Aquathermie en ecologie: nieuwe handvatten en recente onderzoeksresultaten

12 november 2026



Waar staan we bij stil vandaag?

1. Handreiking beoordeling ecologische effecten van TEO-systemen 3.0 (Susanne Boon – TAUW)
2. Onderzoek naar koudepluimen (Anton de Fockert – Deltares)
3. Van experimenten naar het watersysteem (Miguel Dionisio Pires)
4. Vragen

Handreiking ecologische effecten TEO-systemen

Herijking versie 2.0 naar 3.0

Netwerkdag Aquathermie 12 november 2026



Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

In deze presentatie







Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Doel en aanleiding

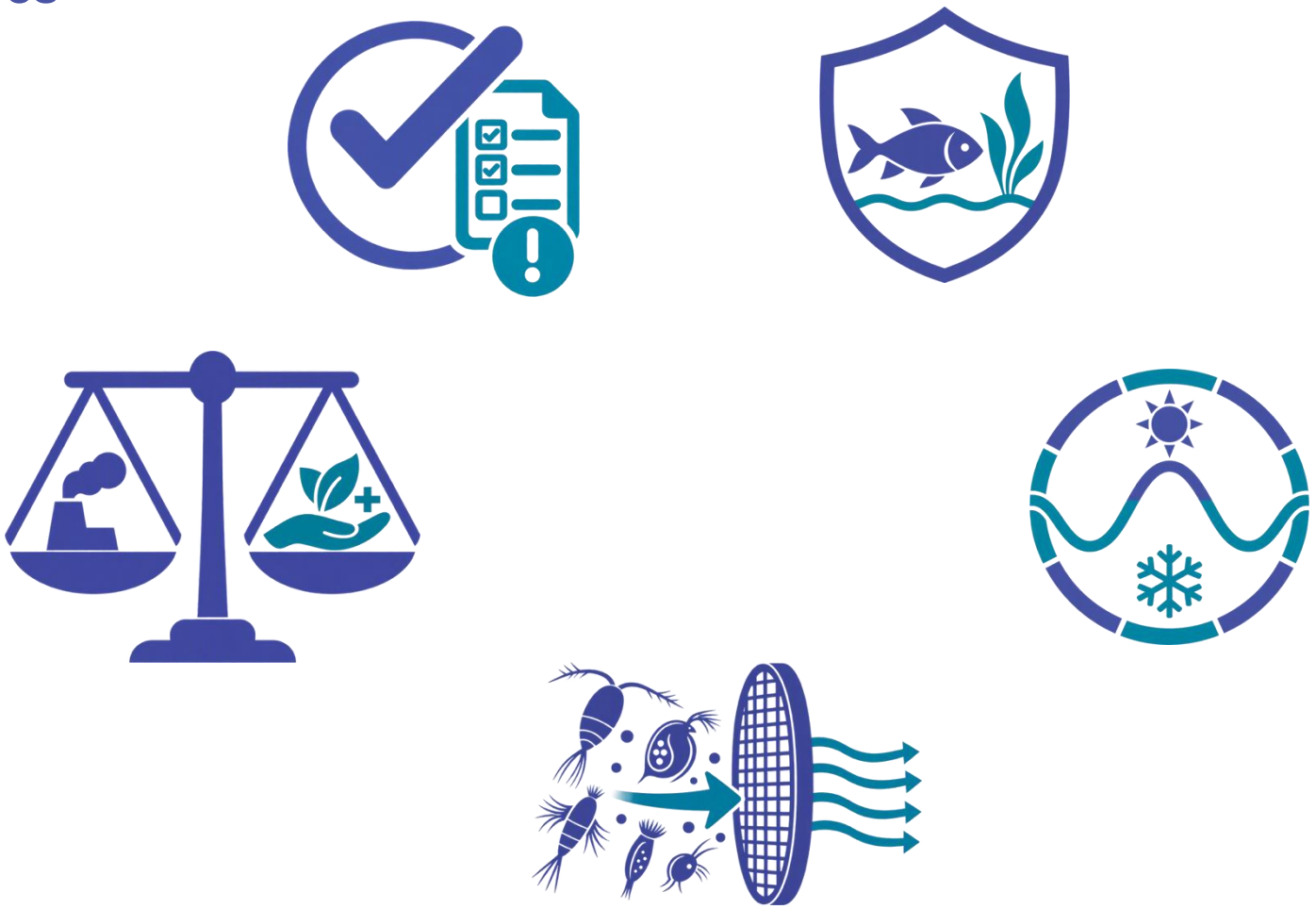






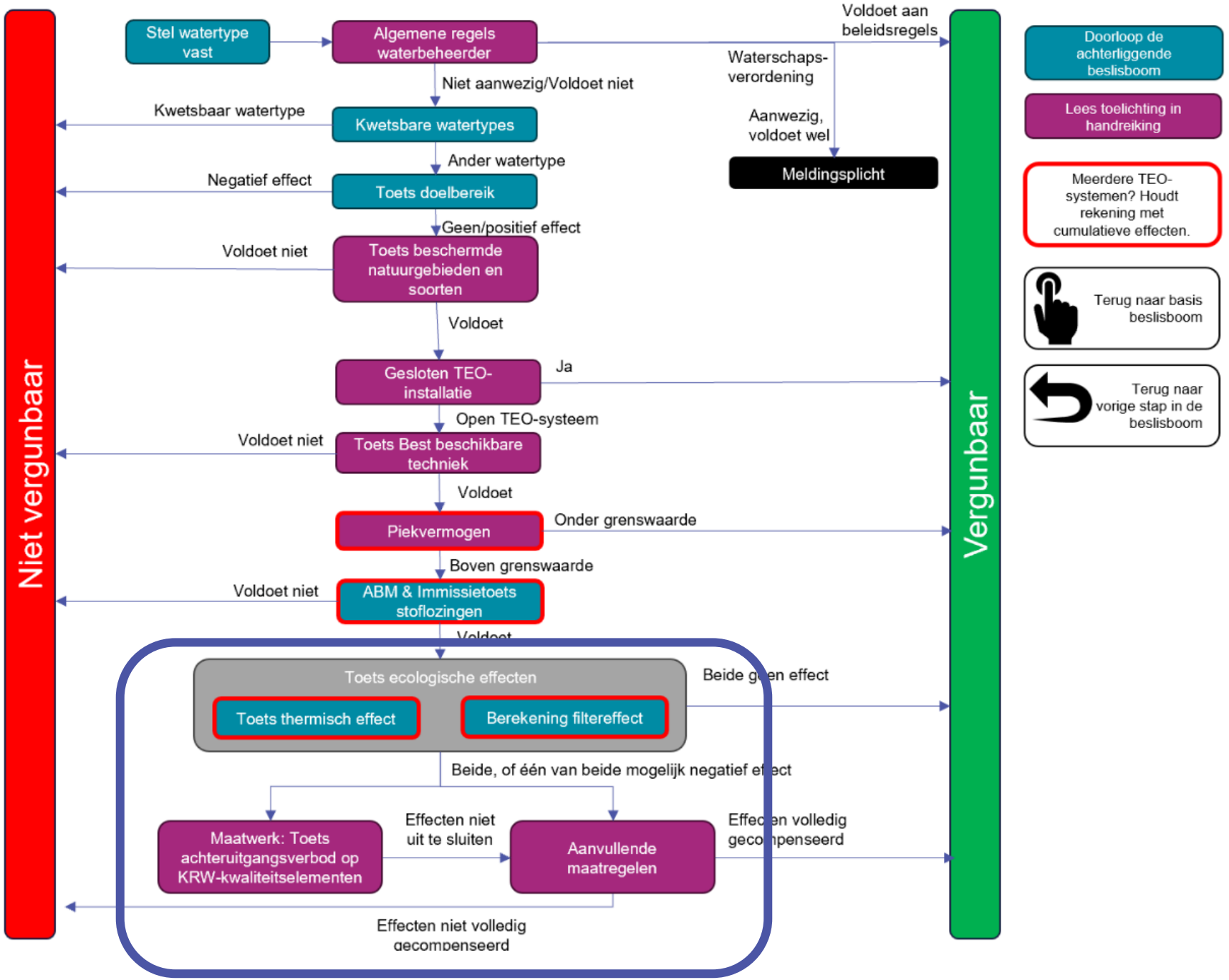
Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Kernprincipes



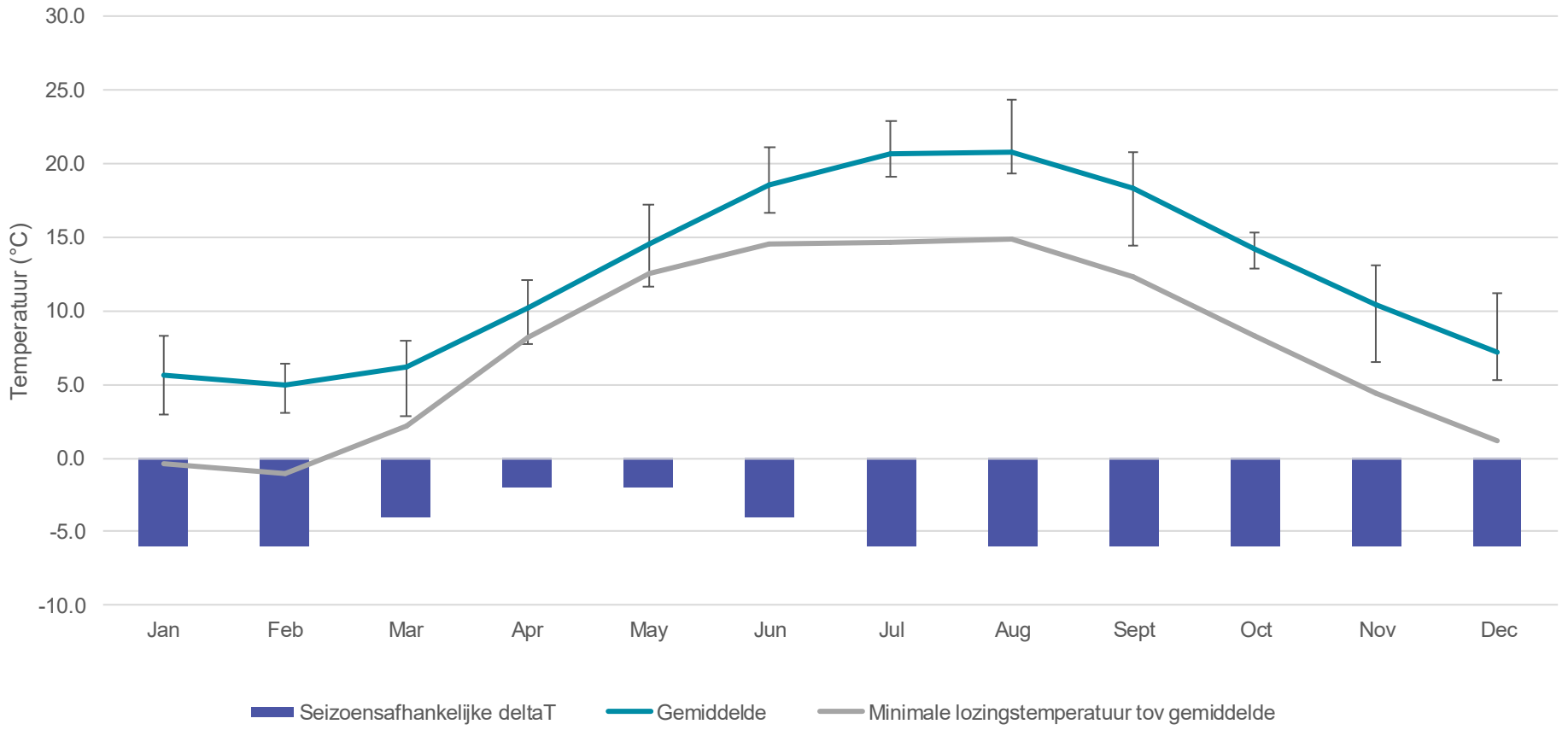
Herijking ha

Beslisboom



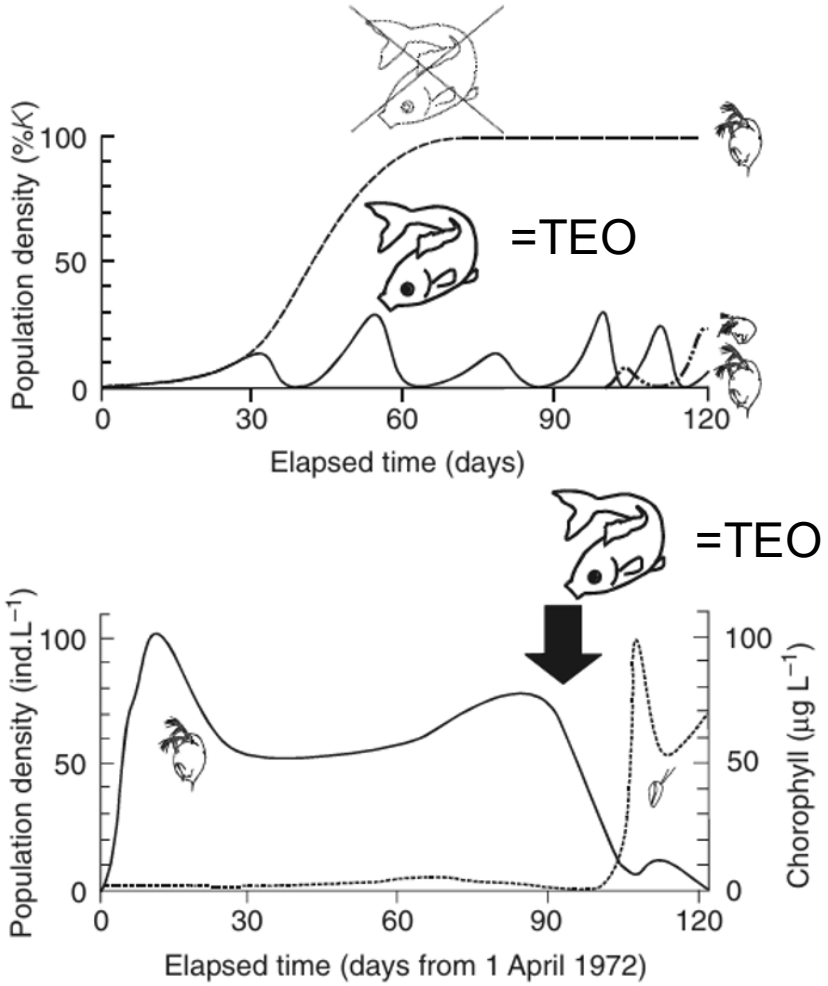
Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Seizoensafhankelijke lozingstemperatuur ten opzichte van gemiddelde op maandbasis



