Effecten van aquathermie op ecologie

Jasper Stroom (AGV)
Jeroen Geurts (KWR)
Matthijs Bonte (AGV/Waternet)
Sven Teurlincx (NIOO)





waterschap amstel, gooi en vecht

- Intro (Matthijs Bonte)
- Praktijkproef Waterleidingduinen Amsterdam (Jeroen Geurts)
- Sterfte plankton in TEO-installaties (Jasper Stroom en Sven Teurlincx)
- Wrap up: hoe kunnen we deze resultaten gebruiken?

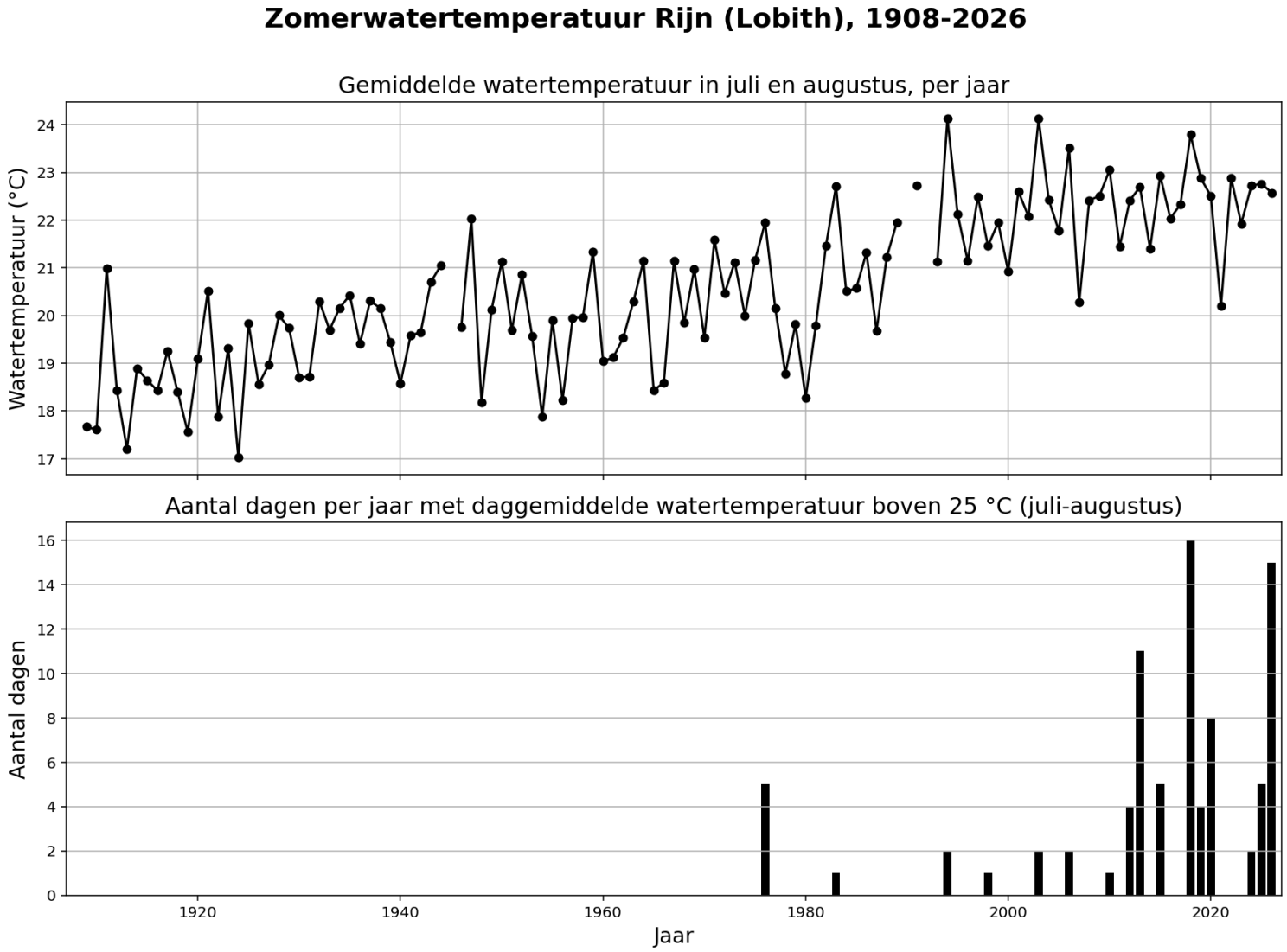
waterschap amstel, gooi en vecht

Aquathermie en waterkwaliteit: Vriend?

