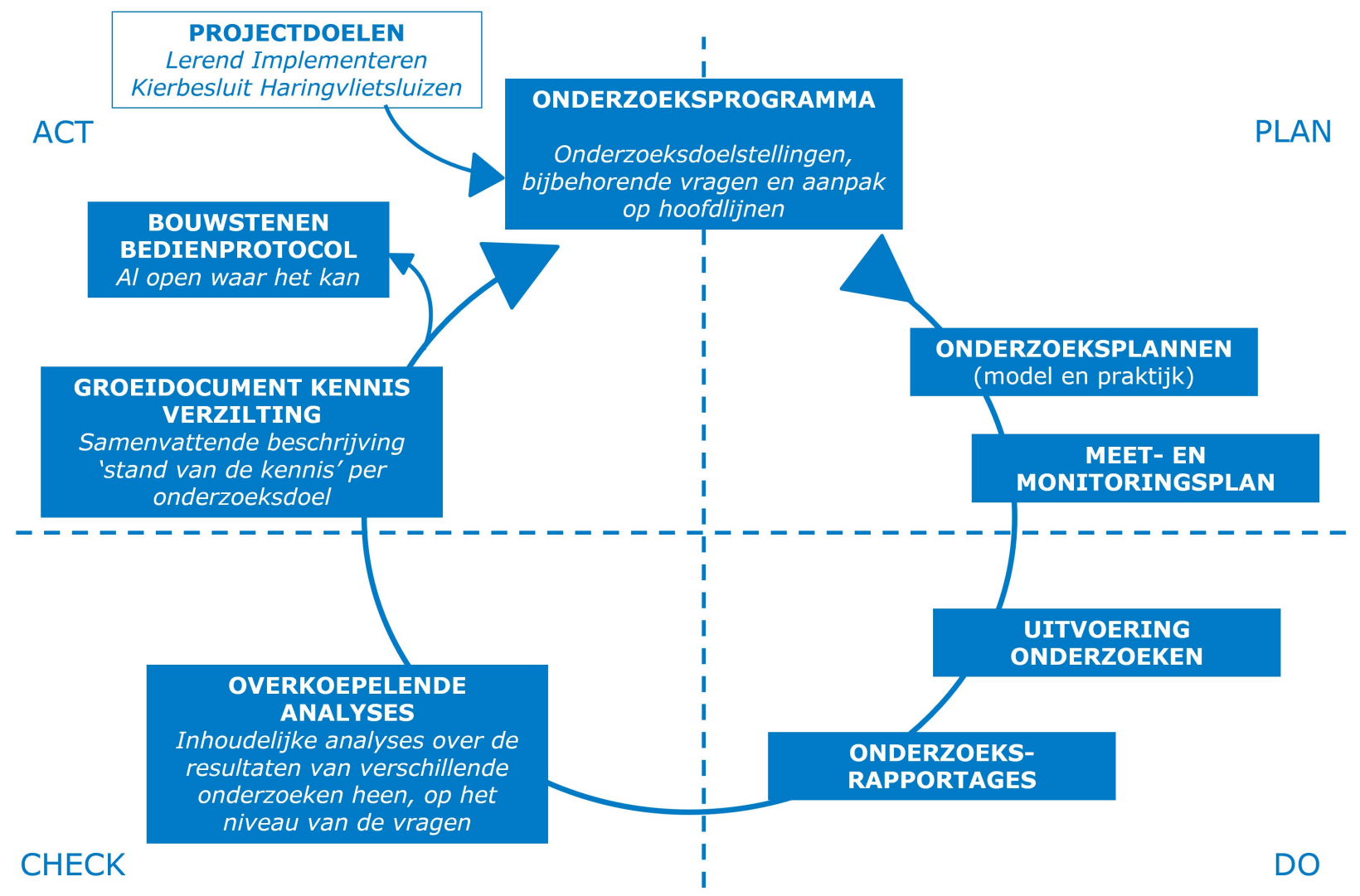
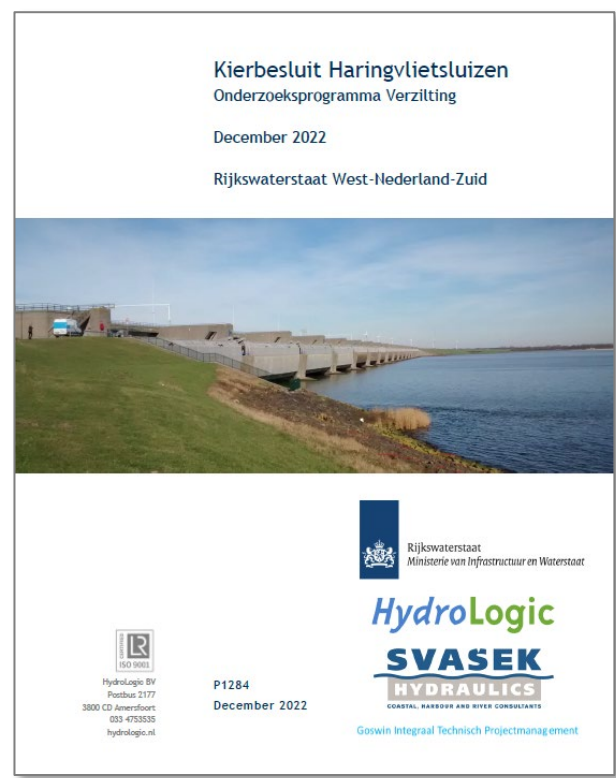
Hoe te beheer(s)en?

Haringvliet (western part)

Onderzoeksprogramma Verzilting

IN: Lerend implementeren
Kierbesluit Haringvlietsluizen

OUT: Bedienprotocol



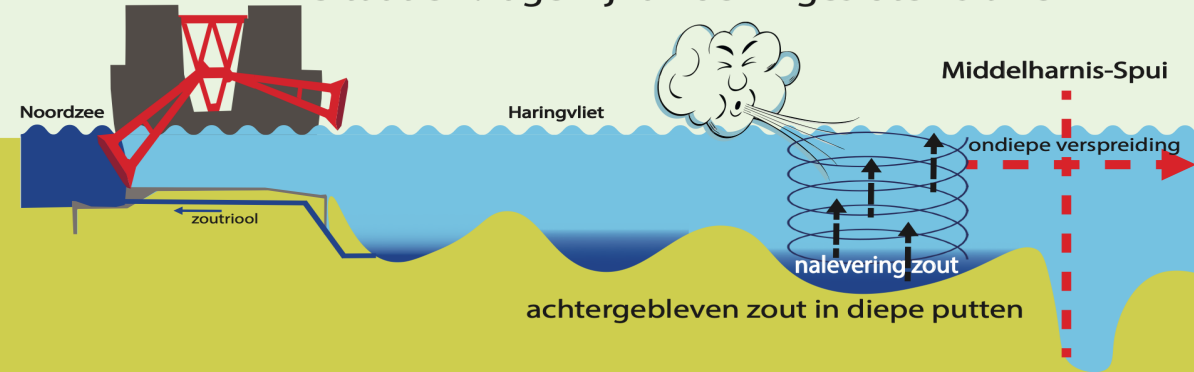
Risico's zoutverspreiding Kierbesluit

Bron: RWS

Situatie 1: voldoende Rijnaafvoer -> kieren



Situatie 2: lage Rijnaafvoer -> gesloten sluisen



Onderzoek beheersen zoutverspreiding lerend implementeren Kierbesluit

Beheersmaatregel 1: hoeveelheid zout in diepe putten beperken -> minder nalevering achtergebleven zout

Situatie 1: voldoende Rijnaafvoer -> beperkt kieren



Situatie 2: lage Rijnaafvoer -> gesloten sluisen



Onderzoeksvragen:

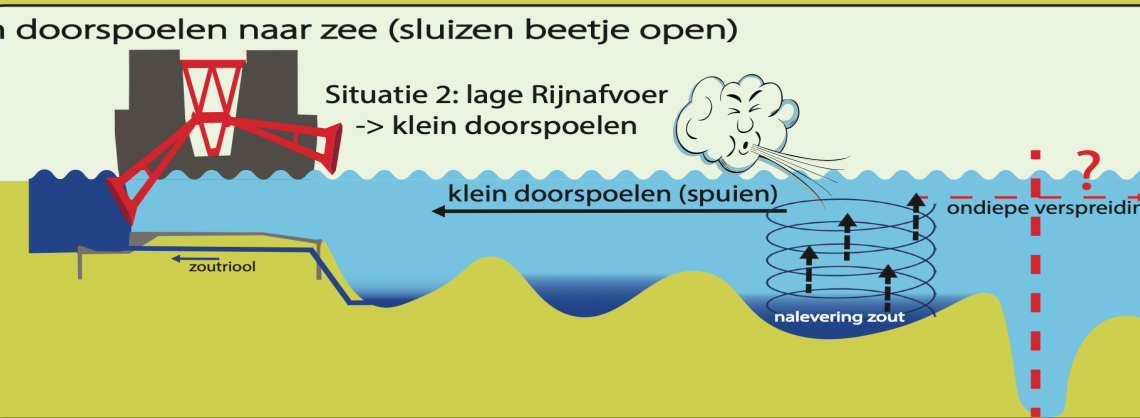
- bij welke hoeveelheden zout in de putten vormt nalevering geen probleem voor innamepunten?
- bij welke sluisopeningen komt de hoeveelheid zout in de putten niet boven deze problematische grens?

Beheersmaatregel 2: ook bij lage Rijnafvoeren doorspoelen naar zee (sluisen beetje open)

Situatie 1: voldoende Rijnaafvoer -> kieren



Situatie 2: lage Rijnaafvoer -> klein doorspoelen

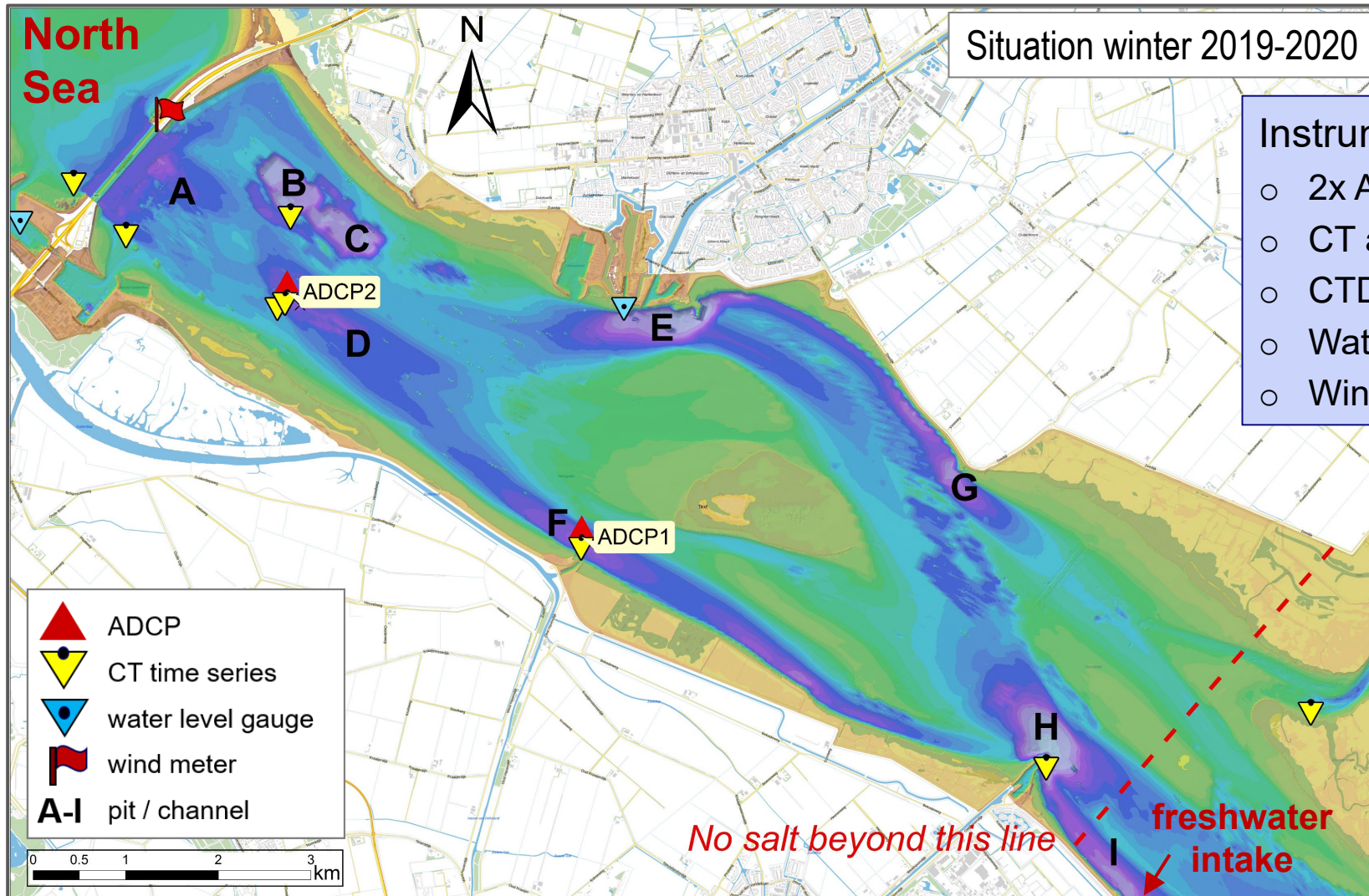


Onderzoeksvragen:

- hoeveel sluisopening/spuidebiet is nodig om nageleverd zout westelijk af te voeren?
- in hoeverre is overloop (diep/onderin) maatgevend voor toelaatbare hoeveelheid zout in putten?