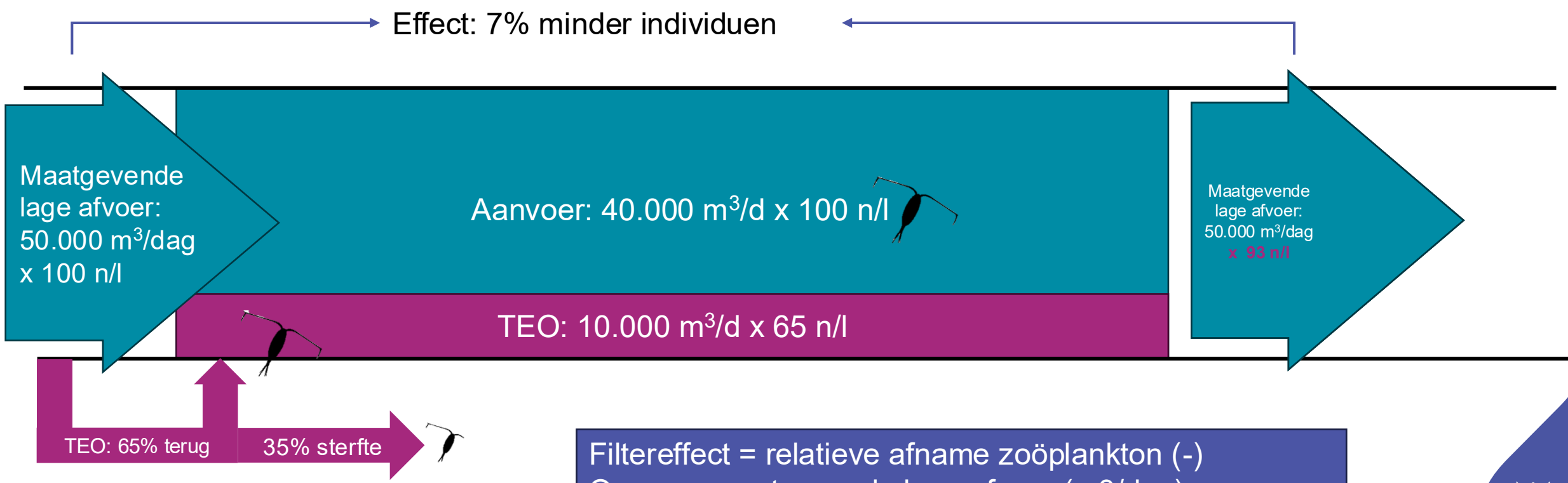
Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Filtereffect TEO



Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Kwantificering filtereffect



$$\text{Effect} = \frac{\text{Qteo} \times \text{m}}{\text{Q}}$$

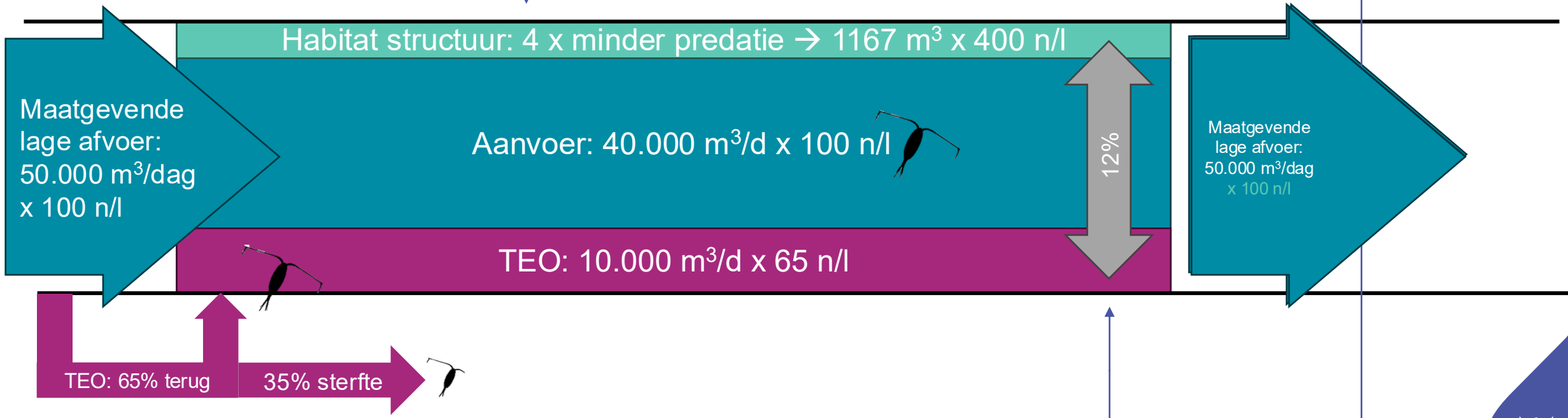
Filtereffect = relatieve afname zoöplankton (-)
Q = maatgevende lage afvoer (m3/dag)
Qteo = TEO debiet (m3/dag)
z = dichtheid zoöplankton (n/l)
m = mortaliteit TEO (/dag) = 0,35

Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Kwantificering van compensatie

Manatunge, et al 2000 &
Jong-Yun et al, 2016
(zie volgende sheet)

Factor afhankelijk van complexiteit structuur:
2 (bv ecobeton) - 10 (complexe vegetatie)



$$Compensatievolume = \frac{TEOdebiet \times Mortaliteit\ filters}{Reductie\ predatie\ -1} = 10.000\frac{m3}{dag} \times \frac{35\%}{4\ -1} = 1167\ m3$$

Herijking handreiking ecologische effecten TEO-systemen 3.0

Maatwerk

Startpunt: Basistabel ecologische effecten per watertype (kwalitatief)

-
- Lagere watertemperatuur in het voorjaar: Direct & Indirect
- Lagere watertemperatuur in de zomer: Direct & Indirect
- Koude-schokken: Direct
- Stroming van lozing naar onttrekkingspunt: Direct
- Barrièrewerking: Direct

Locatie specifiek: Relevantie en kwantificeren effecten

	Effect	Kwaliteitselementen					
Parameters	Direct / Indirect	Zoöplankton	Vissen	Waterplanten	Fytoplankton	Macrofauna	Fysische chemie (zuurstof, nutriënten en doorzicht)
Filtering	Direct	Een deel van het zoöplankton sterft door filtering, bijvoorbeeld door beschadiging of botsingen.	Vissenlarven en eitjes kunnen beschadigen doordat ze tegen het filter aangezogen worden. Dit is mede afhankelijk van de zwemsnelheid ten opzichte van de instroomsnelheid.	Filtering heeft geen direct effect op waterplanten	Fytoplankton is relatief klein en kan de filters passeren. Een deel van het fytoplankton kan sterven tijdens het passeren van de filters. Dit kan algenbloei beperken en daardoor resulteren in een lager chlorofyl-A concentratie. Dit is positief voor kwaliteitselement fytoplankton.	Macrofauna kan beschadigd raken doordat ze tegen het filter aangezogen worden. Dit is mede afhankelijk van de zwemsnelheid ten opzichte van de instroomsnelheid.	Doordat dood organisch materiaal (fytoplankton, zoöplankton) terug in het systeem komt als zwevendstof, zal het doorzicht ongeveer gelijk blijven.
Filtering	Indirect	Op basis van de modelstudies lijkt er een top-down effect te zijn in voedselrijke systemen. Doordat vislarven gefilterd worden, daalt de vispopulatie en daarmee de predatiedruk op zoöplankton. De populatie van	n.v.t.	Door de afname van vissen en fytoplankton wordt het water helderder en kan de groei van waterplanten toenemen.	Een deel van het zoöplankton sterft door filtering, waardoor er minder predatie is op fytoplankton. Echter heeft fytoplankton een hoge reproductie en wordt vooral bepaald door hoeveelheid licht	Door de afname van vissen en fytoplankton wordt het water helderder en kan de groei van waterplanten toenemen. Hierdoor is er meer voedsel en habitat beschikbaar voor	n.v.t.
Lagere water-temperatuur in het voorjaar	Direct	Specifieke soorten komen later tot ontwikkeling door de lagere temperatuur in het voorjaar.	Specifieke soorten komen later tot ontwikkeling door de lagere temperatuur in het voorjaar.	Specifieke soorten komen later tot ontwikkeling door de lagere temperatuur in het voorjaar.	temperatuur in het voorjaar. Productiviteit wordt lager. Dit kan algenbloei beperken en daardoor resulteren in een lager chlorofyl-A concentratie. Dit is positief voor kwaliteitselement fytoplankton.	Specifieke soorten komen later tot ontwikkeling door de lagere temperatuur in het voorjaar.	Bij een lagere temperatuur is zuurstof beter oplosbaar in water, waardoor de zuurstofconcentratie toeneemt. De omzetting van organische naar anorganisch materiaal vertraagt, waardoor minder nutriënten vrijkomen.
Lagere water-temperatuur in het voorjaar	Indirect	Door een lagere productiviteit van fytoplankton, kan minder voedsel beschikbaar zijn voor zoöplankton.	Een hogere zuurstofconcentratie kan een positief effect hebben op vissen.	Als fytoplankton vermindert en het doorzicht vergroot, worden waterplanten bevordert.	n.v.t.	Een hogere zuurstofconcentratie kan een positief effect hebben op macrofauna.	Door een lagere productiviteit van fytoplankton, kan het doorzicht vergroot worden.
Lagere water-temperatuur in de zomer	Direct	Een verlaging van de temperatuur kan leiden tot een lagere groeisnelheid van zoöplankton.	Vissen variëren sterk in optimum voor temperatuur, er is per soort een temperatuur ondergrens voor groei en ontwikkeling. Voor de levenscyclus is seizoensvariatie van de temperatuur van belang. De variatie aan temperatuur kan ook een positief effecte hebben, omdat vissen kunnen zwemmen naar water met een andere temperatuur.	n.v.t.	Lagere temperaturen in de zomer leiden over het algemeen tot een lagere productie van fytoplankton. De soortensamenstelling kan beïnvloedt worden en verschuiven naar een meer diatomeeën gedomineerd systeem, en blauwalgen komen minder voor.	Lagere watertemperaturen kunnen leiden tot vertraging van de ontwikkeling en periode van inactiviteit. Voor de levenscyclus is seizoensvariatie van de temperatuur van belang.	Bij een lagere temperatuur is zuurstof beter oplosbaar in water, waardoor de zuurstofconcentratie toeneemt. Dit effect zal in de zomer sterker zijn dan in het voorjaar, door het grotere temperatuurverschil. De omzetting van organische naar anorganisch materiaal vertraagt, waardoor minder nutriënten vrijkomen.
Lagere water-temperatuur in de zomer	Indirect	Door de wijziging van de soortensamenstelling in de fytoplankton, kan de voedingswaarde voor zoöplankton toenemen.	Door een lagere temperatuur is meer zuurstof beschikbaar, waardoor vissen minder last zullen hebben van lagere zuurstofconcentraties. De (indirecte) bevordering van waterplanten en zoöplankton kunnen ook een positieve invloed hebben op het habitat en voedsel voor vissen.	Door een lagere temperatuur neemt de hoeveelheid fytoplankton af en is de kans op blauwalgenbloei lager, waardoor meer licht beschikbaar is voor de groei van waterplanten.	Door de lagere temperaturen zijn er minder nutrienten beschikbaar, waardoor er over het algemeen een lagere productie van fytoplankton is. De soortensamenstelling kan beïnvloedt worden en verschuiven naar een meer diatomeeën gedomineerd systeem, en blauwalgen komen minder voor.	De bevordering van waterplanten en zoöplankton kunnen ook een positieve invloed hebben op het habitat en voedsel voor macrofauna. Bovendien hebben over het algemeen exotische macrofaunasoorten minder kans om te ontwikkelen bij een lagere temperatuur in de zomer en kunnen inheemse soorten worden bevoordeeld.	Door een lagere productiviteit van fytoplankton, kan het doorzicht vergroot worden.
Koude-schokken	Direct	n.v.t.	Vissen kunnen slecht tegen sterke en plotselinge temperatuurwisselingen, wat kan leiden tot verminderde groei, ontwikkeling en voortplanting. Dit effect is zeer lokaal, direct na de uitlaat.	n.v.t.	n.v.t.	Macrofauna kan slecht tegen sterke en plotselinge temperatuurwisselingen. Dit effect is zeer lokaal, direct na de uitlaat.	n.v.t.
Stroming van lozing naar onttrekkings-punt	Direct	n.v.t.	n.v.t.	Stroming kan ervoor zorgen dat planten ontworteld raken en daardoor minder goed kunnen groeien.	n.v.t.	Extra stoming kan leiden tot meer stromingminnende soorten.	Extra stroming kan zorgen voor makkelijkere opname van zuurstof uit de lucht en minder zuurstofloze condities bij de bodem.
Barrière-werking	Direct	n.v.t.	Vissen kunnen de koudepluim vermijden, waardoor dit als een barrière kan werken voor migratie.	n.v.t.	n.v.t.	Macrofauna kan de koudepluim vermijden, waardoor dit als een barrière kan werken voor migratie.	n.v.t.