Opwarming water door klimaat en koelwaterlozingen

Grens KRW en drinkwater 25°C

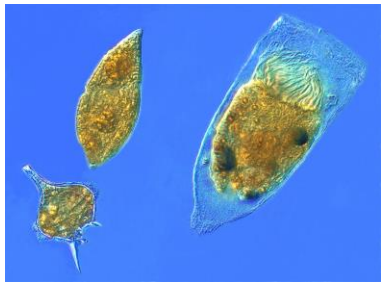
Positieve effecten afkoeling door warmtewinning?
- Meer zuurstof in water
- Minder stratificatie, meer circulatie
- Minder algenbloei



waterschap amstel, gooi en vecht

Aquathermie en waterkwaliteit:
Of vijand?





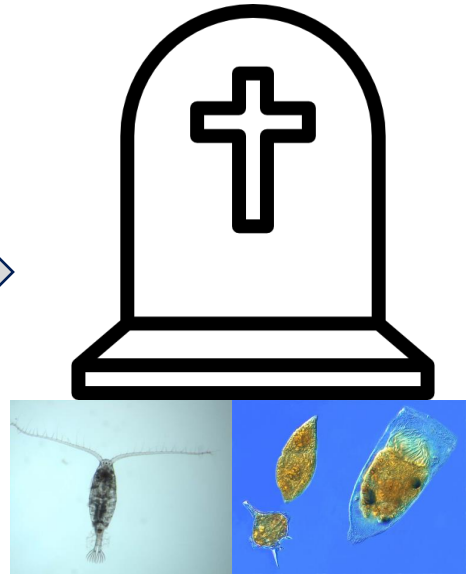
Plankton





pomp, filter en

warmtewisselaar



Dood plankton?

Barrière koudepluim?

waterschap
amstel, gooi
en vecht

Veel vragen…
Onderzoek op 5 locaties….

Onderzoek effect

ontvangend water

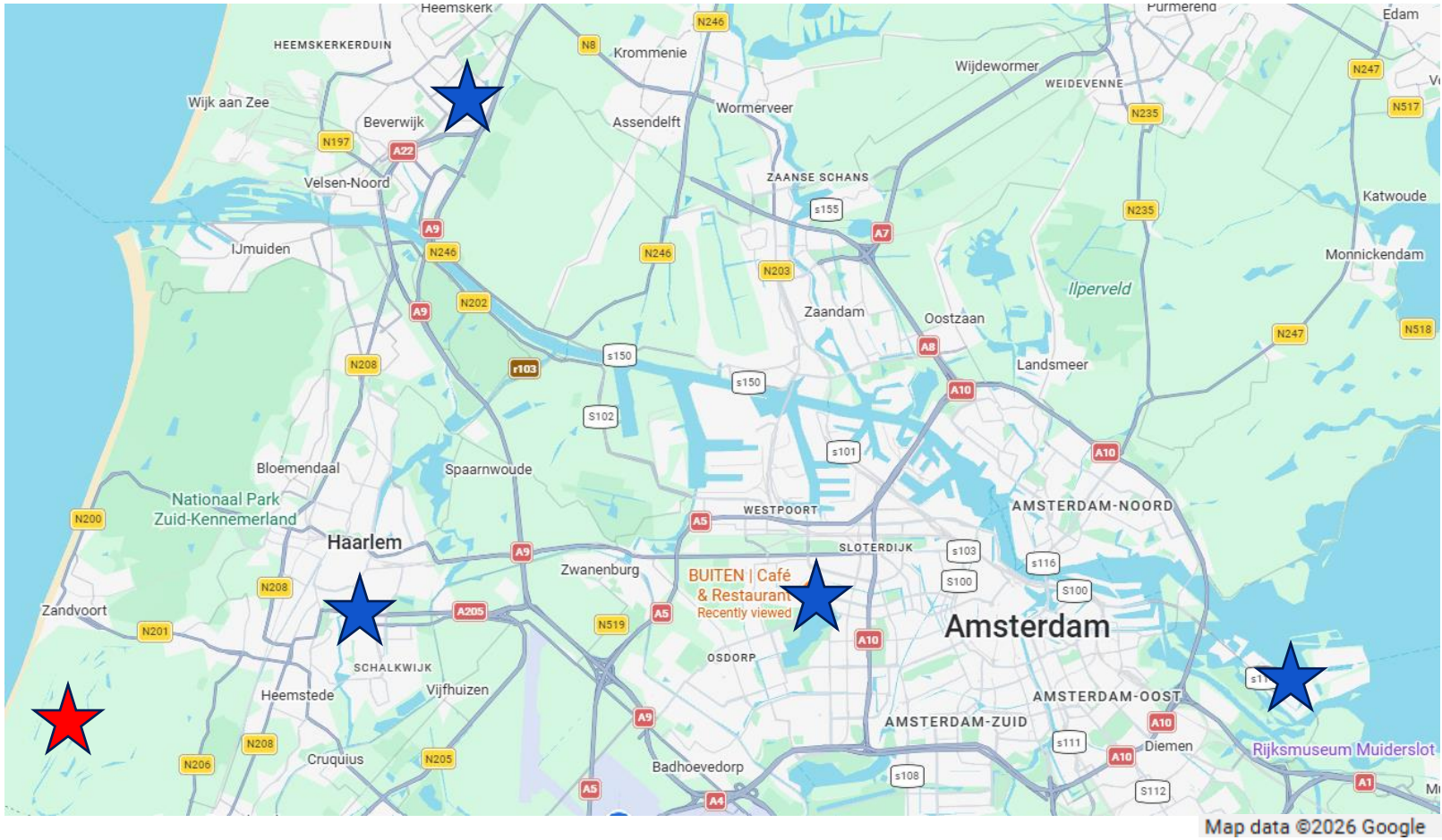
'Duinonderzoek'