Kier-experimenten

Lerend implementeren:
**geleidelijk instroom
vergroten**



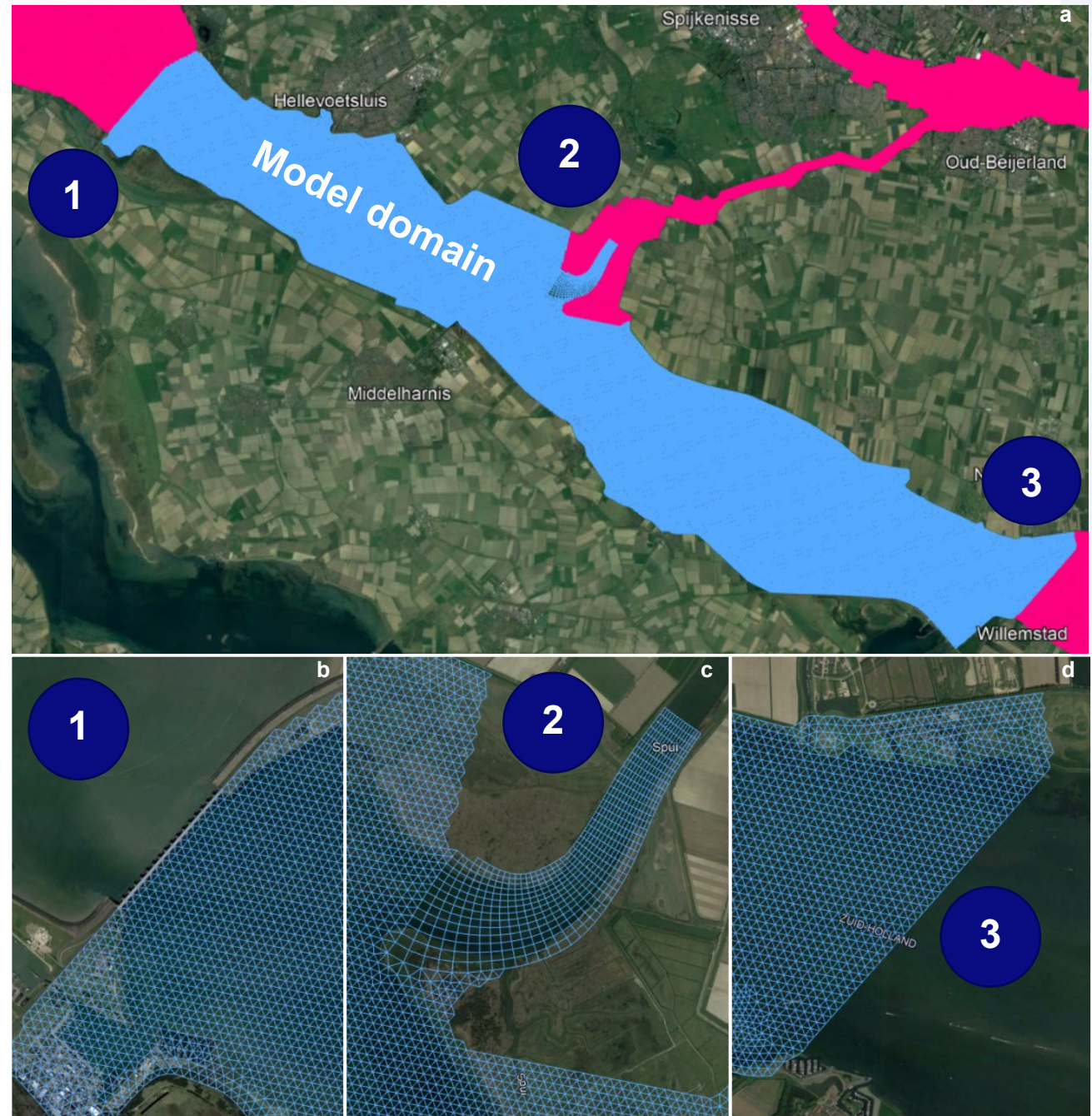
Situation winter 2019-2020

Instrumentatie (2019-2020)

- 2x ADCP
- CT arrays (aan lijn vanaf platform)
- CTD profielen (schip, bij gelegenheid)
- Waterstandsmeters (binnen- & buitenkant)
- Windmeter

Kier-modellering

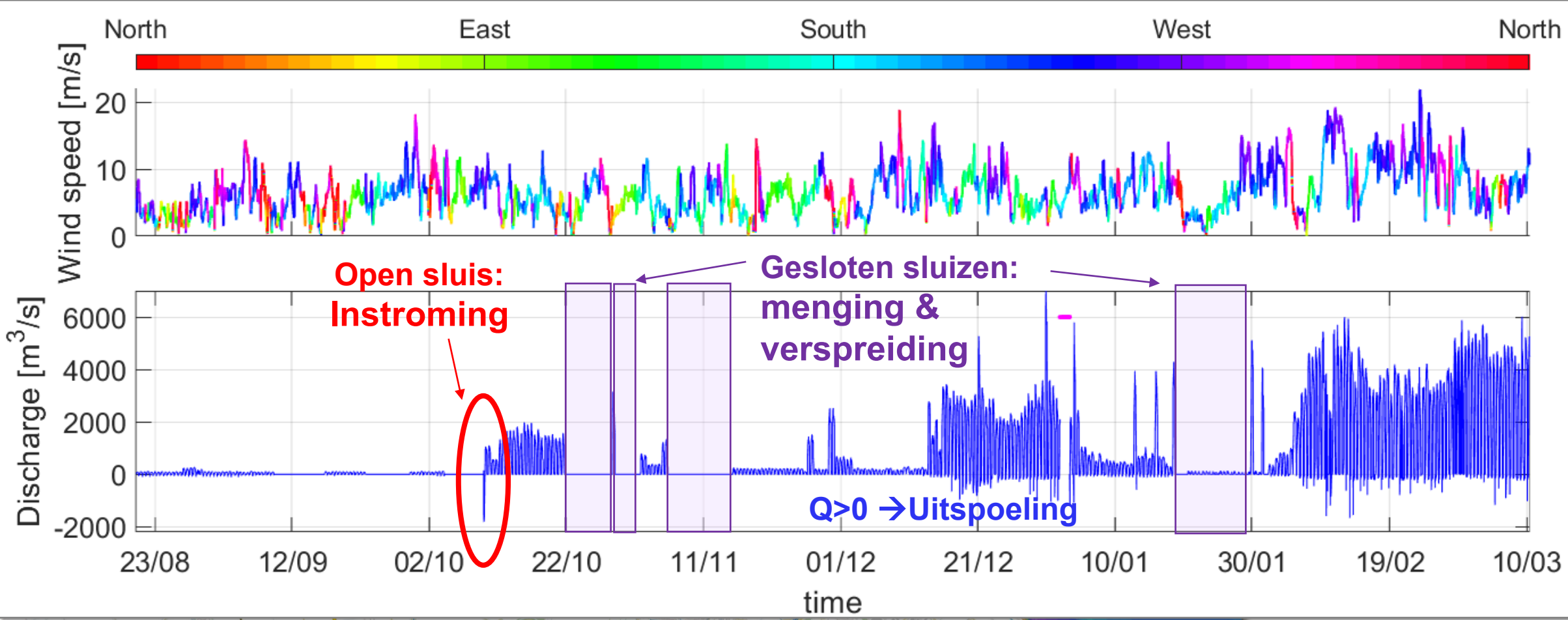
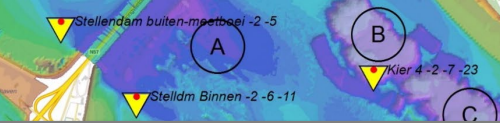
- High-resolution 3D hydrodynamic model
- In **Delft3D-Flexible Mesh**
- Horizontal grid:
 - combination of **triangles & curvi-linear**
 - typical cell-side **60 m**
- Vertical grid:
 - combination of **z & sigma-layers**,
 - **layer thickness $\Delta z = 0.125$ m**
- Boundary conditions:
 - discharges (dep.av.) & water levels
 - wind



Situation winter 2019-2020

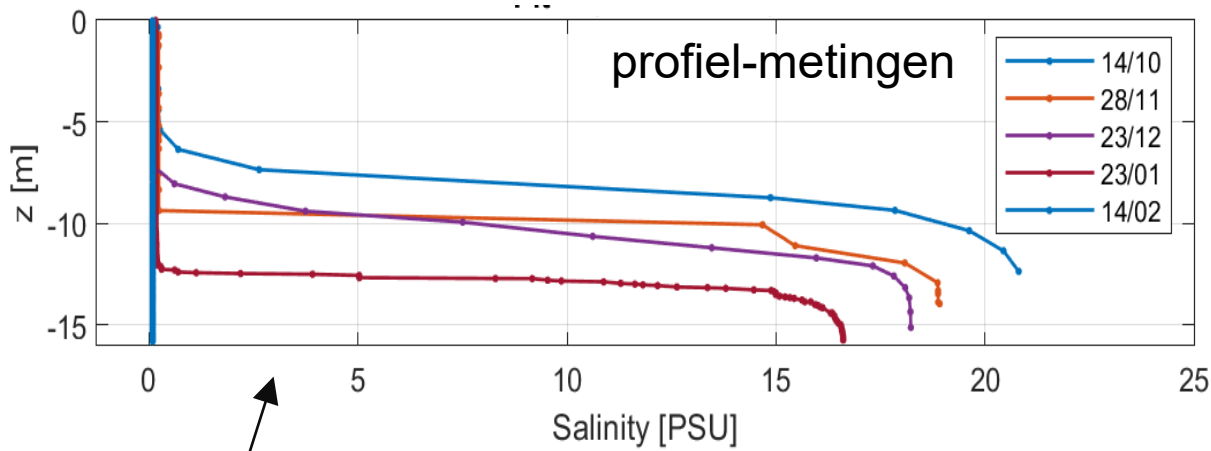
Condities

- Experimenten over:
- Instromen (kieren)
 - Spoelen
 - Naleveren (gesloten sluisen)