	Negatief effect
	Netto 0 effect
	Positief effect
	Positief of negatief effect afhankelijk van specifieke soorten

TAUW | a living ambition

Susanne Boon

+31 6 151 79 016

Susanne.boon@tauw.com

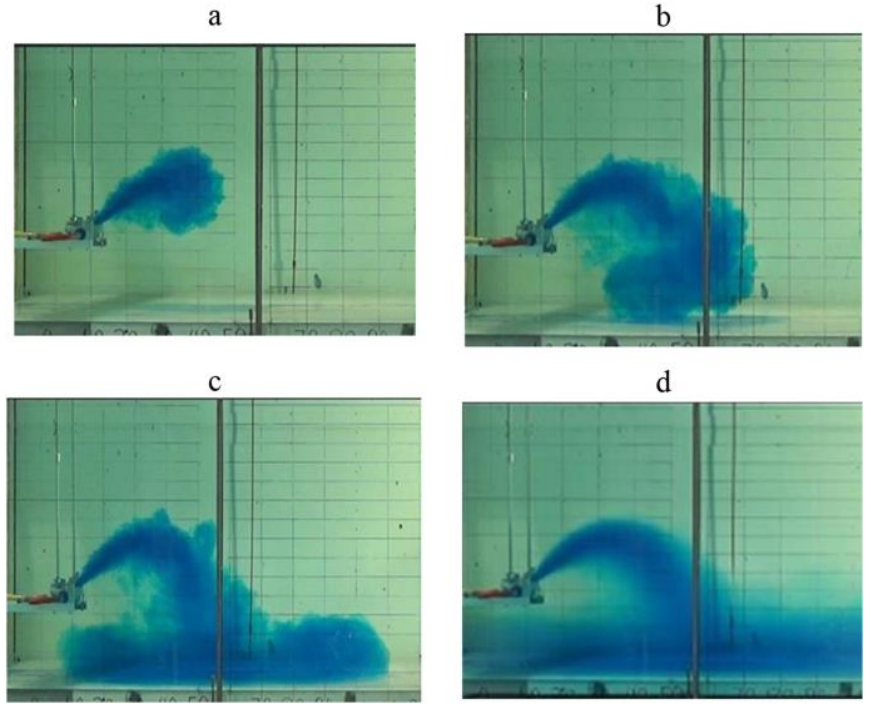


Onderzoek naar koudepluimen bij aquathermie

Anton de Fockert en vele collega’s

1. Achtergrond - aquathermie

- Aquathermie kan een belangrijke rol spelen bij de warmtetransitie waarbij het in 40-50% van de Nederlandse warmtevraag kan voorzien.
- Bij het winnen van warmte uit water, wordt koud water geloosd
- Waterschappen moeten de impact van koudwaterlozingen beoordelen voordat zij een vergunning af kunnen geven
- Tot op heden is er weinig kennis over het gedrag van koudepluimen
- Als geloosde koudepluimen niet goed mengen met het omringende water, dan warmt het water niet voldoende op. Dat heeft effect op de ecologie. Daarom is het belangrijk om het gedrag van koudepluimen goed te begrijpen.



1. Achtergrond - doelstelling

Om een beter inzicht en een beter begrip van koudepluimen die vrijkomen bij aquathermie te onderzoeken zijn laboratiorumproeven uitgevoerd. Met behulp van deze metingen kan een beter begrip van het gedrag van de koudepluimen worden verkregen. Daarnaast zijn de metingen belangrijk voor numerieke modelvalidatie.





Deltares

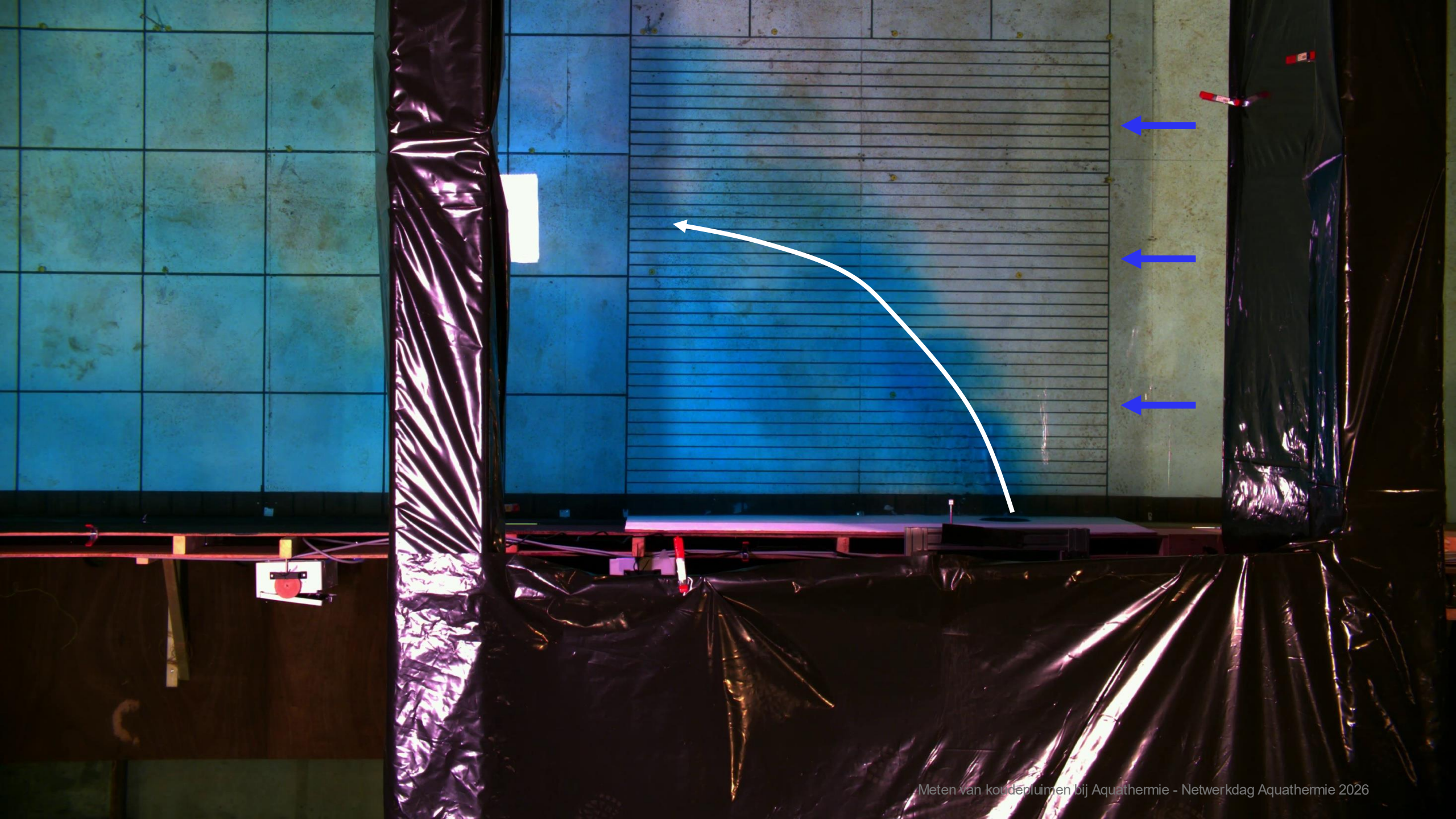
2. Modelopzet

2. Modelopzet - specificaties

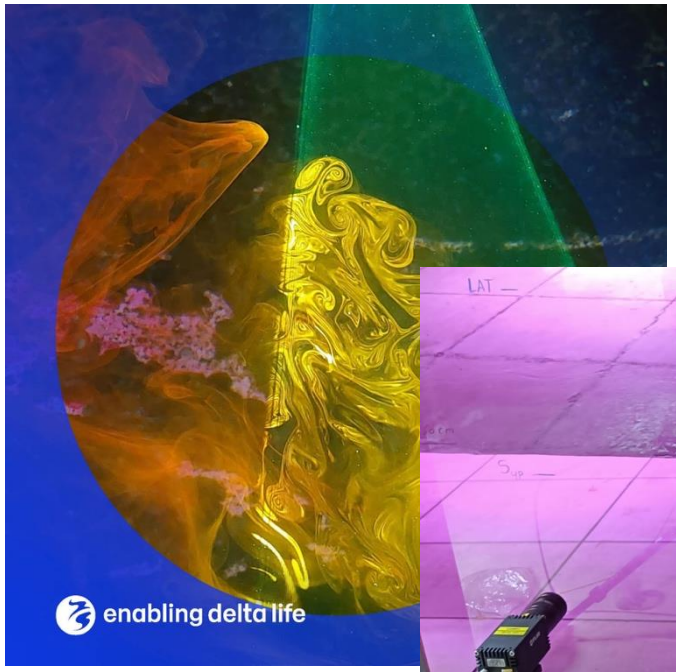
- Lozingsparameter gebaseerd op aquathermiesystemen die in bedrijf zijn. Algemene eigenschappen:
  - Breedte kanaal: 20 m
  - Diepte kanaal: 3 m
  - Achtergrondstroming: tussen 0-20 cm/s
  - Lozingsdebiet 648 m^3/h
  - Lozingstemperatuur ΔT = -8°C (variaties tussen -4 en -12°C)
- Verschaald met een factor 5
- Onderzoek naar variaties in:
  - Achtergrondstroming
  - Lozingskarakteristieken (temperatuurverschil / lozingsdebiet variaties)
  - Lozingsdebiet
  - Waterdiepte