(Jeroen)

Onderzoek **planktonstefte**

in TEO installatie

(Jasper en Sven)



waterschap
amstel, gooi
en vecht

TEO Planktononderzoek

Provincie Noord-Holland

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

bosman WATERMANAGEMENT

Eteck
duurzame energie van eigen bodem

NIOO NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ECOLOGIE (NIOO-KNAW)

Gemeente Amsterdam

hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Hoogheemraadschap van Rijnland

Duinonderzoek

stowa

waternet
gemeente amsterdam

waterschap amstel, gooi en vecht

PWN

dunea
DUIN & WATER

KWR

evides
industriewater

TKI WATER TECHNOLOGY

Classificatie: Intern

Vragen?

Stel tijdens de presentatie vragen via Menti

Scan QR code

Of ga naar menti.com

code: 5703 5906

waterschap amstel, gooi en vecht

Classificatie: Intern









Netwerkdag aquathermie 12 november 2026

Effecten van aquathermie op ecologie in de Amsterdamse waterleidingduinen

Jeroen Geurts en Sharon Clevers (KWR)
Matthijs Bonte (Waternet)
en vele anderen

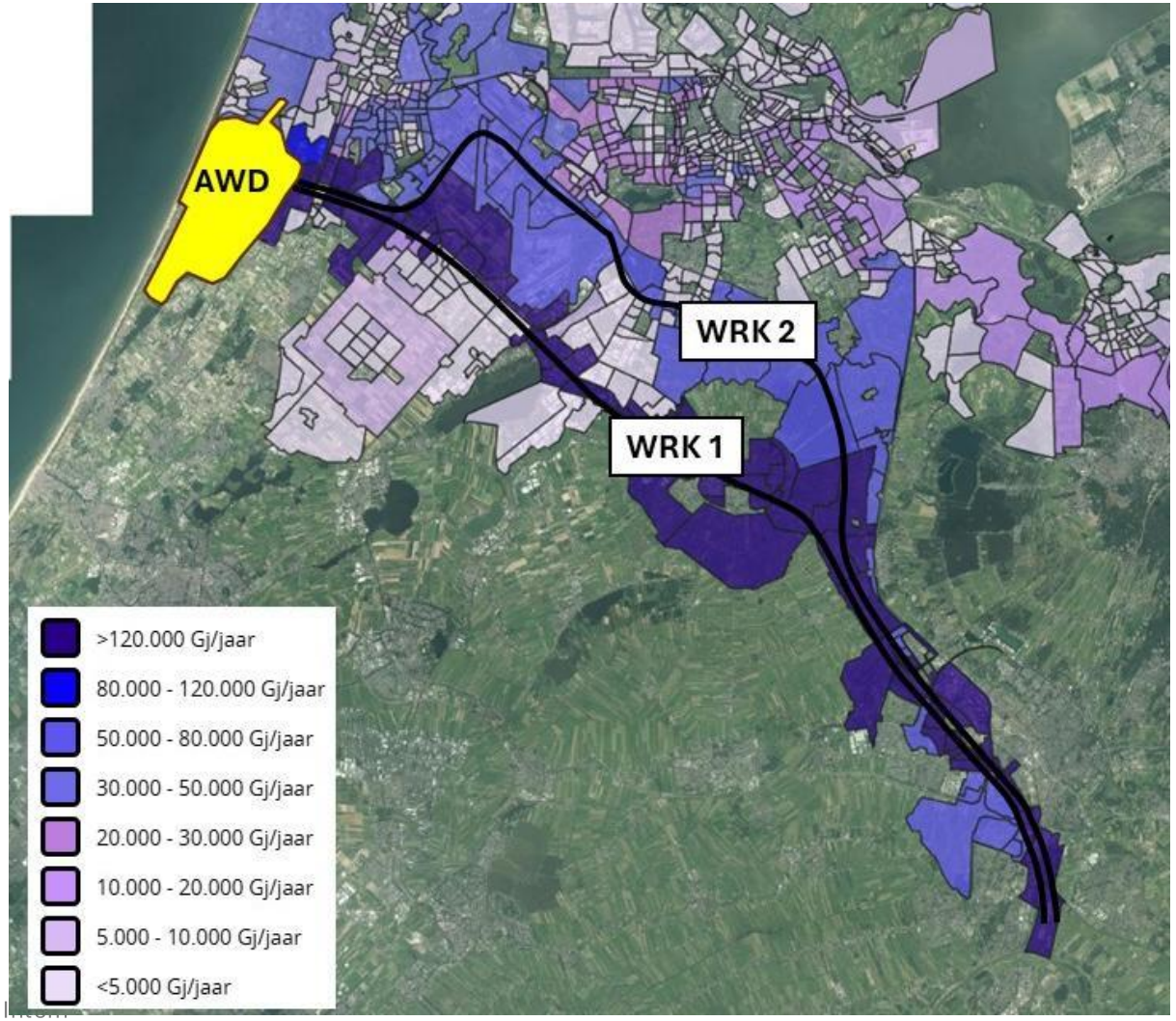
KWR

Bridging Science to Practice

Aquathermie en WRK

- WRK leiding van Nieuwegein naar de Amsterdamse waterleidingduinen (AWD)
- Grote potentiële bron van warmte (tot 515 TJ)
- Afkoeling tot 15°C toegestaan
- Beperkte kennis over effecten koudelozing

- Opdracht WRK directie tot meer onderzoek aan Waternet en PWN
- TREVAS project (TKI): samenwerking tussen KWR, Waternet, PWN, Evides, Dunea, STOWA, technologieleveranciers en waterlabs (o.a. Aquon)