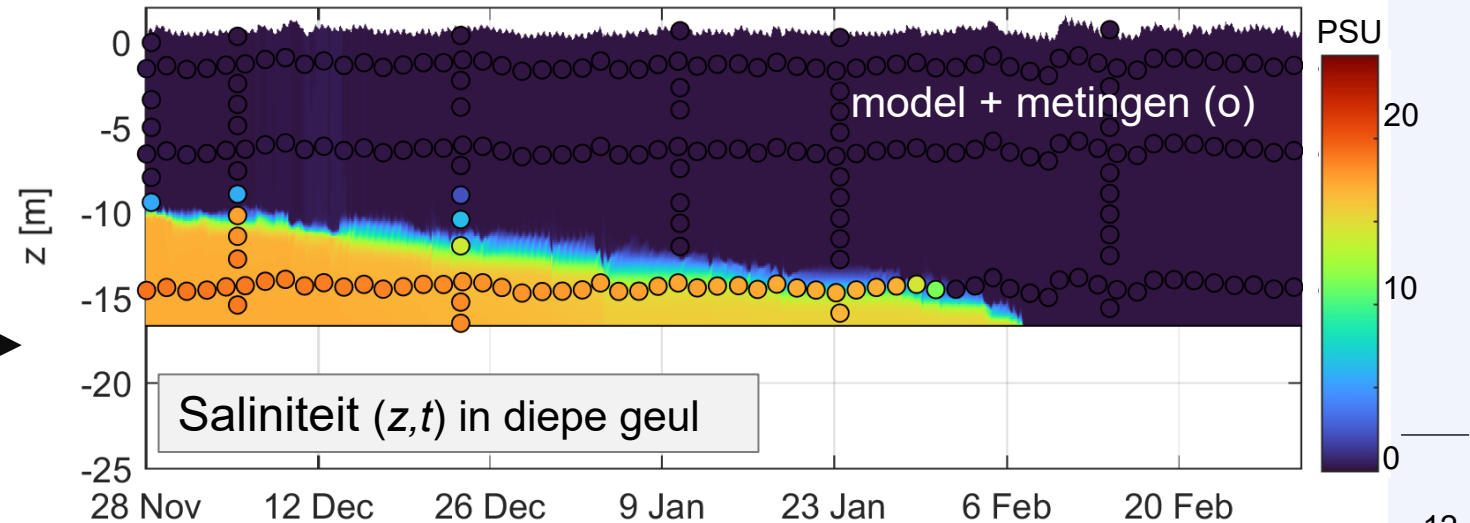
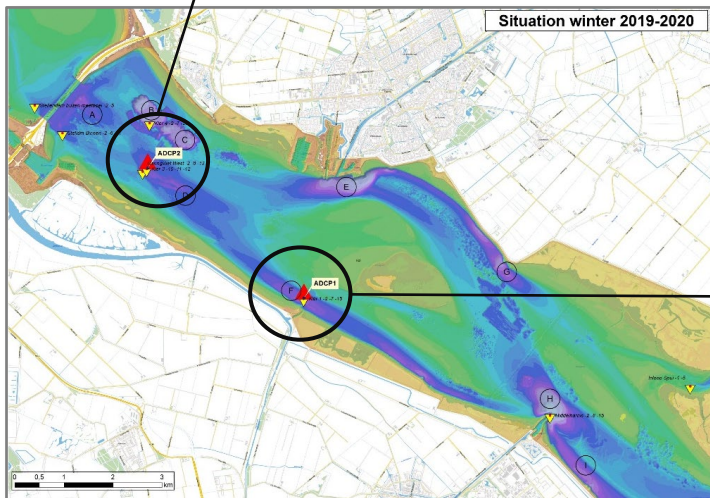
Resultaten (1): Sterke Stratificatie

-15
0

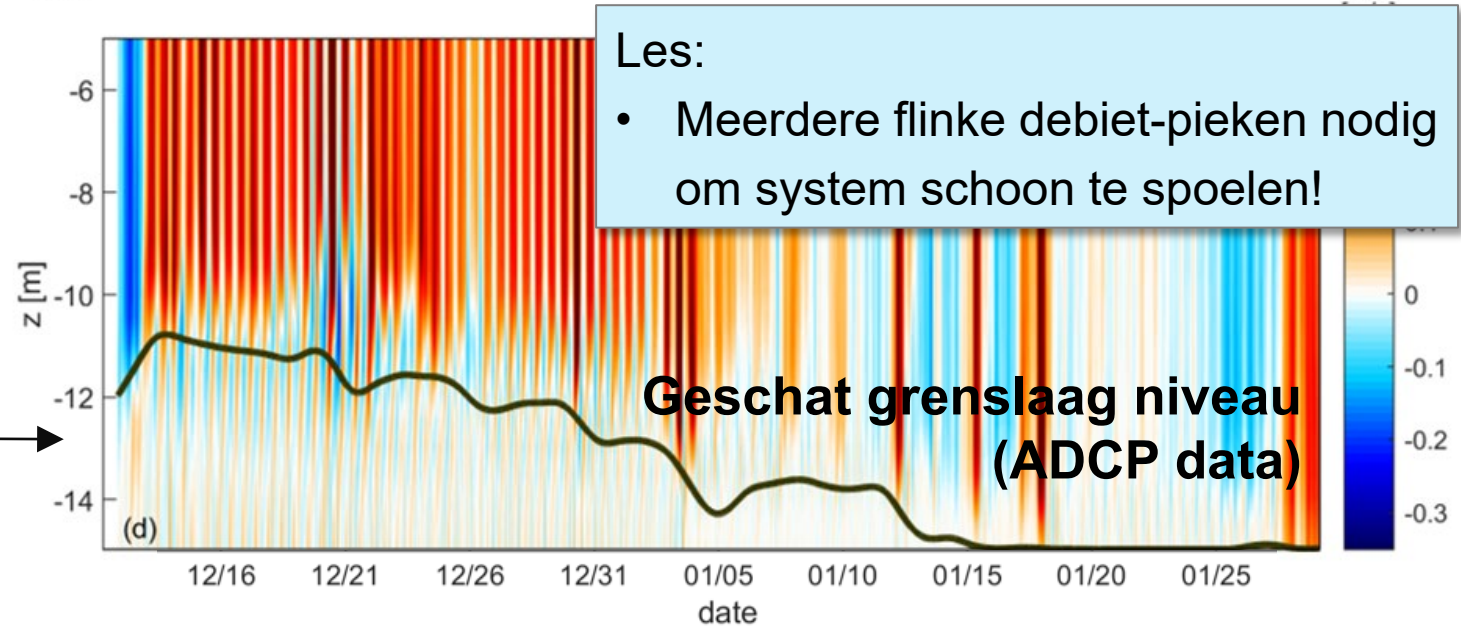
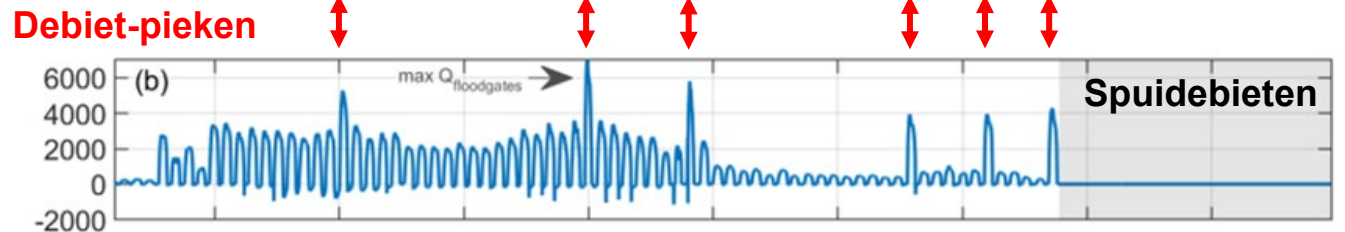
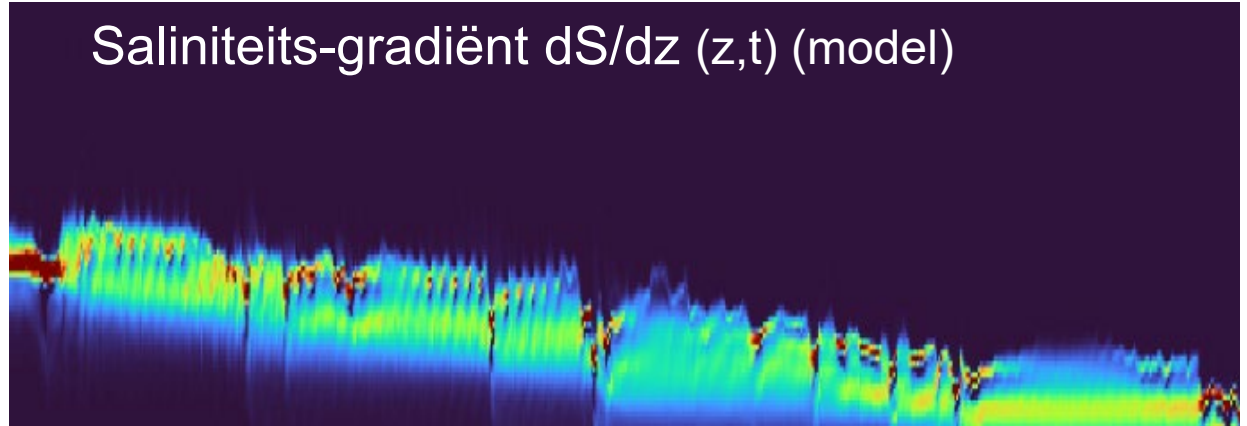
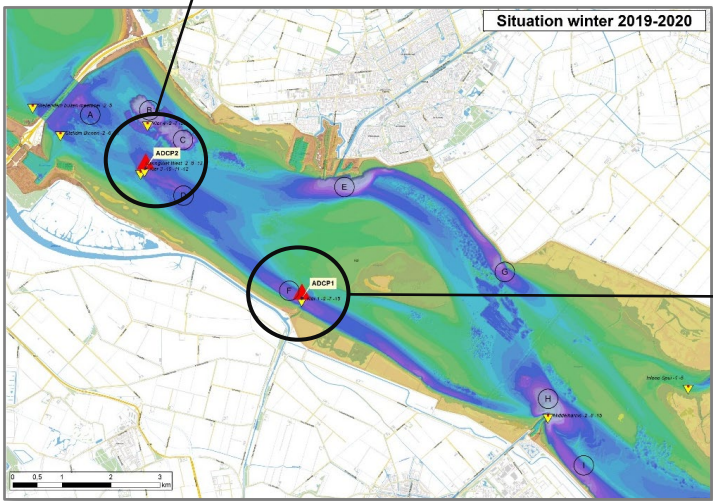
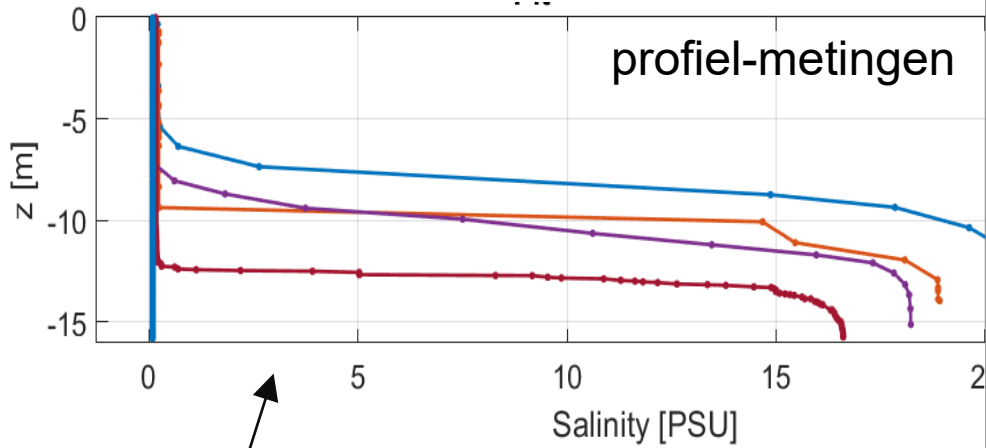


Observaties:

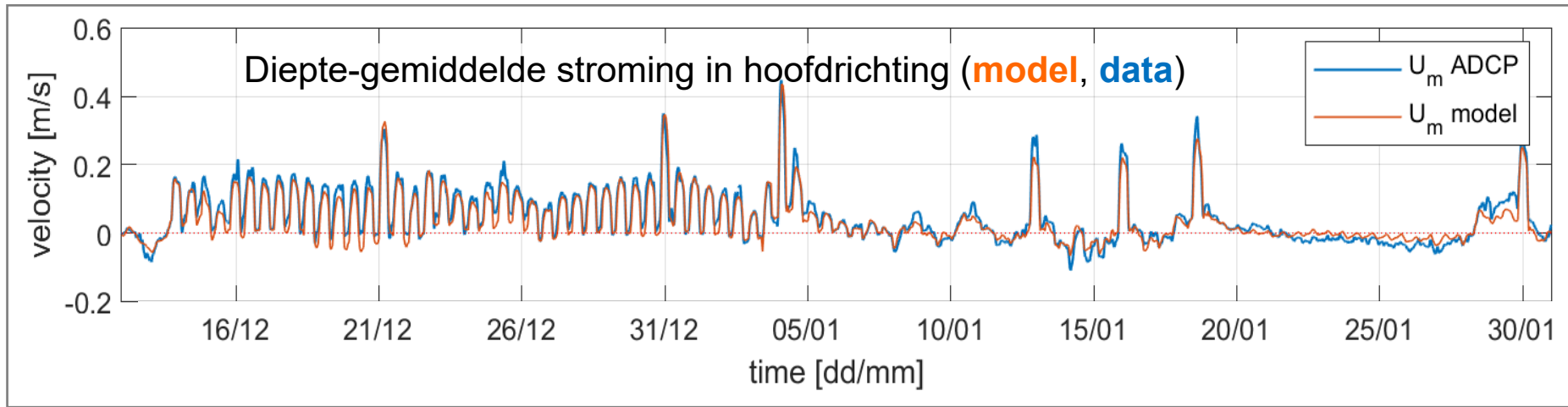
- Scherpe zoet-zout spronglaag
- Daling over tijd



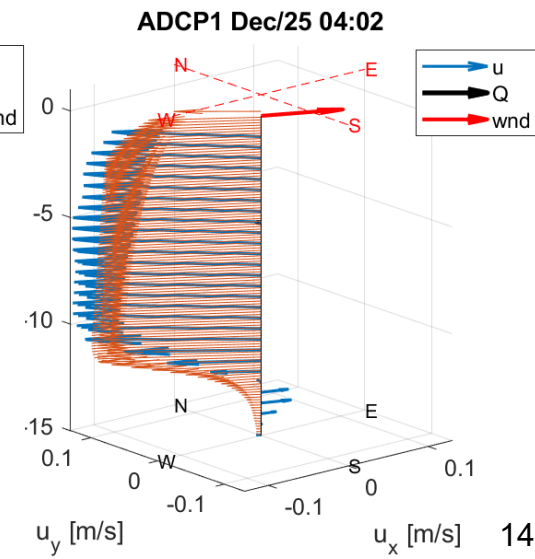
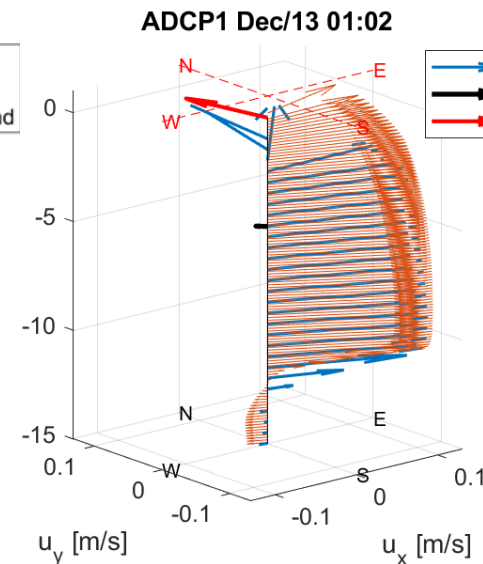
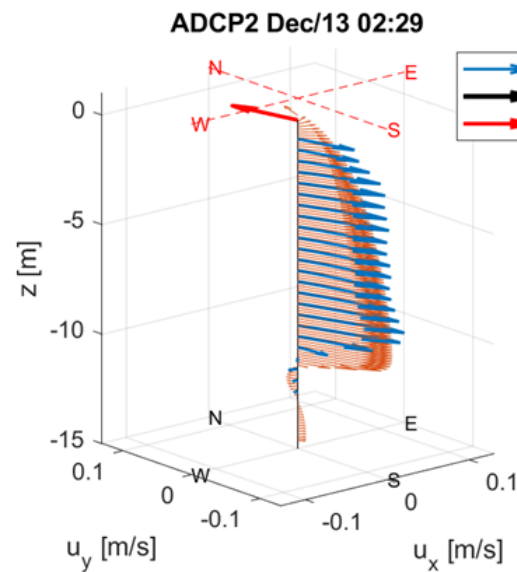
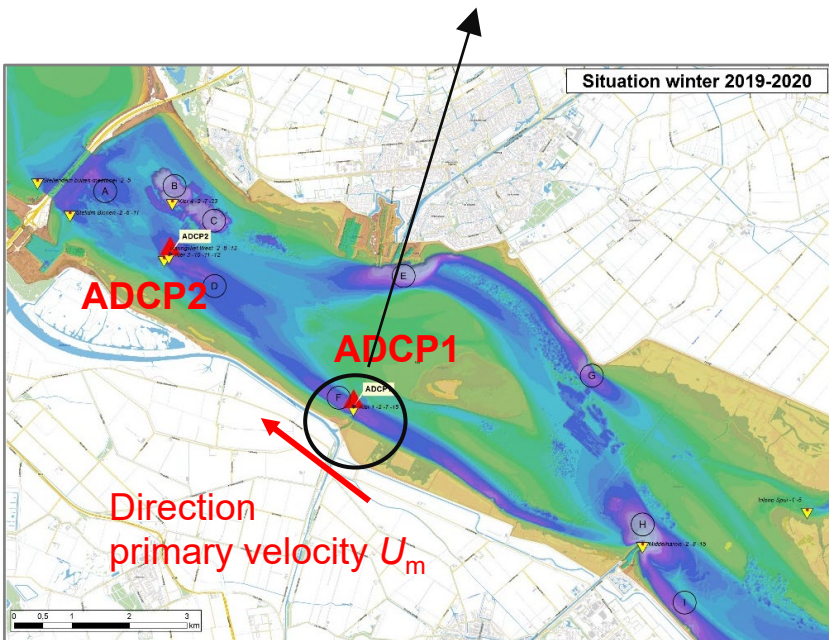
Resulten (1): SterkeS

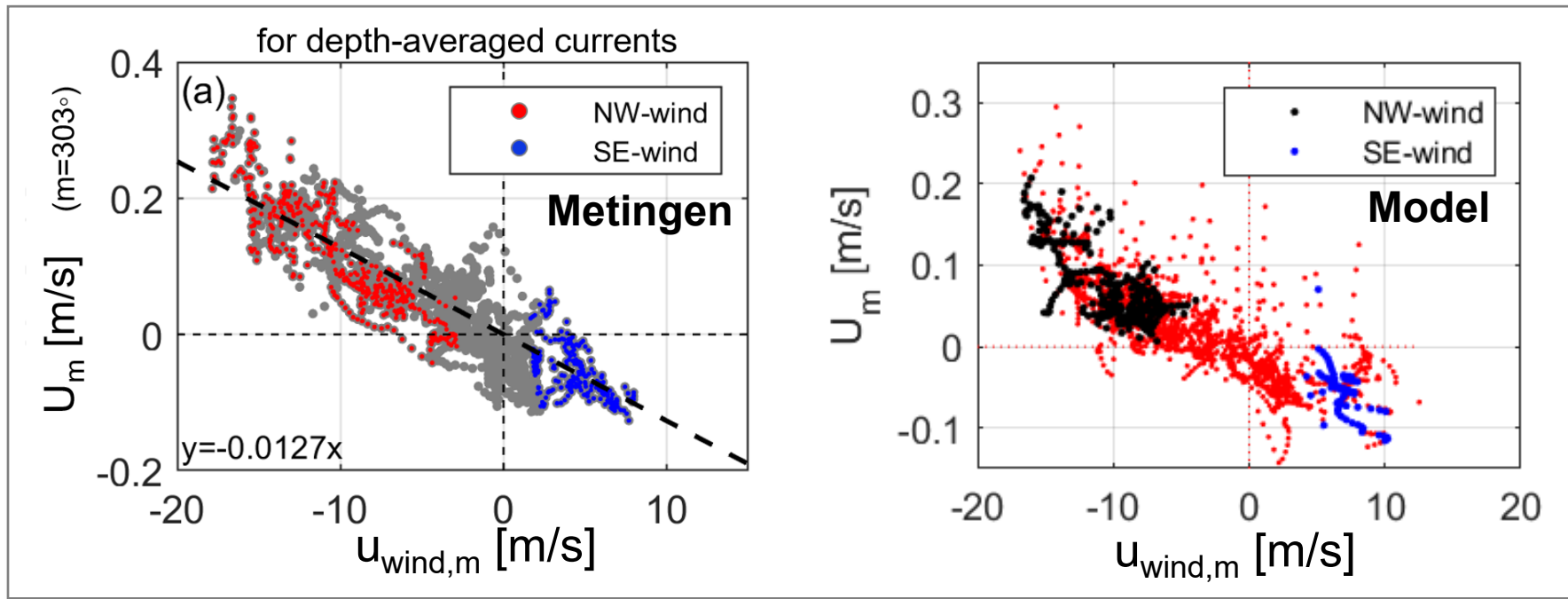


Resultaten (2): Stroming



Situatie met wind
 ↙ maar geen spuidebiet

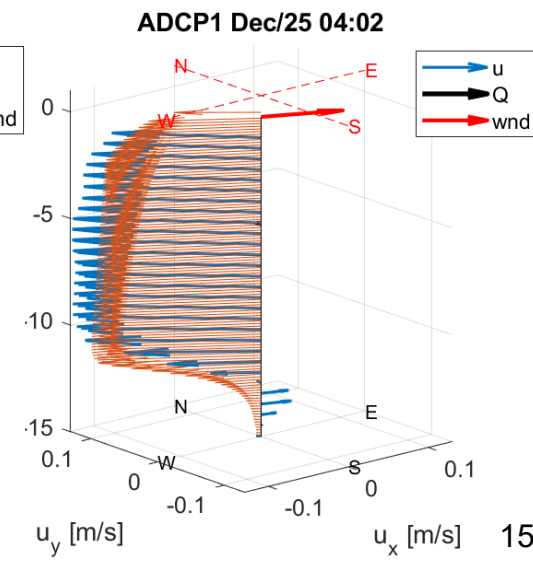
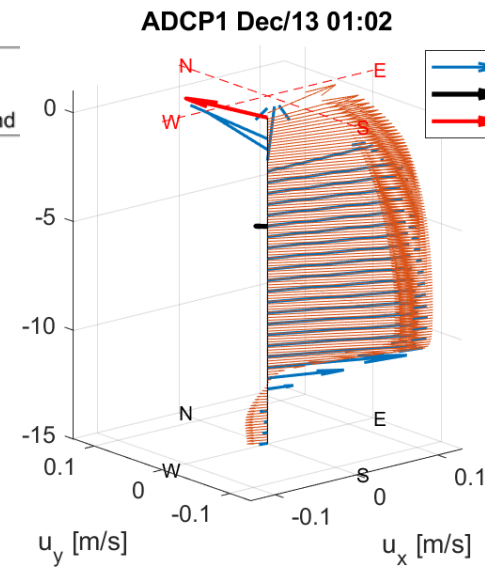
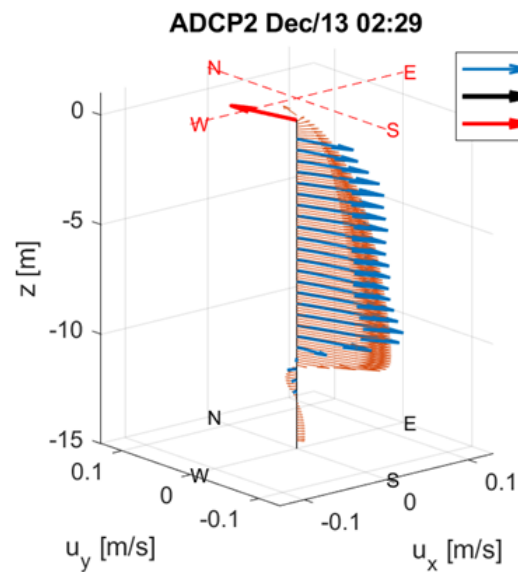
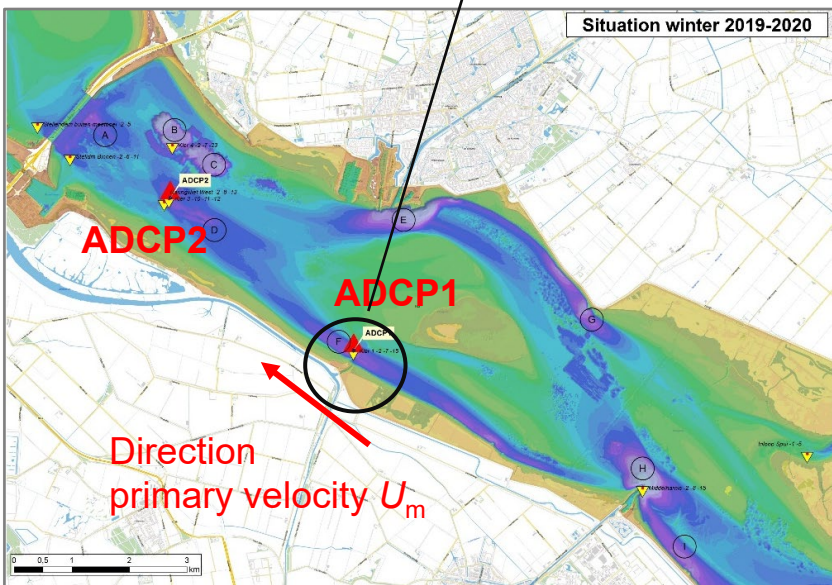