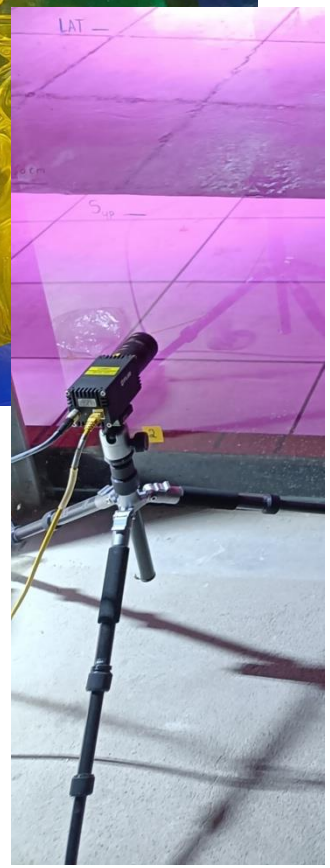
2. Modelopzet - faciliteit





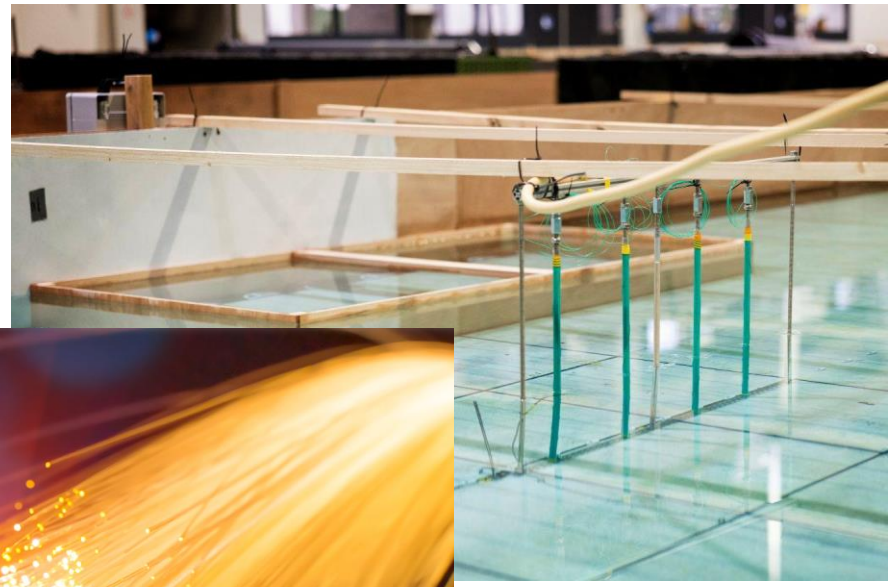
2. Modelopzet - instrumentatie









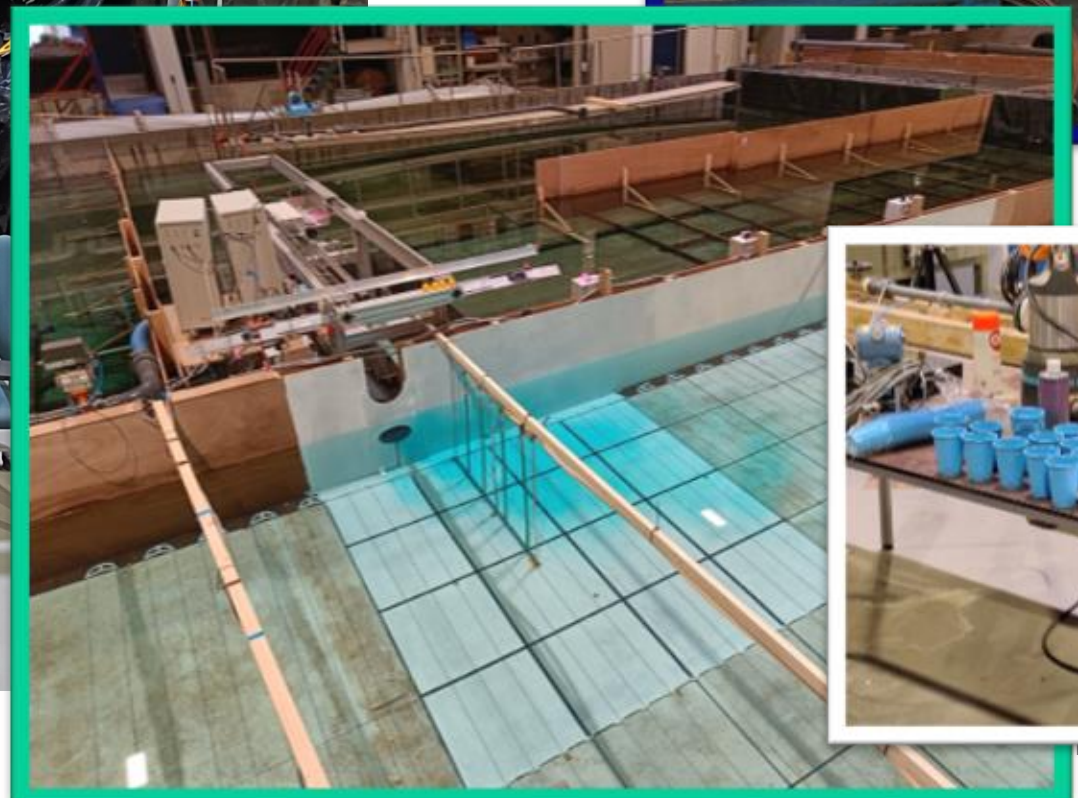




2. Modelopzet - meetopzet







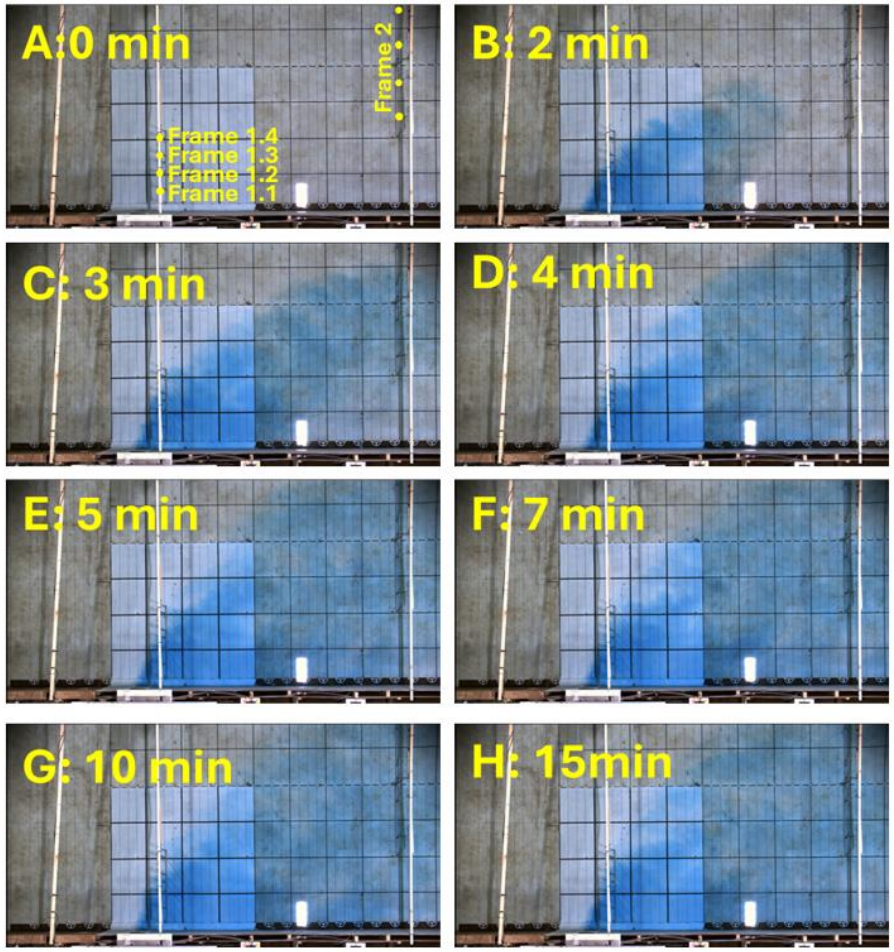


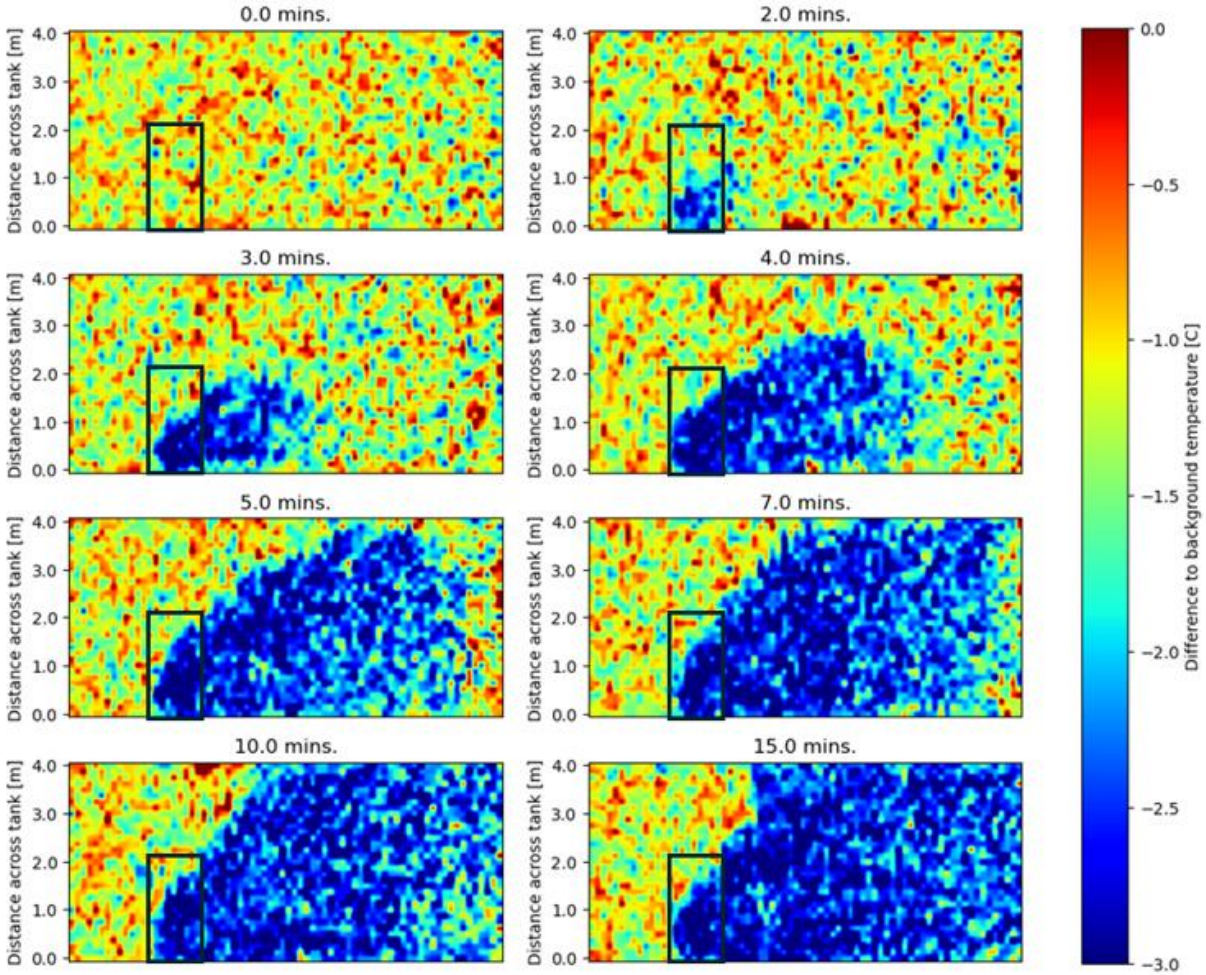


Deltares

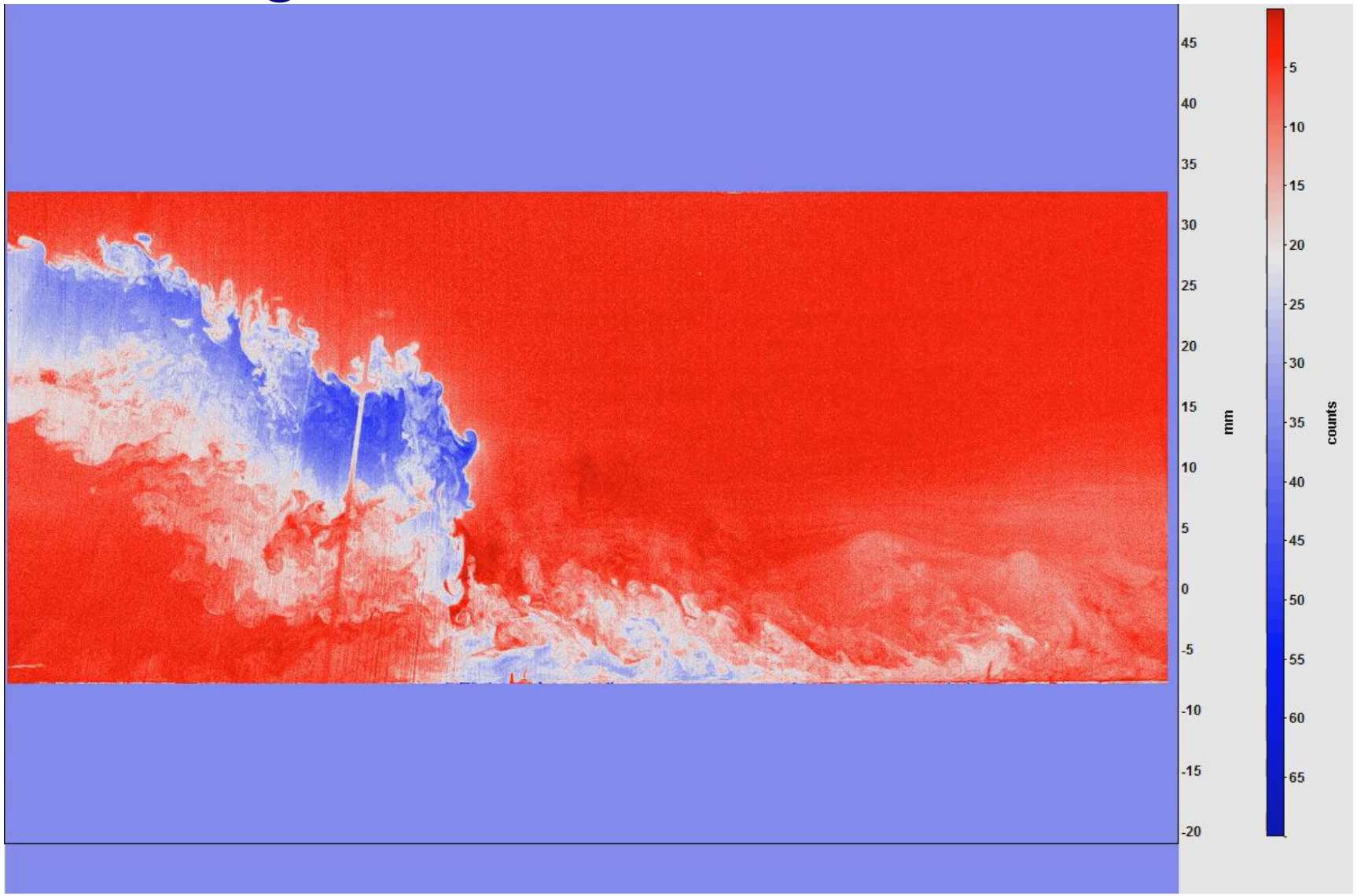
3. Resultaten

3. Camerabeelden en DTS metingen



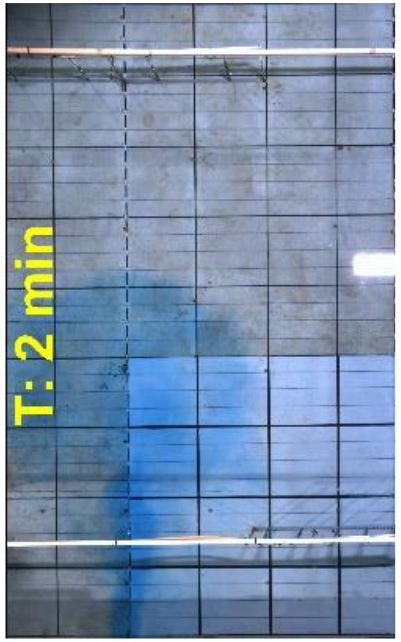


3. LIF metingen

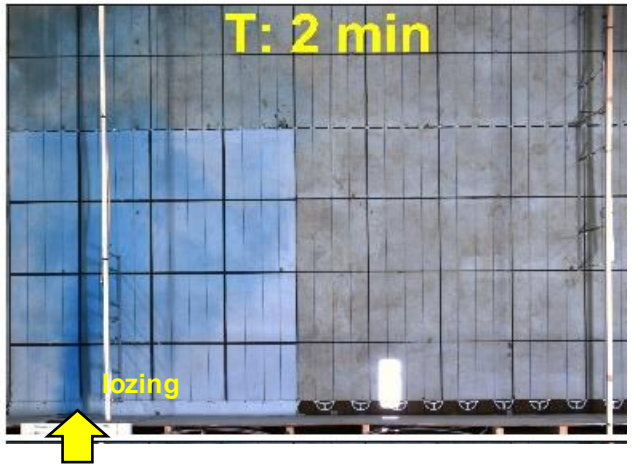


3. Effect achtergrondstroming

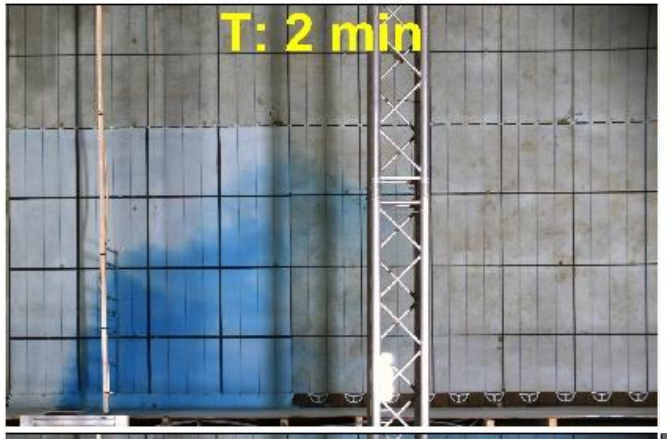
$U_{achtergrond}$: 0 cm/s



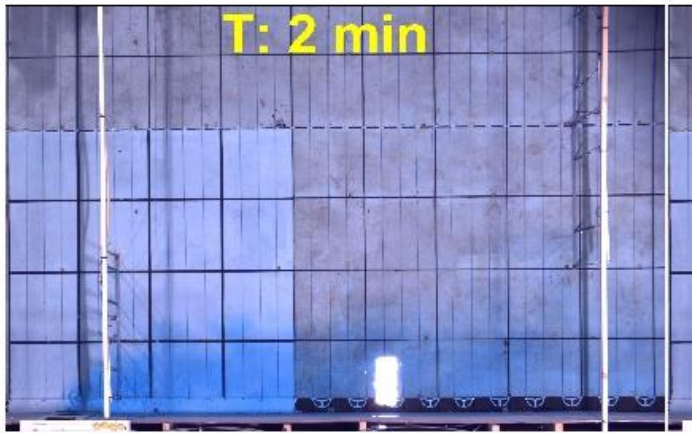
$U_{achtergrond}$: 5 cm/s



$U_{achtergrond}$: 10 cm/s

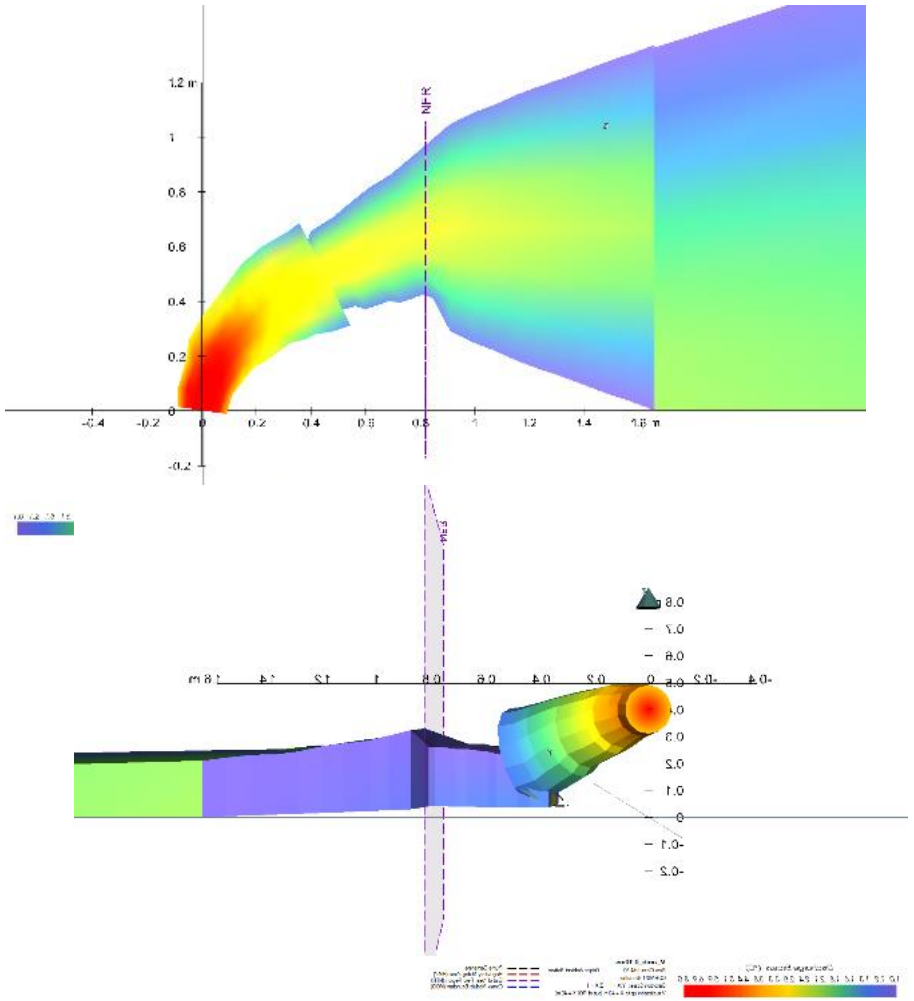


$U_{achtergrond}$: 20 cm/s



3. Vergelijk met CORMIX

- CORMIX berekent de verdunning langs de hartlijn van de koudepluim.
- De CORMIX resultaten en de PT100 sensoren meten vergelijkbare temperaturen voor de situatie zonder achtergrondstroming.
- Voor de situatie met achtergrondstroming zijn temperatuurverschillen tot 0.5°C te zien. Dit kan te maken hebben met de CORMIX, maar het kan ook te maken hebben met de metingen, omdat de temperatuursensoren op een vaste locatie in de meetopstelling zaten waardoor het centrum van de koudepluim





Deltares

Resultaten

Overall resultaten

- Zonder achtergrondstroming ontstaat er een ophoping van koude bij het lozingspunt. Dit leidt tot een initiële verdunning met een factor 6 benedenstrooms van de lozing.
- Bij alle uitgevoerde proeven treedt er een minimale verdunning op van 6. De verdunning is groter dan een factor 10 bij een grotere achtergrondstroming, bij een groter vermogen van het aquathermiesysteem, bij een kleinere waterdiepte en bij een lagere lozingstemperatuur
- Als de achtergrondstroming groot is ten opzichte van het lozingsdebiet, dan kan de pluim aan een kant van de watergang blijven hangen. Het koude water hoeft hierdoor de andere oever niet te bereiken.
- Het effect van een groter temperatuurverschil bij de lozing (hogere ΔT), leidt tot een groter temperatuurverschil benedenstrooms. Het effect van een hoger lozingsdebiet en een lagere lozingstemperatuur leidt tot een significant lagere temperatuur benedenstrooms
- Het effect van een 2 keer zo grote thermische lozing leidt niet direct tot een lagere benedenstroomse temperatuur. In dit geval treedt er minder stratificatie op en wordt de koude ook hoger in de waterkolom geregistreerd.

Overall resultaten