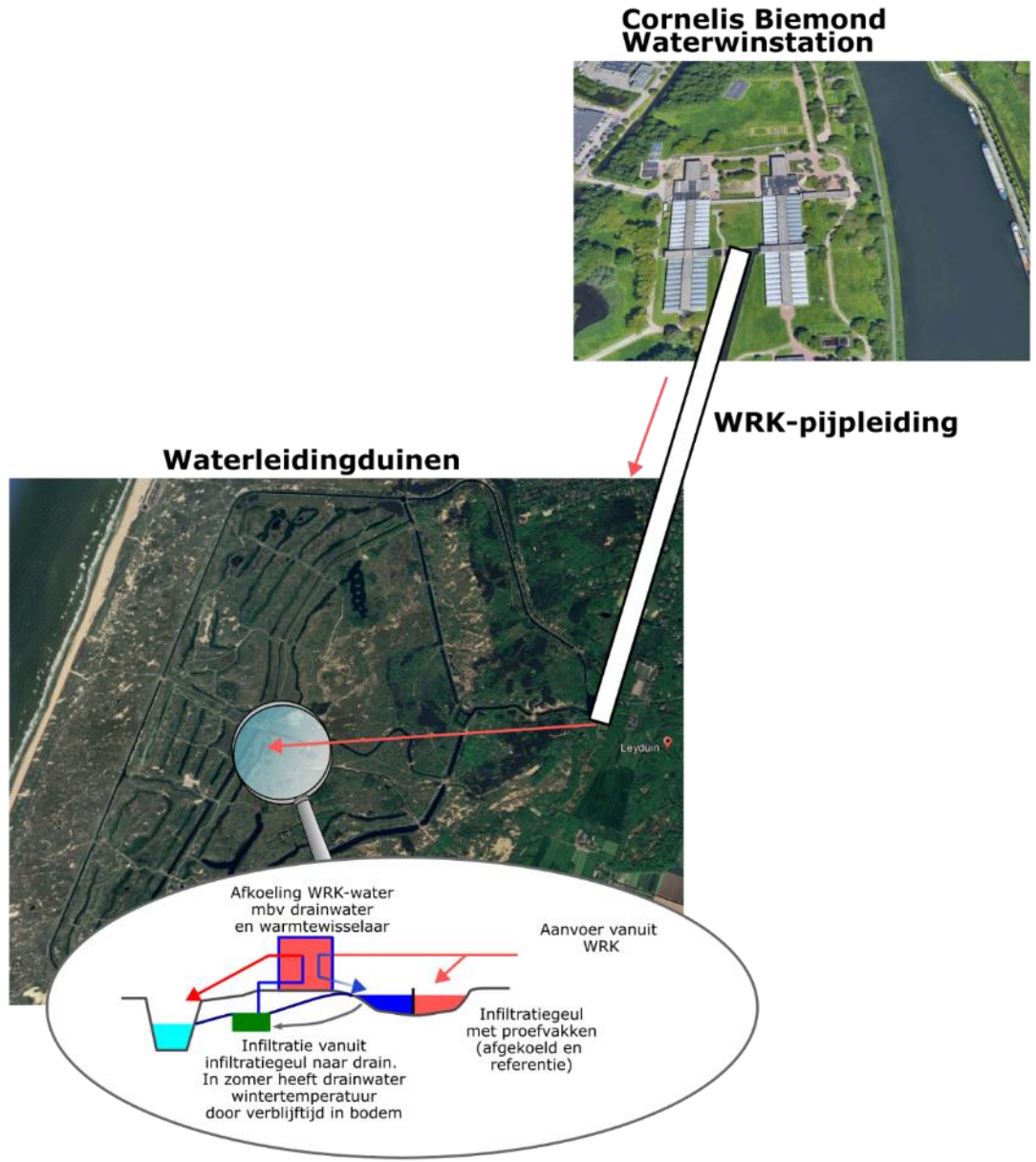


Classificatie: Intern

Veldproef koudelozing in de AWD

Wat is het effect van koudelozingen op de aquatische ecologie in de infiltratiegeulen?

- Extreme situatie testen: al het geulwater afkoelen met drainwater en warmtewisselaar met filter van 1 mm
- Verwachting: geen negatieve effecten van afkoeling, mogelijk wel van filtering
- Mei t/m september (2025+2026)