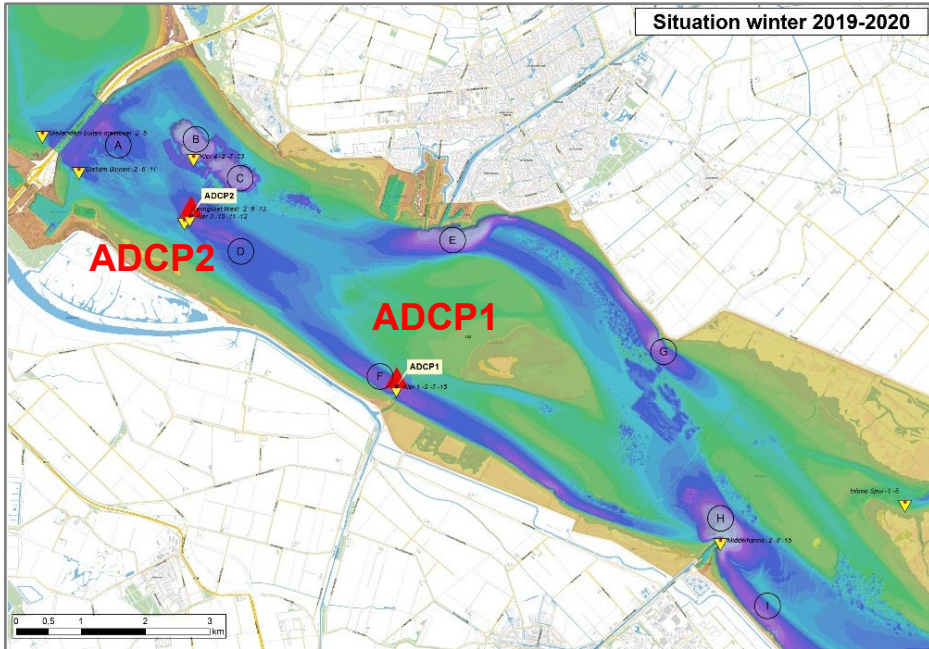
Les:

- Stroming tegen de wind in voor wind in lengterichting HVL

Situatie met wind
 ↙ maar geen spuidebiet



Resulten (2): Stroming

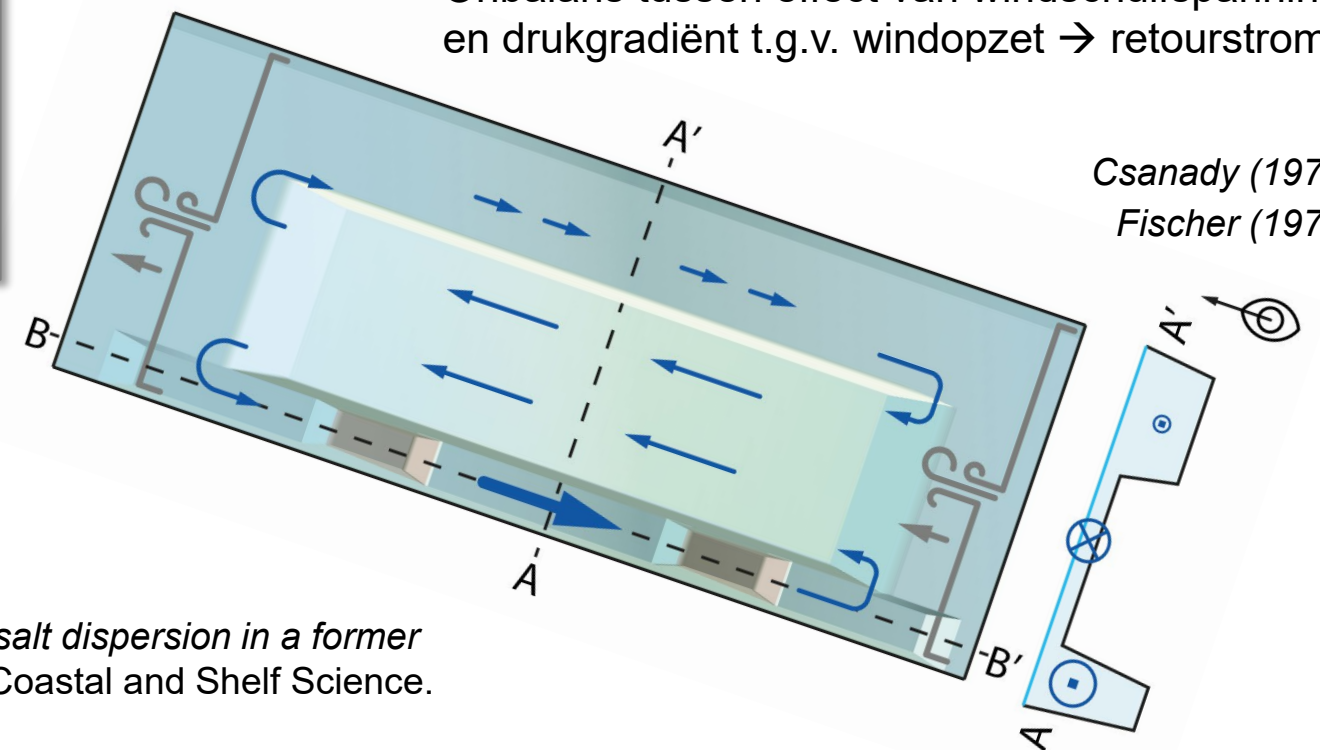


waterstands-
verhang windschuifspanning

$$0 = -\rho_w g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{wind} - \tau_b}{H + \zeta}$$

diepte

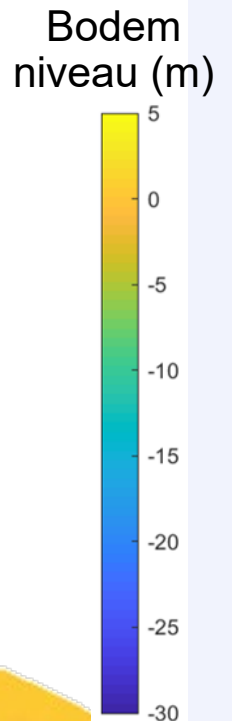
Boven diepe geul:
Onbalans tussen effect van windschuifspanning
en drukgradiënt t.g.v. windopzet → retourstroming



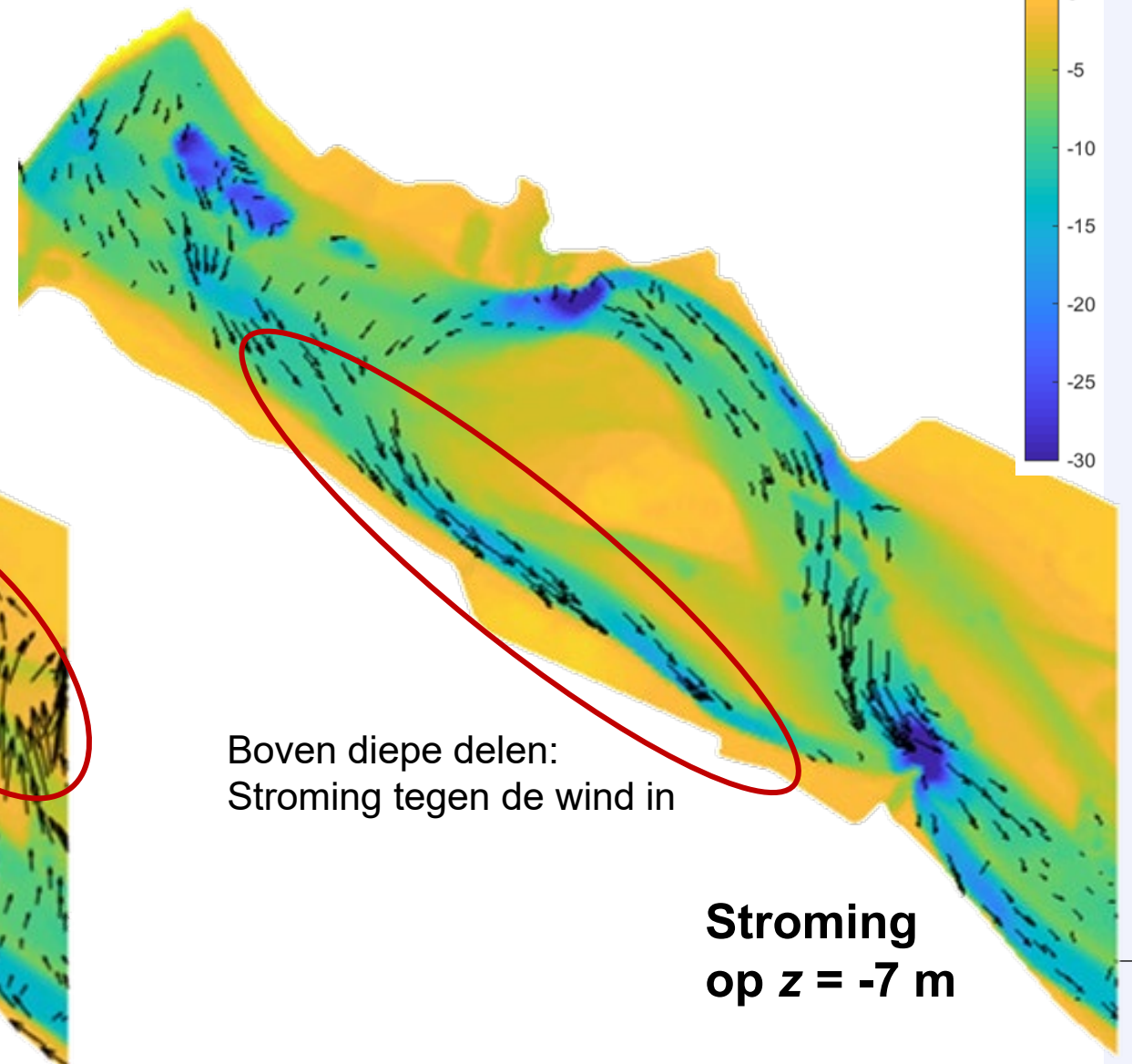
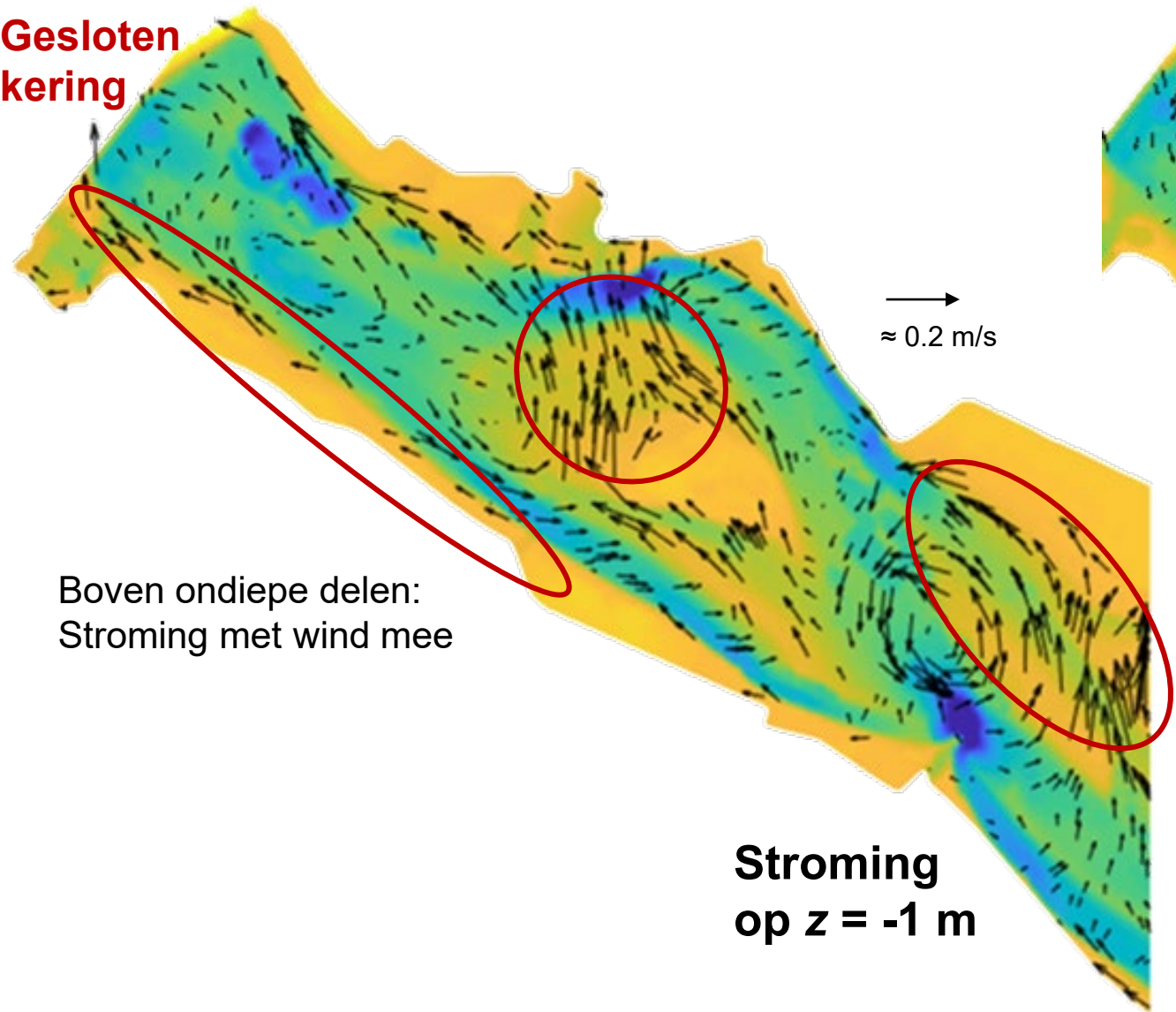
Kranenburg et al. (2023). *Circulation, stratification and salt dispersion in a former estuary after reintroducing seawater inflow*. Estuarine, Coastal and Shelf Science.