- Een kleinere waterdiepte leidt tot een mindere mate van stratificatie en een betere menging. Hierdoor is de temperatuurverlaging bij de bodem minder dan bij de proeven met een grotere waterdiepte.
- Met de DTS techniek kan met een glasvezelkabel de koudepluim over grote afstand en met hoge resolutie worden gevolgd. Echter vanwege de variatie in de meting en de benodigde nauwkeurigheid om een koudepluim van -0.5°C tot -2°C, moet bij de meetopzet goed worden onderzocht hoe deze techniek het best toegepast kan worden om zinvolle resultaten te krijgen.
- Met het meetprincipe waar een glasvezelkabel om een paaltje wordt gewikkeld kan inzicht worden verkregen in mogelijke stratificatie van de pluim. Hierbij moet de wikkeling niet te strak worden gedaan om beschadiging en dataverlies in de kabel te voorkomen.
- De CORMIX resultaten en de PT100 sensoren meten vergelijkbare temperaturen voor de situatie zonder achtergrondstroming. Voor de situatie met achtergrondstroming zijn temperatuurverschillen tot 0.5°C te zien. Dit kan te maken hebben met de CORMIX, maar het kan ook te maken hebben met de metingen, omdat de temperatuursensoren op een vaste locatie in de meetopstelling zaten waardoor het centrum van de koude



enabling delta life

Deltares

5. Conclusies

Algemene bevindingen

- De proeven geven een breed beeld de verspreiding van koudepluimen die vrijkomen bij aquathermie
- De temperatuur neemt snel af na het lozingspunt. Benedenstrooms van het lozingspunt is de temperatuur slechts 0,5°C - 2°C lager dan de achtergrondtemperatuur. Om dit te kunnen registreren is het van belang dat:
  - De meettechniek moet nauwkeurig genoeg om deze kleine temperatuurverschillen te meten.
  - De sensoren moeten in het hart van de koudepluim worden geplaatst. Die kan echter variëren door een variatie in lozingsdebiet en achtergrondstroming. Deze locatie is niet altijd eenvoudig vooraf te bepalen
- Het vergelijk met het numerieke model CORMIX liet zien dat dit model de afkoeling en het traject van de koudepluim redelijk goed kan voorspellen.
- Het effect van de bodemgeometrie is niet meegenomen in de proeven. Het traject van de pluim kan hierdoor beïnvloed worden, omdat dichtheidseffecten ervoor zorgen dat de koudepluim het diepste punt in de watergang zoekt.



Van experimenten naar het watersysteem

Miguel Dionisio Pires

Van experiment naar watersysteem

Experimenten

Wat gebeurt er vlak bij inlaat en lozing?

- Menging op kleine schaal
- Lokale respons
- Geconctroleerde condities

Modellering

Hoe werkt die koude door in een heel kanaal? Kan het de KRW helpen?