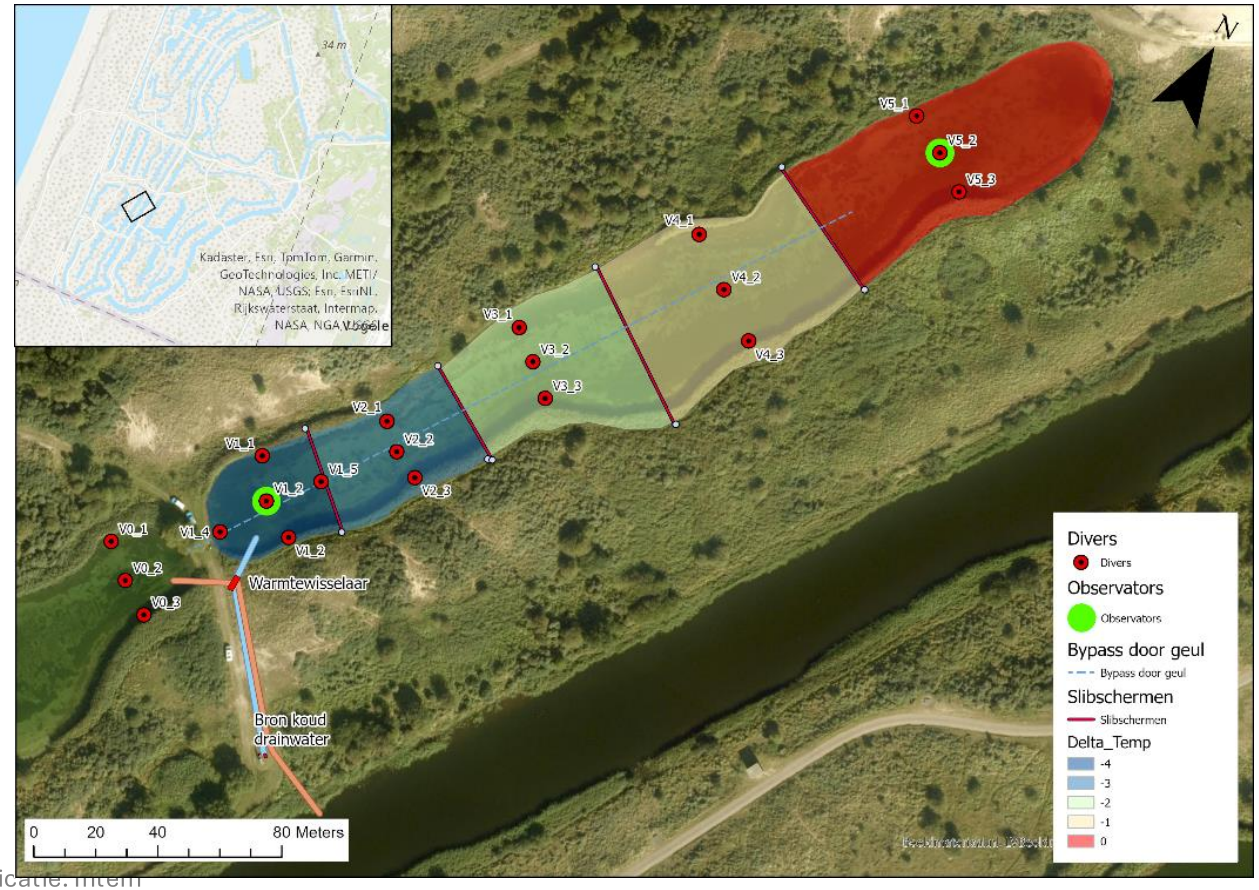


Classificatie: Intern

Veldproef koudelozing in de AWD

- Geul 28 Noord afkoelen, met T-gradiënt
- Menging voorkomen door slibschermen loodrecht op stroomrichting
- Meerdere eco-meetlocaties in de geul
- Geul 28 Zuid = referentie