Resultaten (2): Stroming

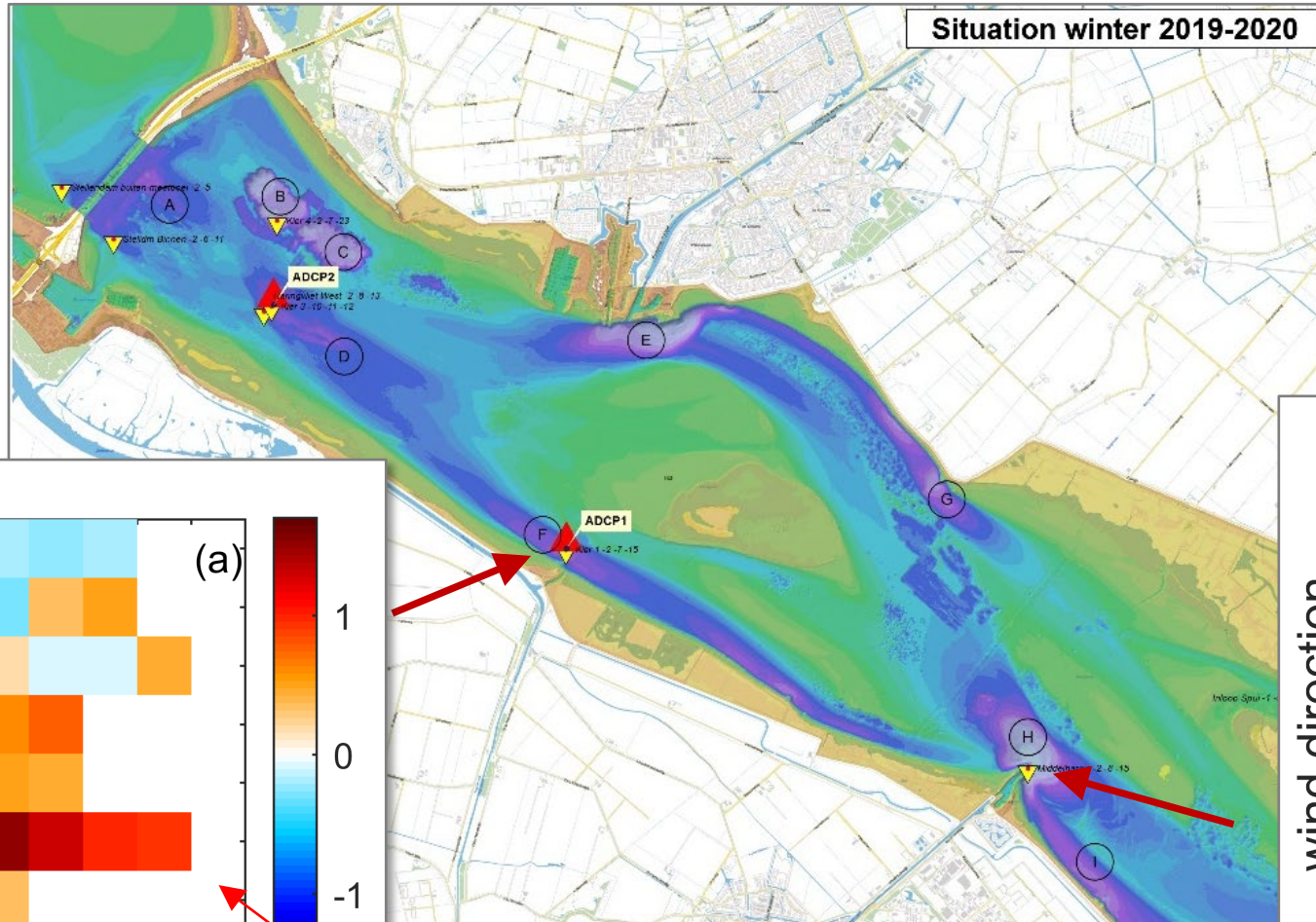
13/12/19: **Gesloten kering;**
Wind vanuit ZZO, 12 m/s.



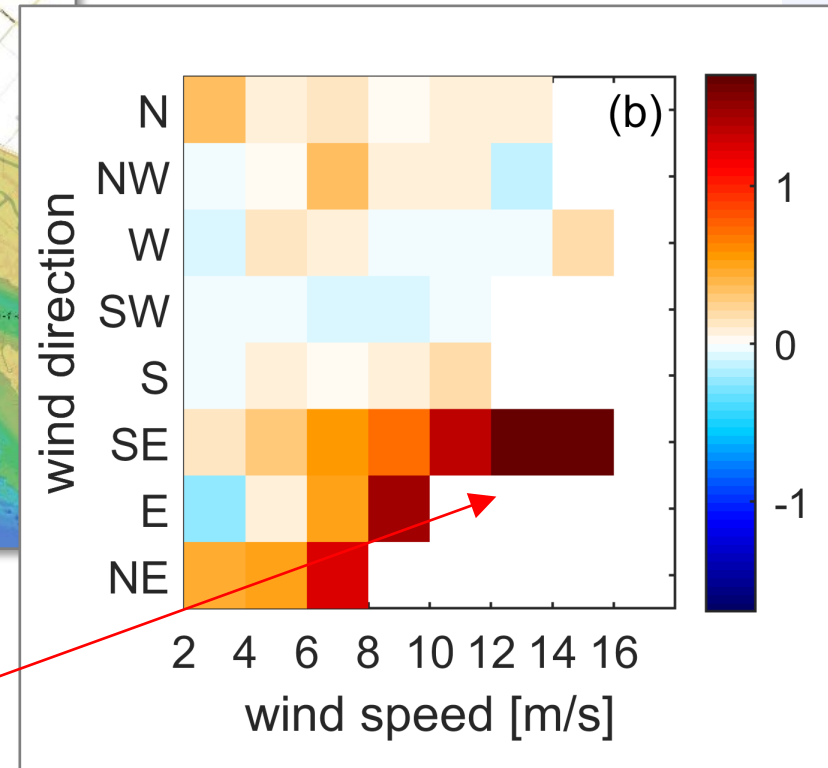
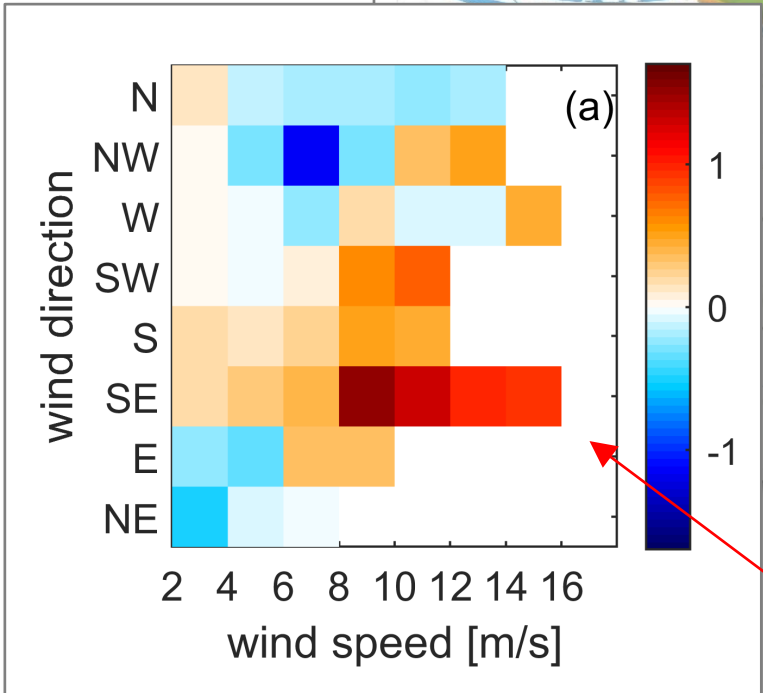
Gesloten kering