- Locatie en verspreiding
- Debiet en ΔT
- Warme perioden
- Drongelens kanaal & Noordzeekanaal

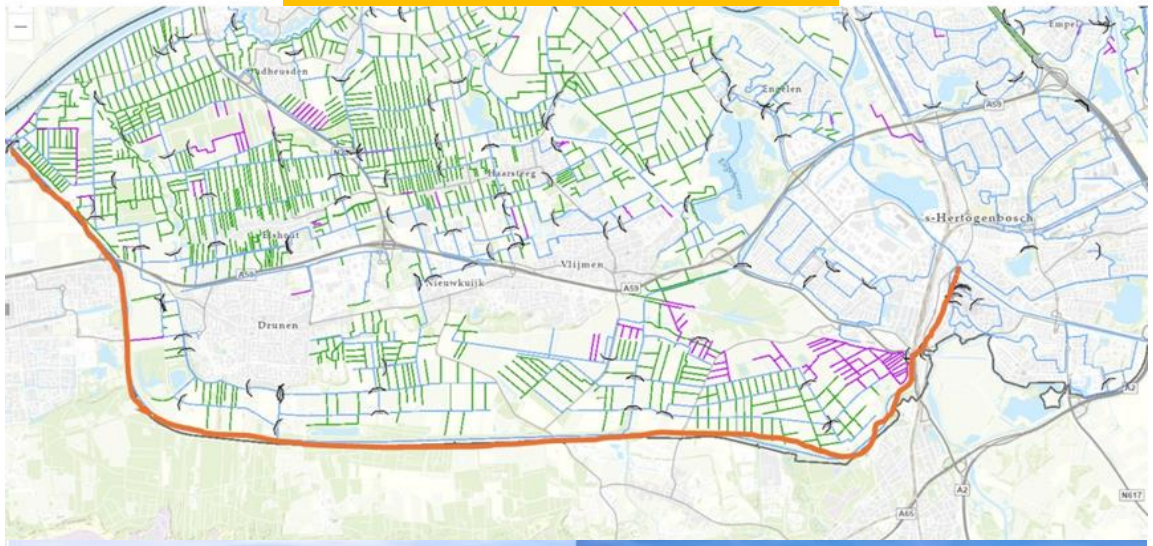
Samen

Van procesbegrip naar ontwerpkeuzes

- Waar plaatsen?
- Hoeveel capaciteit?
- Ecologische consequenties

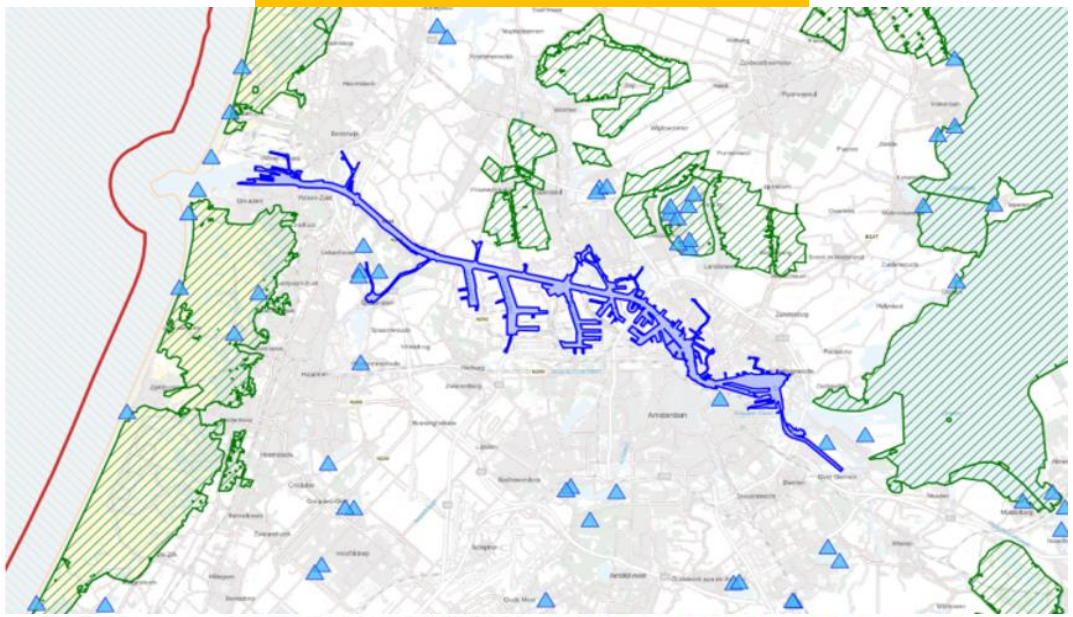
Twee casussen

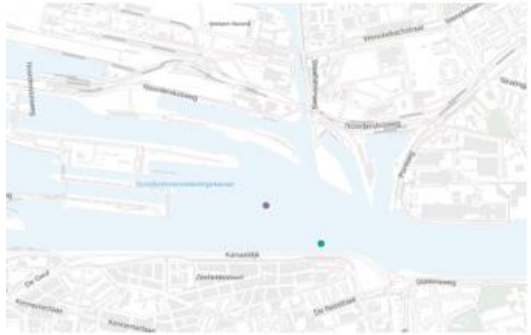
Drongelens kanaal

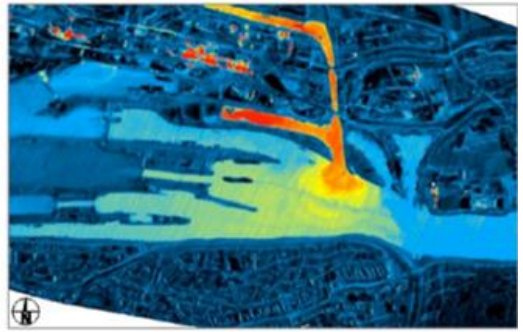




Noordzeekanaal







Methodiek



Gemeenschappelijk: beide Delft3D-modellen zijn gevalideerd tegen in situ watertemperatuurmetingen vóór toepassing in de scenarioanalyse.

Noordzeekanaal

Vraag: welke warmtelasten verklaren de temperatuur bij Velsen?

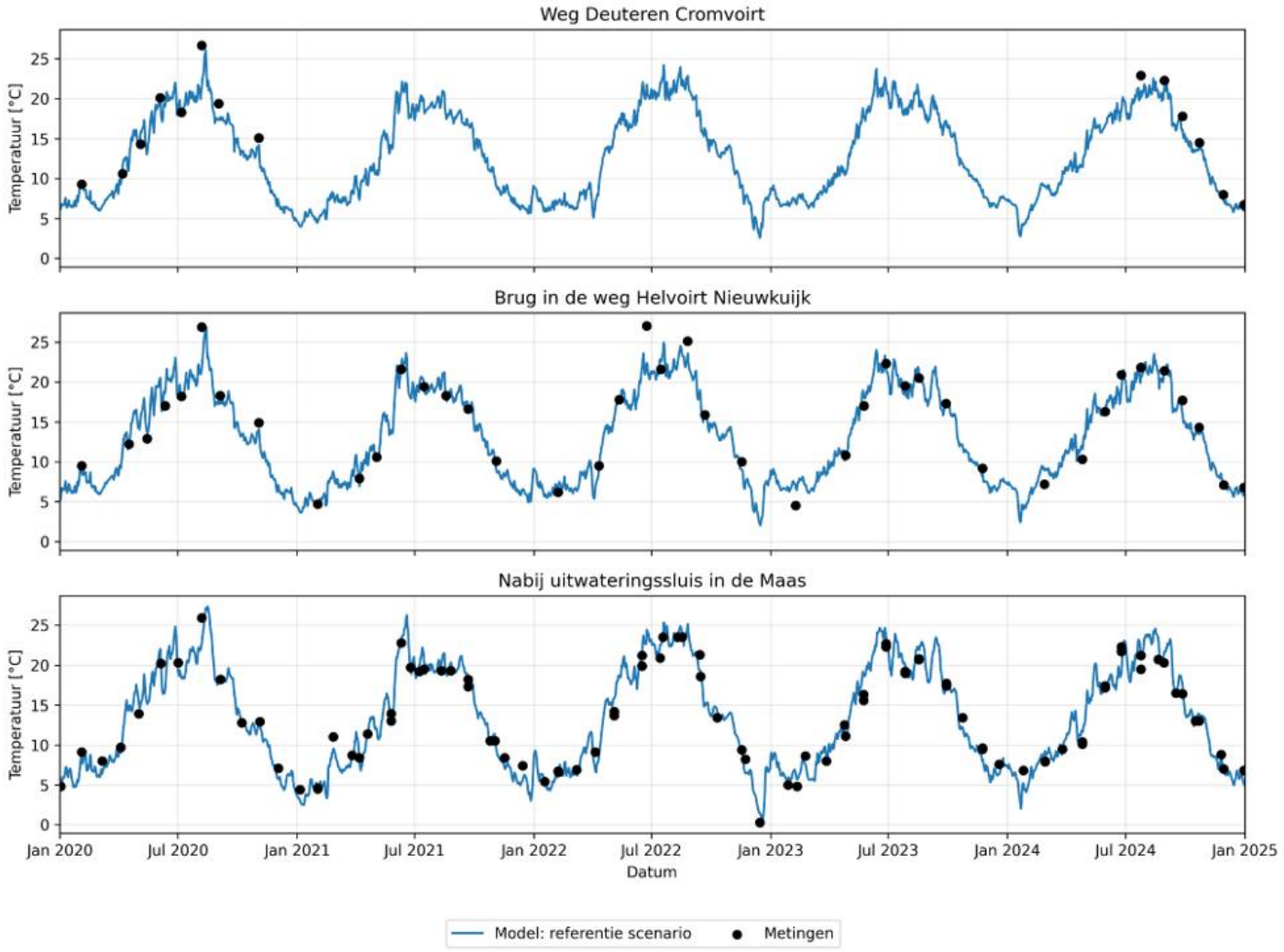
- Geactualiseerd 3D D-HYDRO-model voor 2023.
- Validatie met hoogfrequente metingen in de Velserkom.
- Warmtelasten afzonderlijk aan- en uitgezet; P98 bepaald op −1 en −6 m.

Drongelens Kanaal

Vraag: hoe beïnvloeden TEO-koudelozingen het temperatuurprofiel?

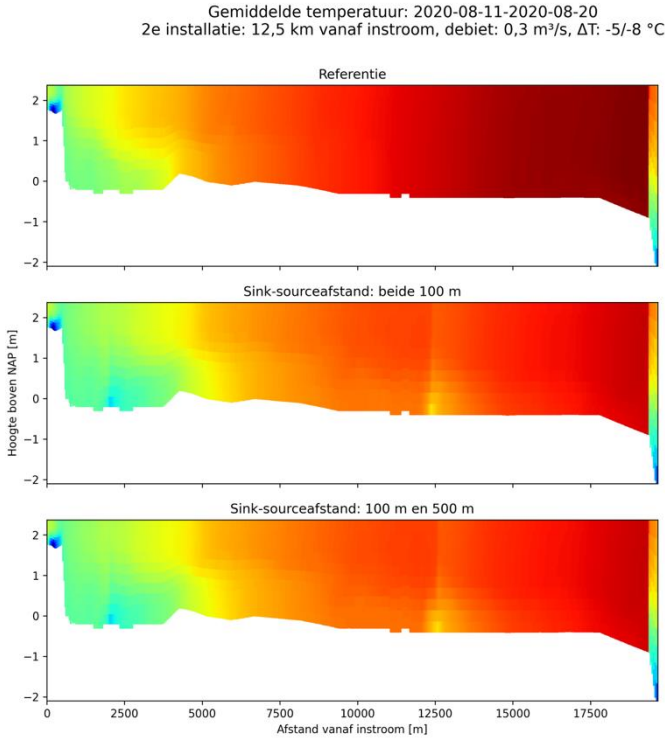
- Delft3D-FM temperatuurmodel voor warme zomerperioden.
- Validatie tegen metingen op meerdere locaties langs het kanaal.
- Variatie van TEO-locatie, debiet, ΔT en sink-sourceafstand.

Drongelens kanaal

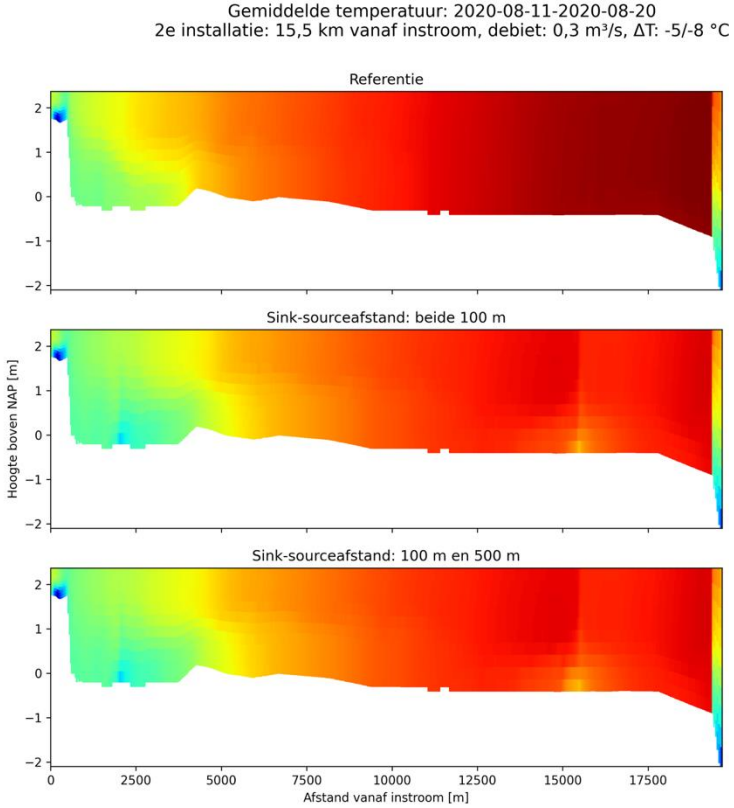


- 19 km lang
- Twee TEO locaties
- 0,3 m^3/sec per installatie
- ΔT: -5/-8 °C jun-sep/jul-aug
- 100-1000 m sink-source afstand
- Locatie, debiet en ΔT systematisch gevarieerd