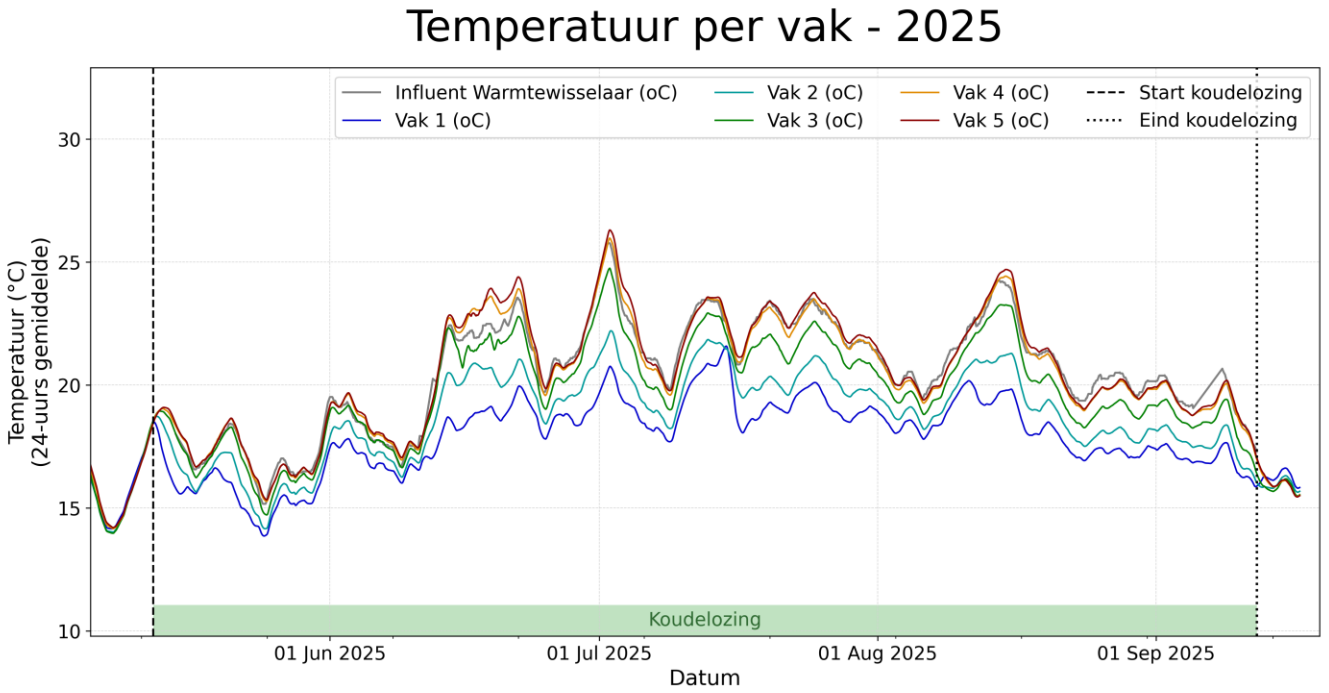


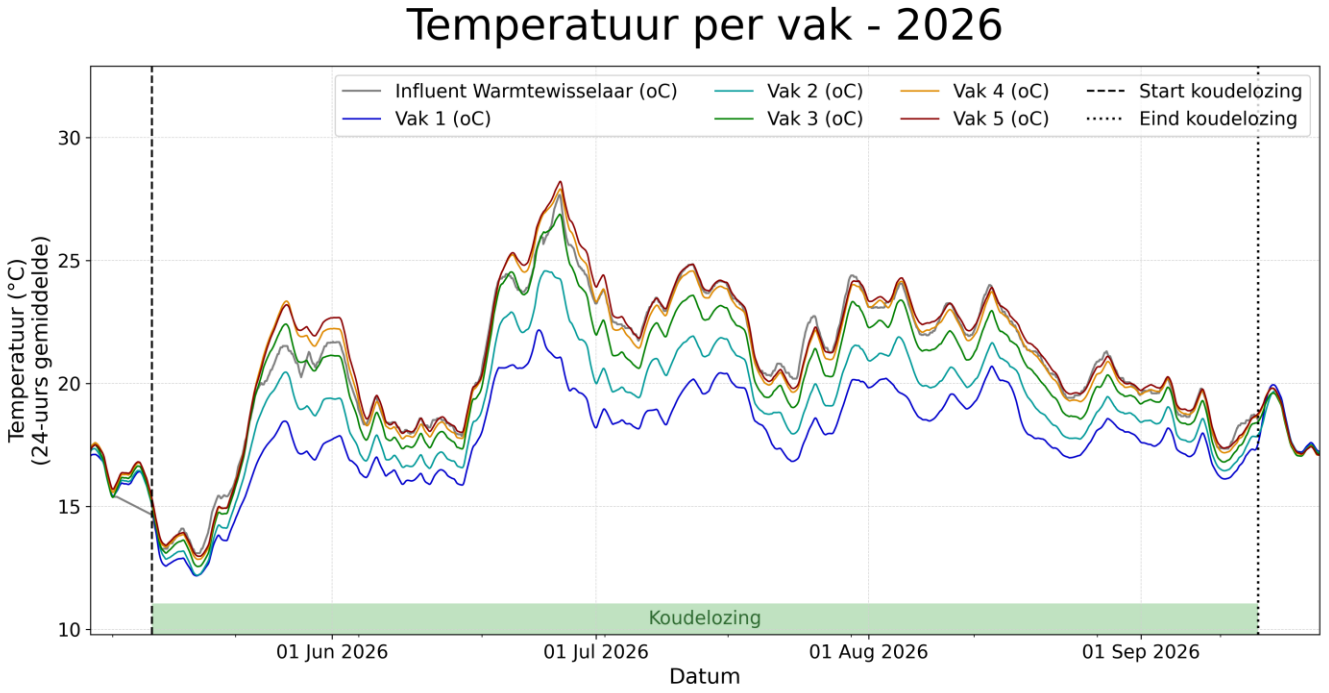


Classificatie: intern

- Temperatuur influent en metingen in vak 1 t/m 5
- T influent = T vak 4 en 5 (meestal)
- Resultaten voor 2025 en 2026
- Platenpakket elke 2 weken wisselen!