Resultaten (3): Toename chlorideconcentraties

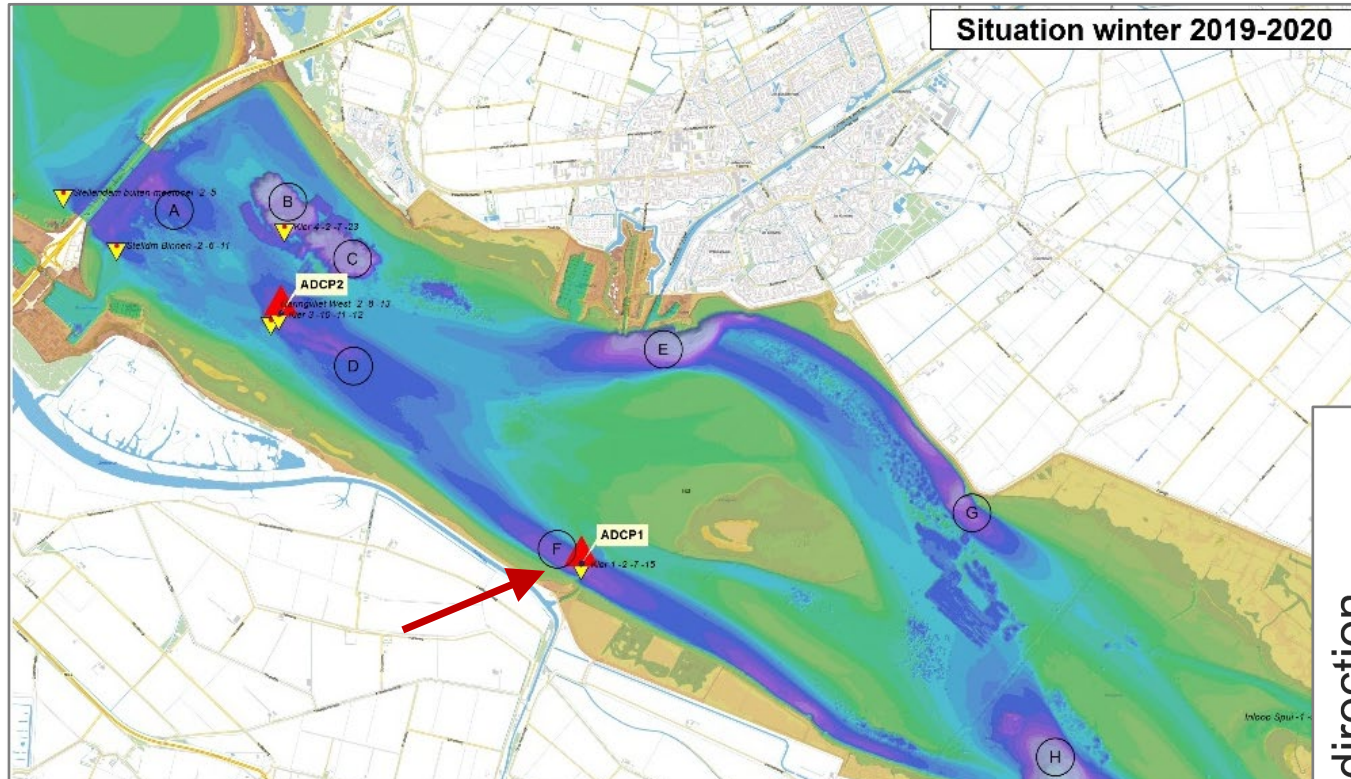


Gemiddelde concentratieverandering op -2m (mg/l/uur) per wind-situatie

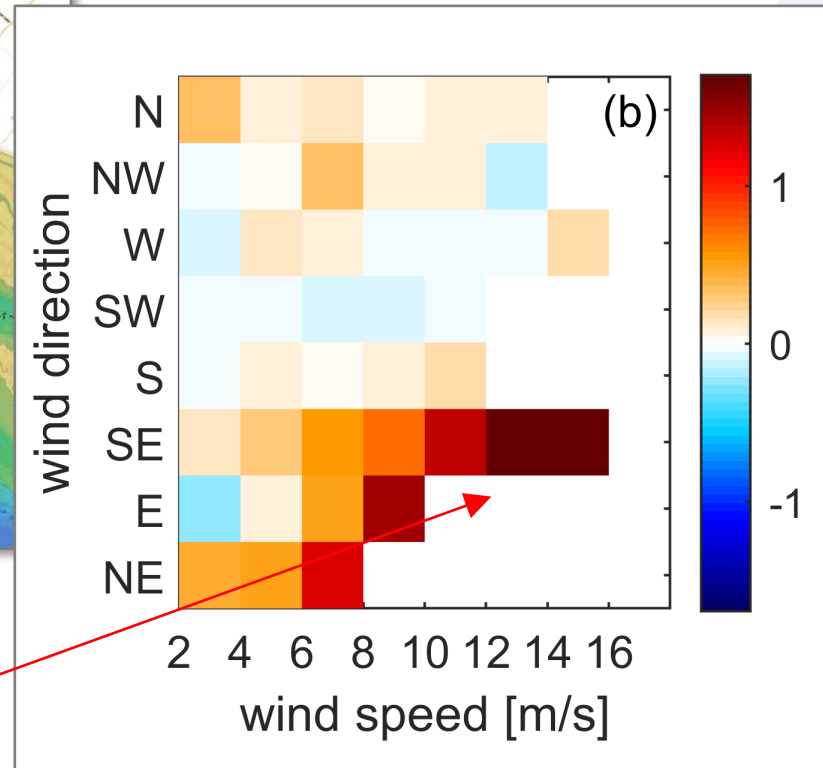


Toename chlorideconcentratie landwaarts bij zeevaartse wind

Resultaten (3): Toename chlorideconcentraties



Gemiddelde concentratieverandering op -2m (mg/l/uur) per wind-situatie



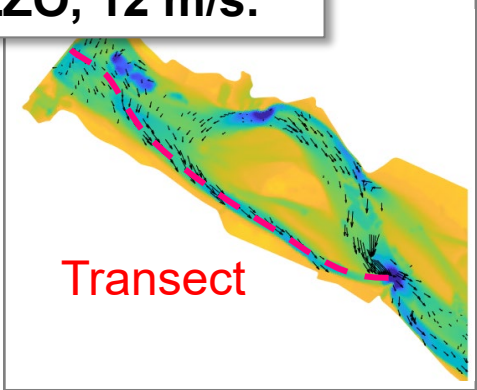
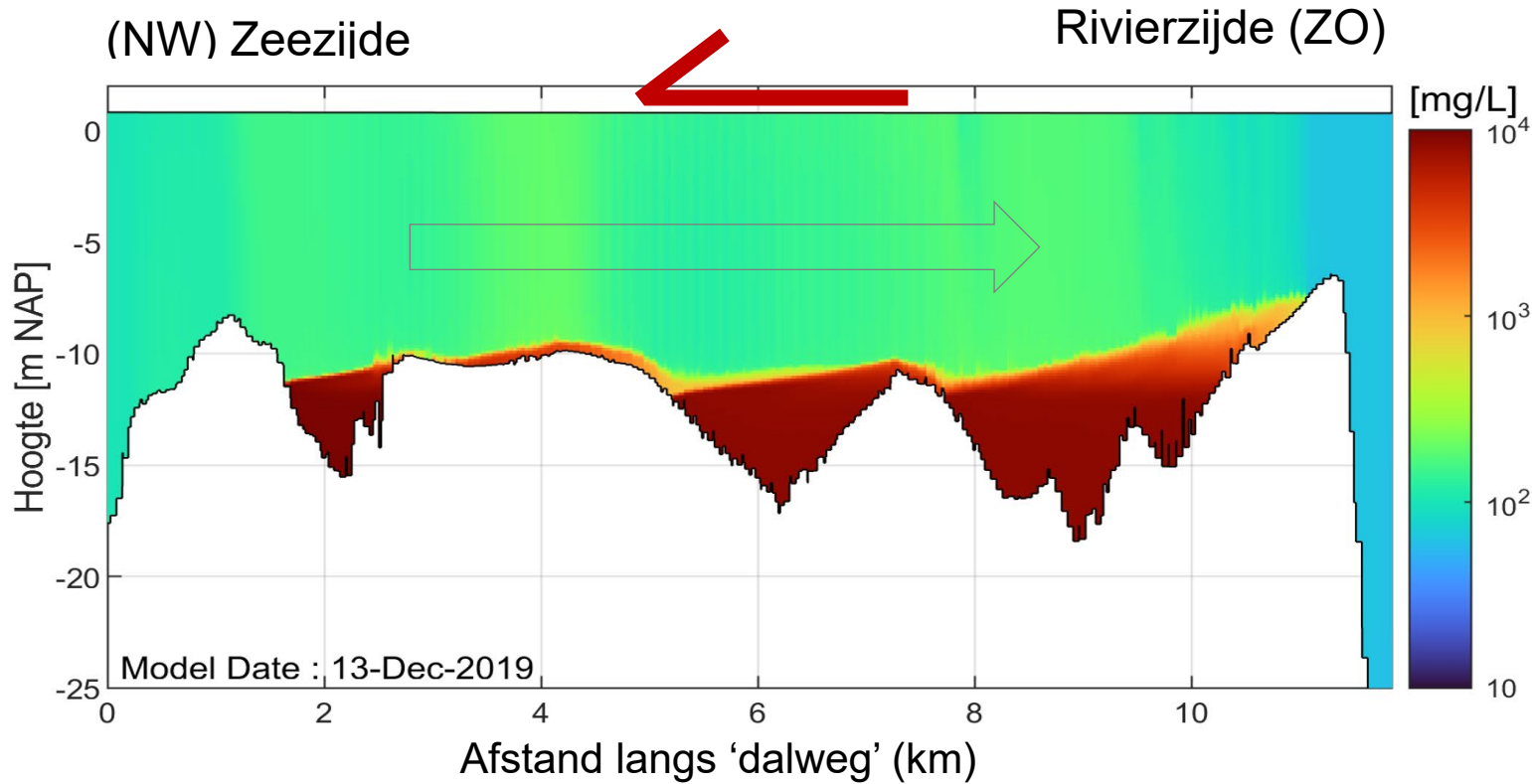
Lessen:

- Sterke Stratificatie
- Stroming-tegen-wind in geulen voor wind in lengterichting HVL
- Sterk genoeg om zout van NW→ZO te transporteren

Q: Hoe wordt het zout opgemengd?

Resultaten (4): Mixing & Transport

13/12/'19: Gesloten kering;
Wind vanuit ZZO, 12 m/s.



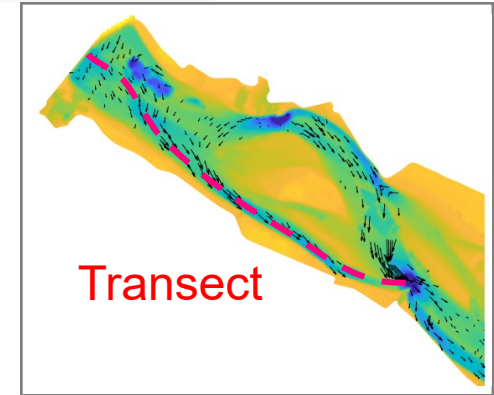
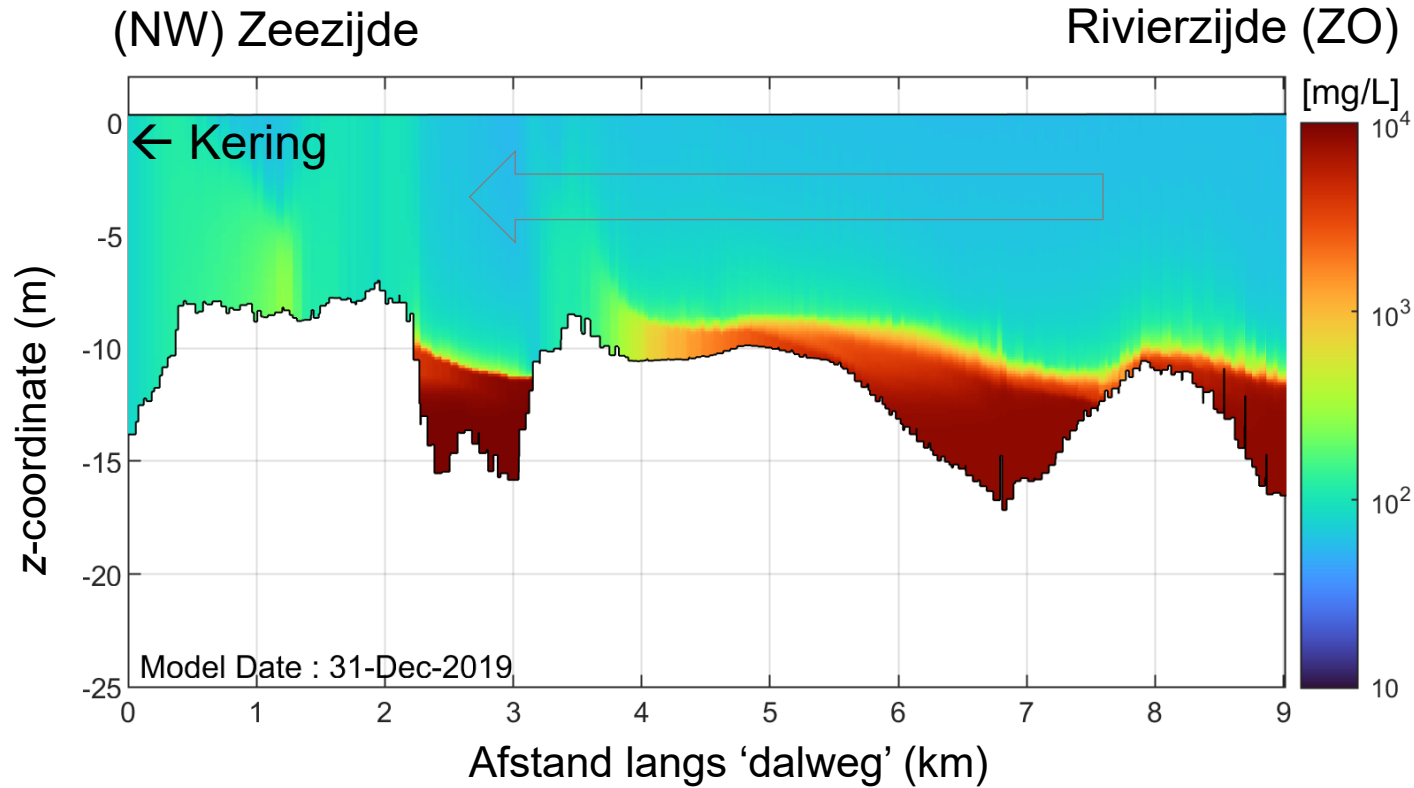
Observaties:

- Scheefstand spronglaag
- Sterkste menging boven drempels?