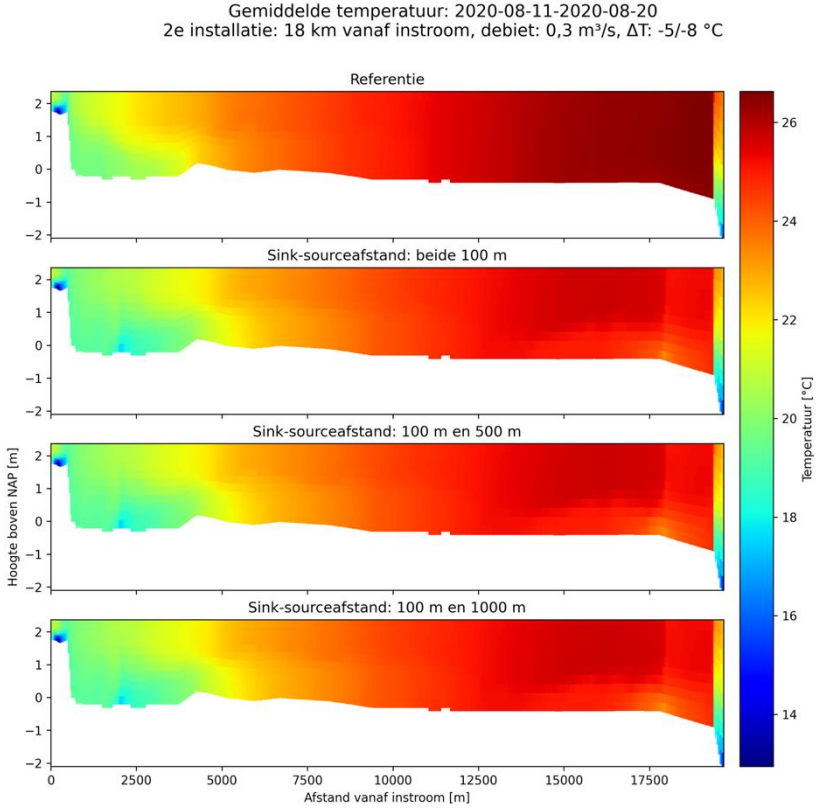
Augustus 2020



12,5 km

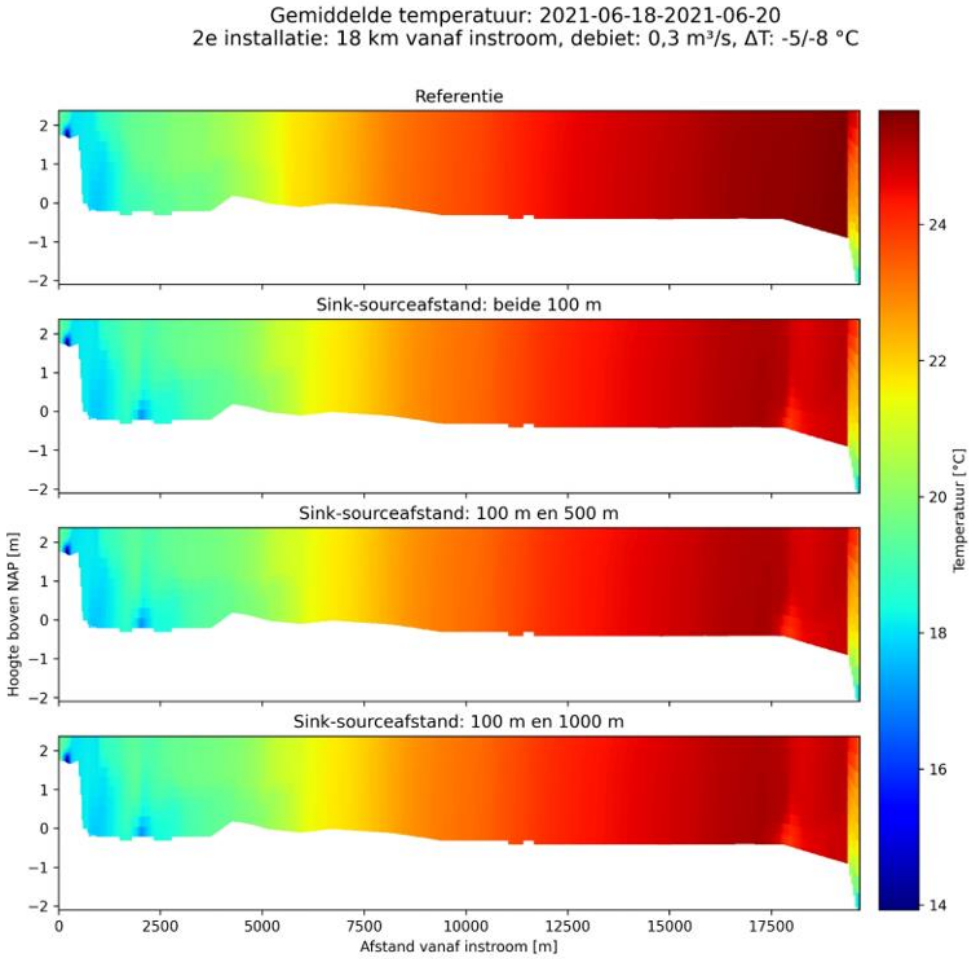


15,5 km



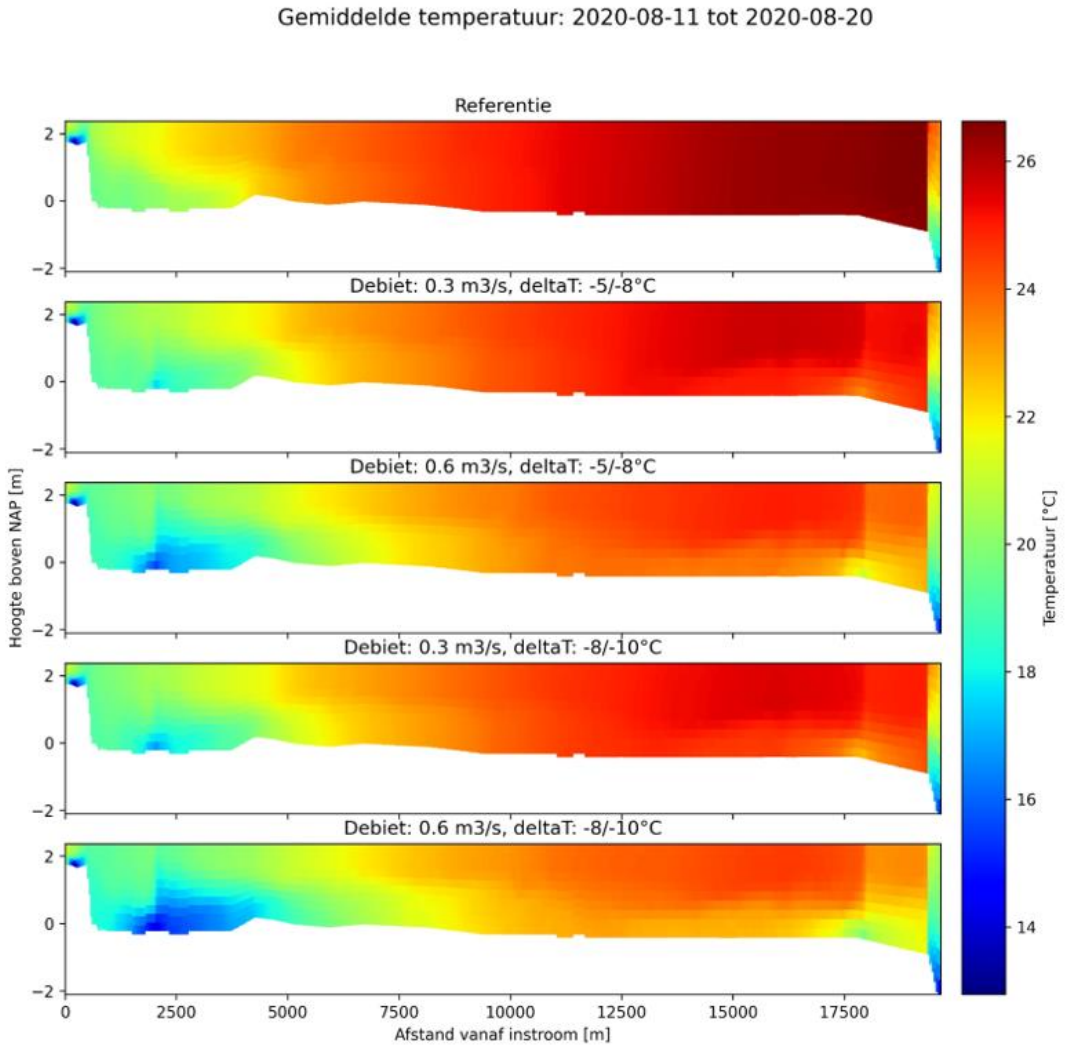
18 km

Spelen met afstand tussen onttrekking en lozing



- Vorm en lokale spreiding koudepleuim veranderen
- Nauwelijks verandering gemiddelde temperatuur en globale lengteprofiel

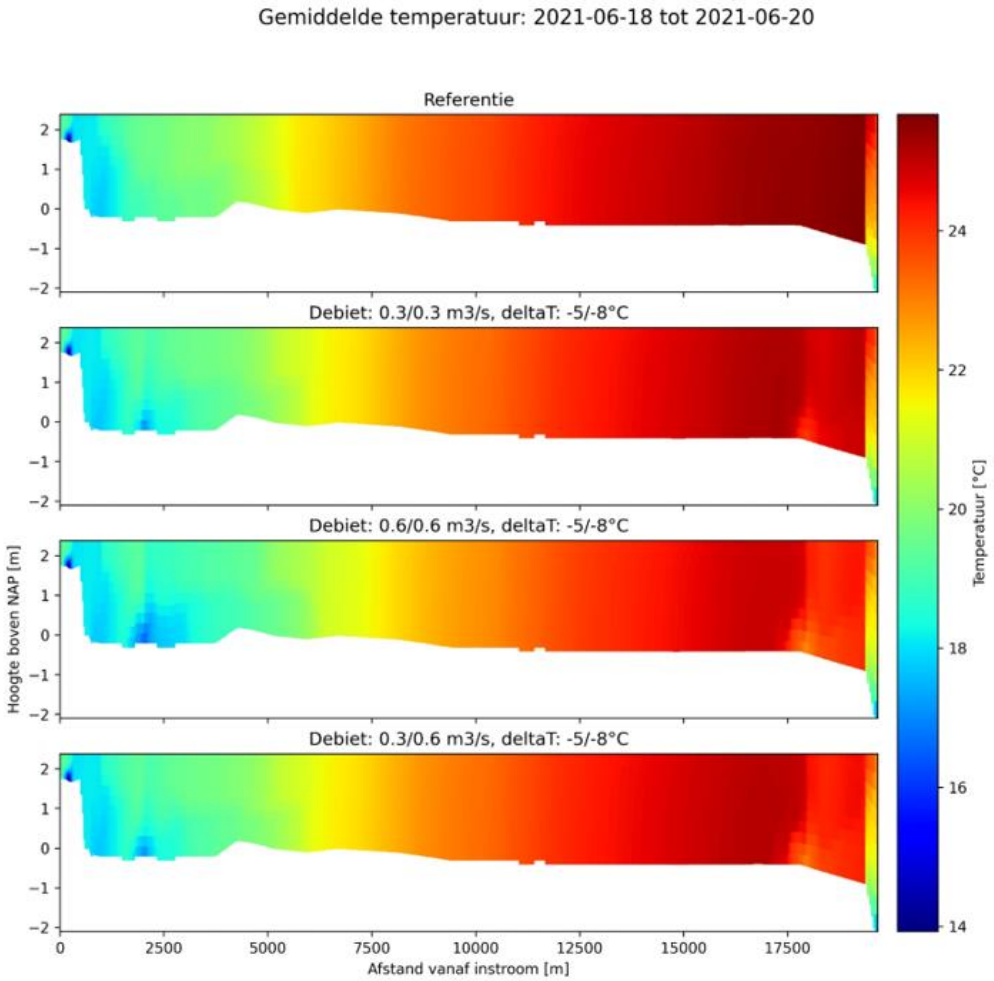
Meer koelvermogen ⟶ meer effect



Scenario	Settings
Basis	0,3 m^3/sec -5/-8 °C
Meer debiet	0,6 m^3/sec zelfde ΔT
Grotere ΔT	0,3 m^3/sec -8/-10 °C
Combinatie	0,6 m^3/sec -8/-10 °C

Sterkste afkoeling bij combinatie, maar nog geen systeemdekkende < 25 °C

Betekenis voor ecologie (kwalitatieve interpretatie)