Hypothese:

- Menging vooral wanneer zoutwater – door scheefstand – ondiepe delen bereikt

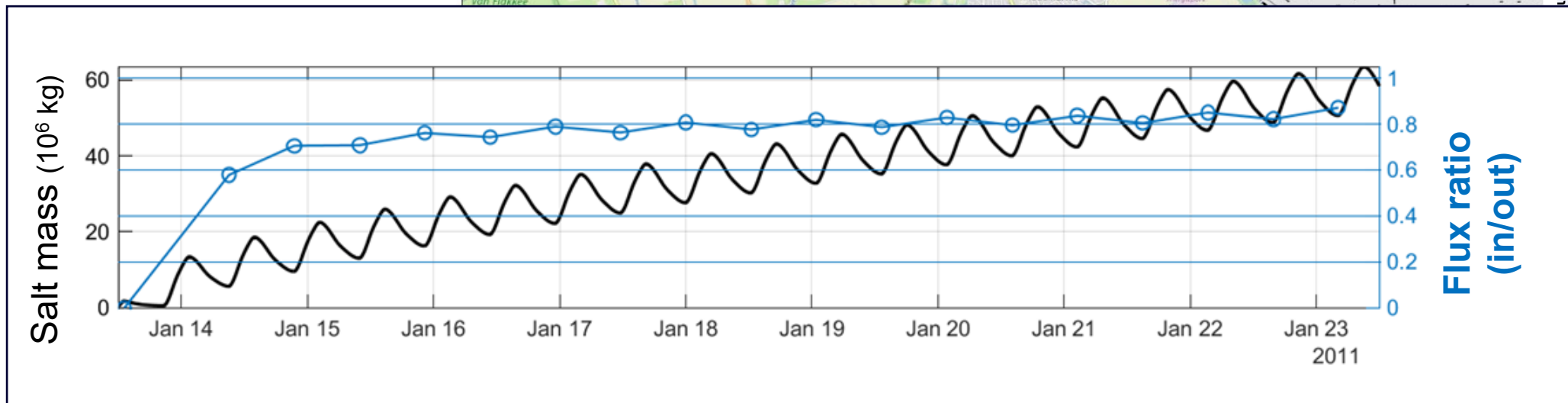
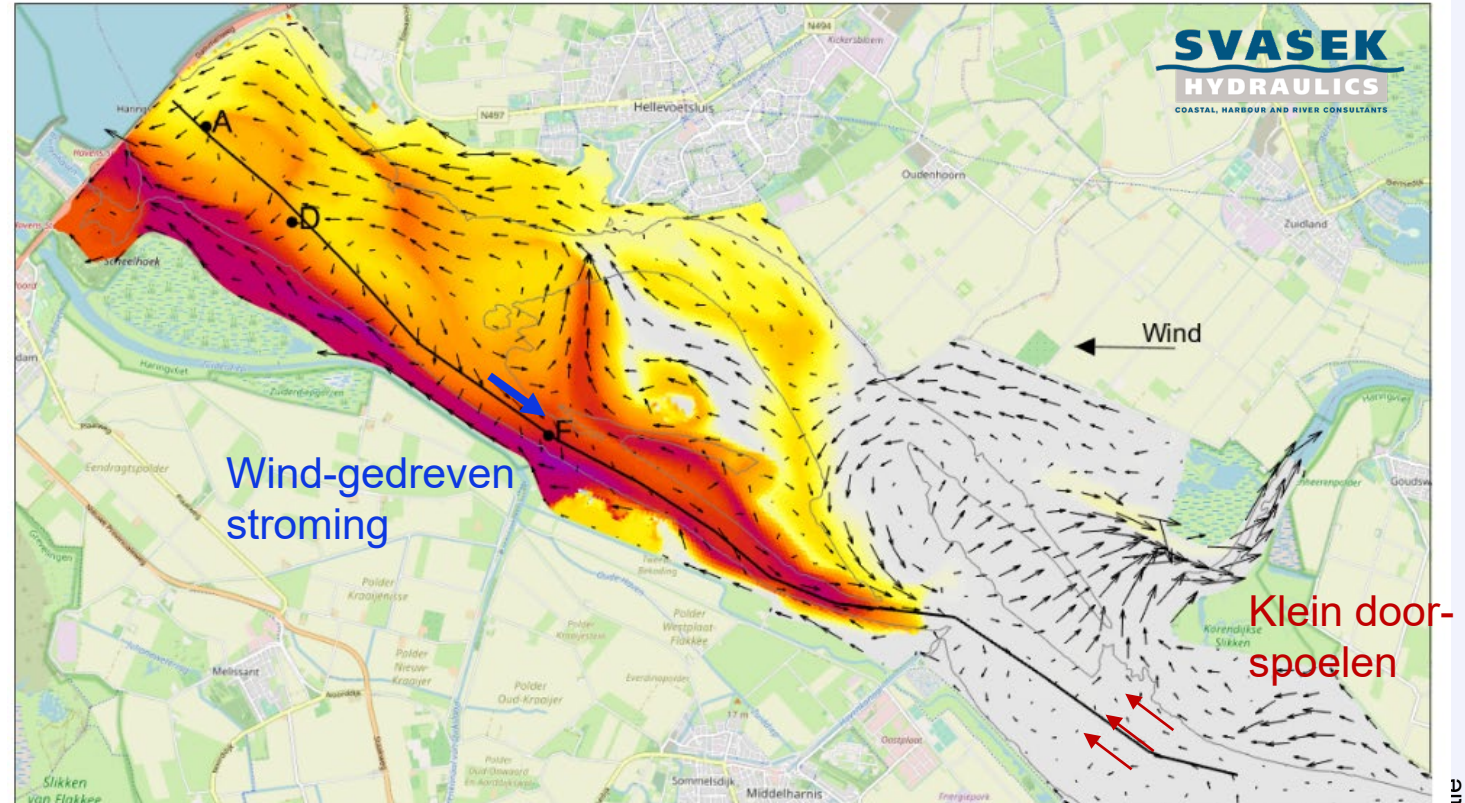
Resultaten (4): Mixing & Transport



- Observaties:
- Scheefstand spronglaag
 - Sterkste menging boven drempels?

Toepassing

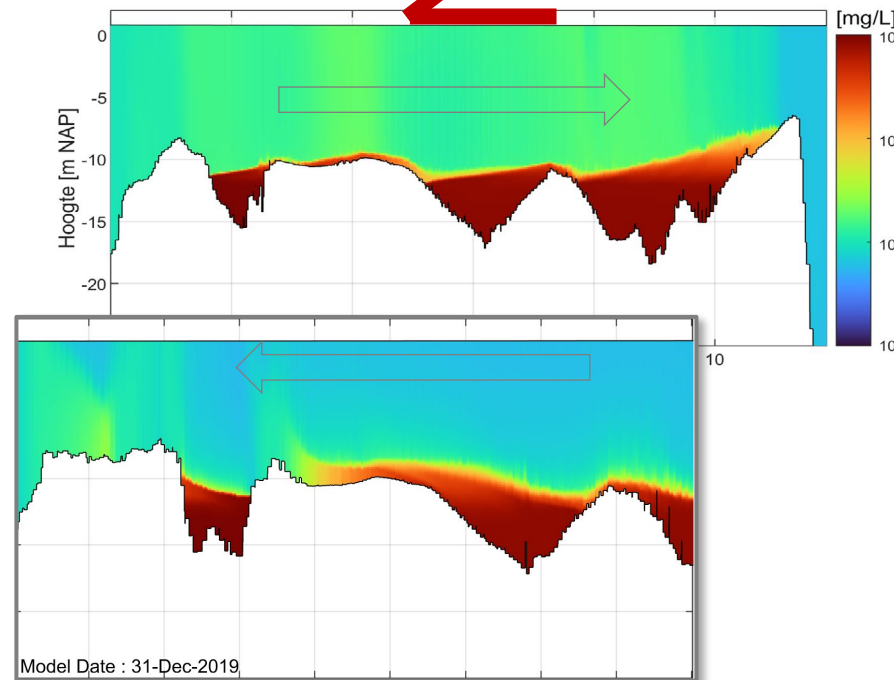
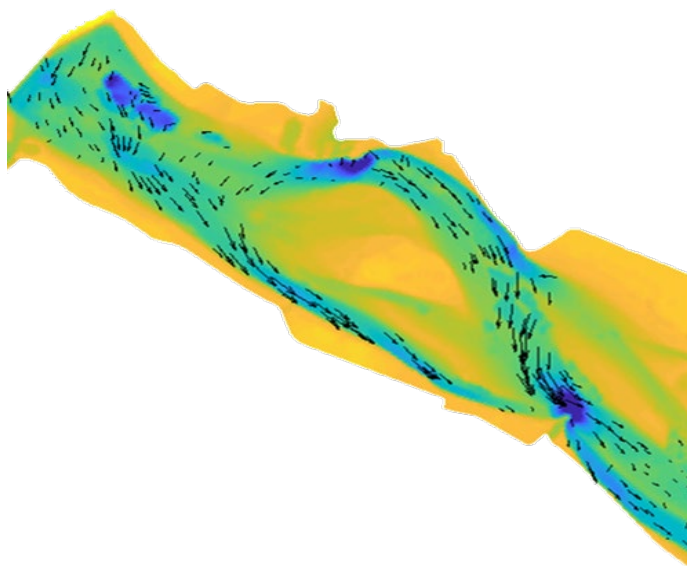
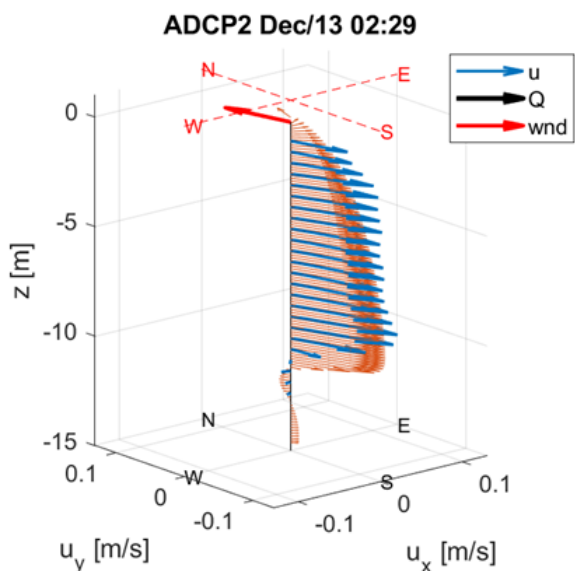
- Scenario-studies:
 - Klein doorspoelen tegen Nalevering
 - Dynamisch evenwicht → zoutflux-ratio



Conclusies



- De zeewaterinstroming leidt tot zout in de diepe delen en een scherpe grenslaag. Moeilijk uit te spoelen.
- Bij gesloten sluizen en wind in de lengterichting van het Haringvliet, zien we **stroming tegen de wind in in de vroegere getijgeulen** → **horizontale circulatie**.
- De stroming is sterk genoeg voor landwaarts transport bij zeewaartse wind
- Opmenging lijkt vooral te gebeuren wanneer zeewater – door scheefstand – ondiepe delen bereikt



Contact



✉ wouter.kranenburg@deltares.nl;
w.m.kranenburg@tudelft.nl;



Deltares