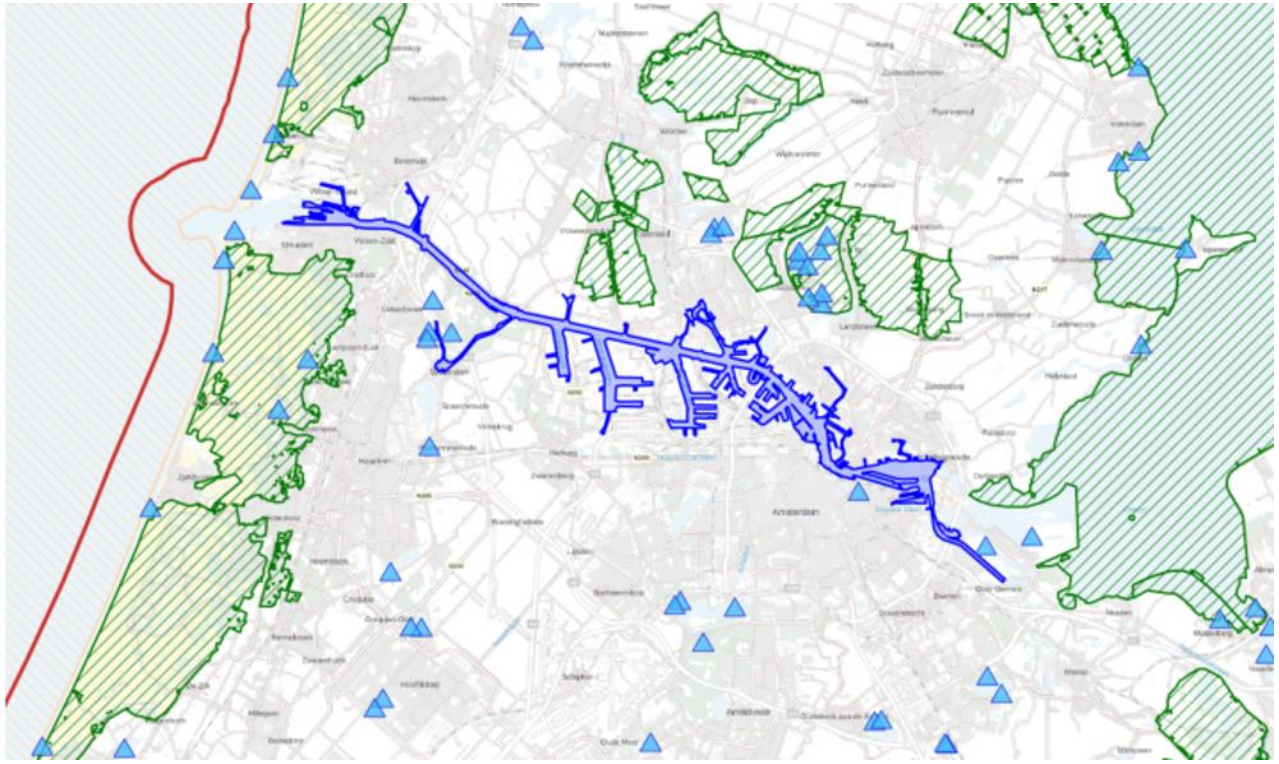


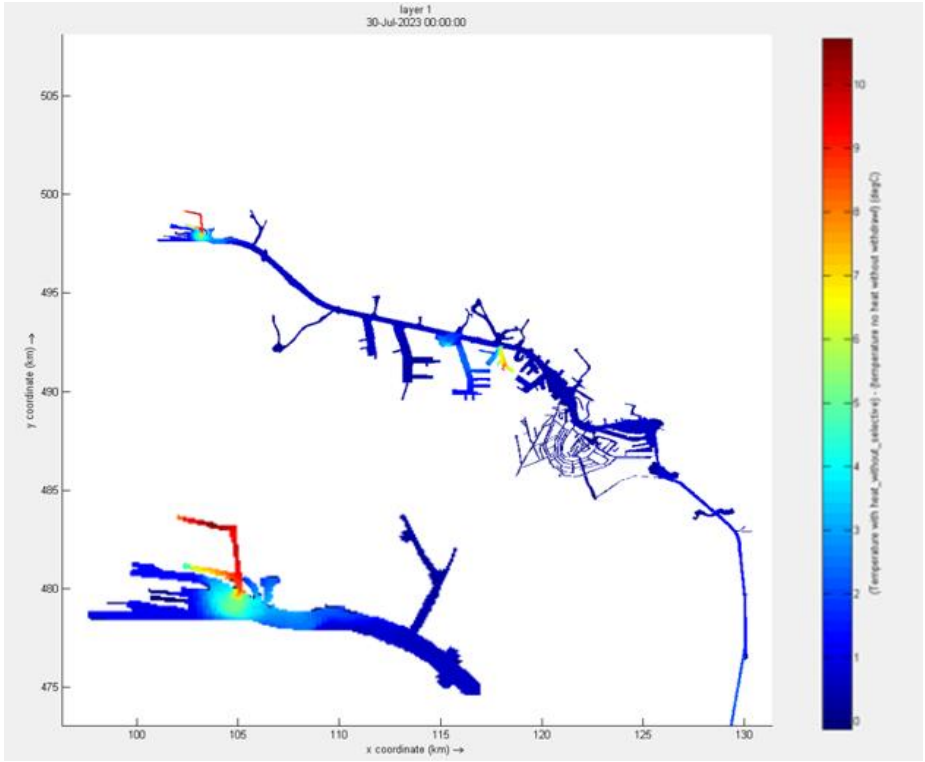
Mogelijke positieve effecten:

- Minder lokale hittestress
- Koelere refugia
- Mogelijk gunstiger zuurstofcondities

Advies: capaciteit en locaties optimaliseren voor temperatuurdoel, daarna ecologische respons kwantificeren

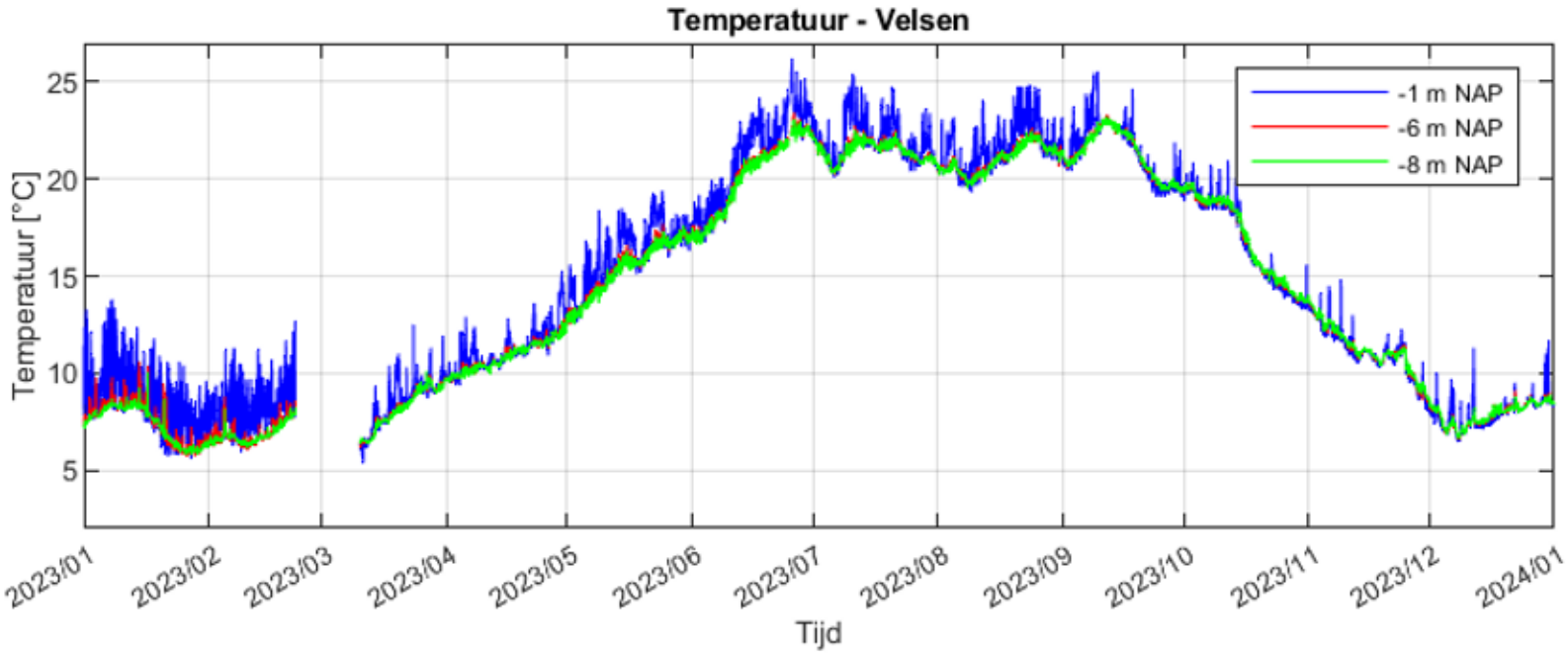
Noordzeekanaal

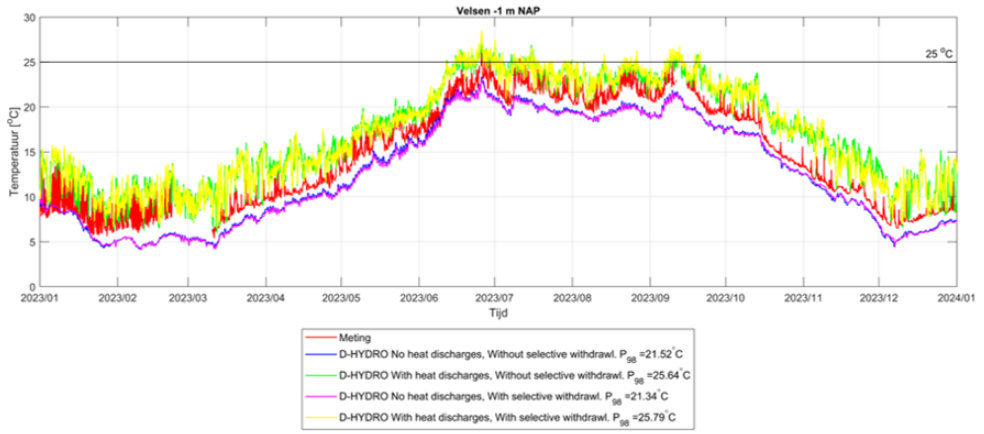




Extra vraag: Is de temperatuur bij Velsen representatief voor het waterlichaam, of vooral voor een lokale hotspot?

3D D-HYDRO-model





- 2023-schematisatie, gevalideerd met hoogfrequente metingen in Velserkom
- Actualisatie: Zeesluis IJmuiden en sleectieve onttrekking opgenomen
- Proces: Warmtelozingen beïnvloeden vooral havens met beperkte uitwisseling
- Uitvoer: P98 bij Velsen voor –1 en –6 m

Zeven modelruns

berekening
2023 model, originele berekening met alle warmtelasten
2023 model zonder enige warmtelasten
2023 model zonder Nuon Power warmtelast
2023 model zonder Tata Steelhaven warmtelast
2023 model zonder (Nuon Power + Tata Steelhaven) warmtelast
2023 model met alleen de warmtelast van (Nuon Power + Tata Steelhaven)
2023 model met alleen Nuon Power warmtelast

Resultaten NZK

-1 m

	Berekening -1 m locatie Velsen	p-98 wT	Verschil met natuurlijk (som 2)
	Metingen 2023	23.9	
1	2023 model, originele berekening met alle warmtelasten	25.7	+4.4
2	2023 model zonder enige warmtelasten	21.3	-
3	2023 model zonder Nuon Power warmtelast	22.4	
4	2023 model zonder Tata Steelhaven warmtelast	25.6	+4.3 (+0.1)
5	2023 model zonder (Nuon Power + Tata Steelhaven) warmtelast	22.0	0.7
6	2023 model met alleen de warmtelast van (Nuon Power + Tata Steelhaven)	25.1	
7	2023 model met alleen Nuon Power warmtelast	25.0	+3.7

-6 m

	Berekening -6 m locatie Velsen	p-98 wT	Verschil Natuurlijk (som 2)
	Metingen 2023	22.6	
1	2023 model, originele berekening met alle warmtelasten	22.4	+1.3
2	2023 model zonder enige warmtelasten	21.1	-
3	2023 model zonder Nuon Power warmtelast	22.0	
4	2023 model zonder Tata Steelhaven warmtelast	22.4	+1.3 (+0.0)
5	2023 model zonder (Nuon Power + Tata Steelhaven) warmtelast	21.9	+0.8
6	2023 model met alleen de warmtelast van (Nuon Power + Tata Steelhaven)	21.7	
7	2023 model met alleen Nuon Power warmtelast	21.7	+0.6

Betekenis voor ecologie (kwalitatieve interpretatie)

- Thermische stress
  - Lokale piektemperaturen kunnen stress verhogen voor vis en macrofauna
- Zuurstof
  - Warmer water bevat minder zuurstof; extra risico bij hoge biologische zuurstofvraag
- Fytoplankton
  - Opwarming kan groeie en soortensamenstelling beïnvloeden: nutriënten en verblijftijd blijven mede bepalend
- Thermische refugia
  - Koelere delen kunnen belangrijk zijn, mits bereikbaar en voldoende groot

Algemene bevindingen

Drongelens Kanaal

Kleiner, ondiep en relatief direct beïnvloedbaar

- Duidelijke, vooral lokale afkoeling rond de lozingen.
- Locatie en koelvermogen, Q × |ΔT|, sturen het effect.
- Plaatsing in de warme zone verlaagt pieken het meest.
- De doorgerekende varianten houden het kanaal niet overal onder 25 °C.

Noordzeekanaal

Groot, diep en zoutgestratificeerd

- De overschrijding bij Velsen is vooral een lokale oppervlaktepluim.
- Lokale warmtelasten voegen circa 3,8 °C toe aan de P98 in de toplaag.
- Op 6 m diepte is het effect veel kleiner.
- Grote buffercapaciteit en beperkte menging begrenzen het TEO-effect.

OVERKOEPELENDE CONCLUSIE | **TEO kan lokale thermische hotspots beperken, maar is nog geen generieke maatregel om een volledig watersysteem te koelen.**

Ontwerp systeem-specifiek: kies locatie, debiet, ΔT en lozingsdiepte op basis van hydrodynamica en temperatuurpluimen.

Vragen


stowa