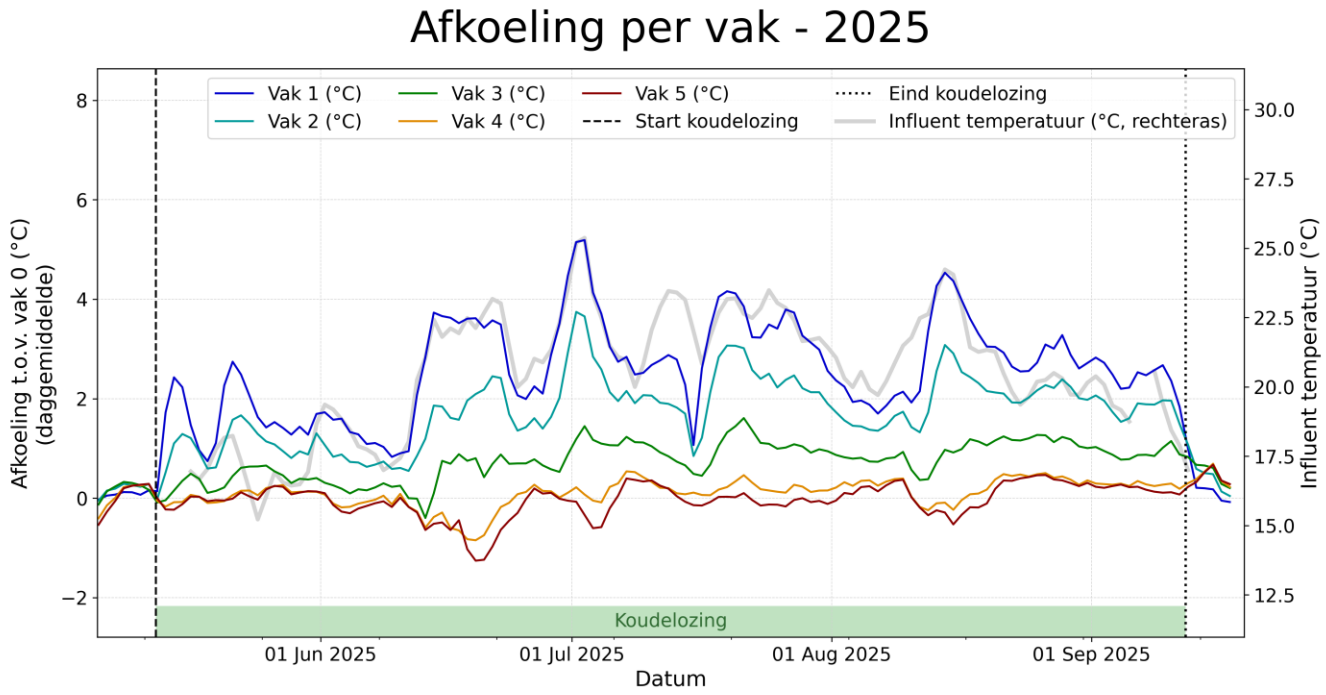


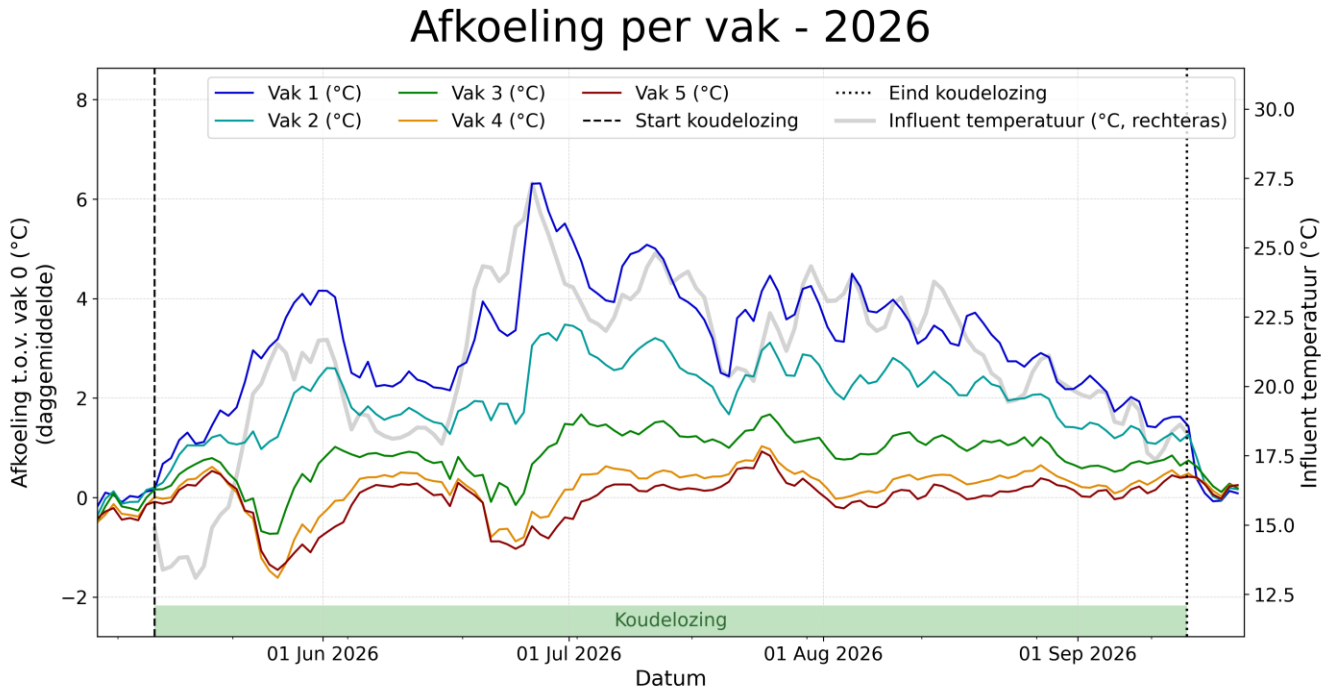


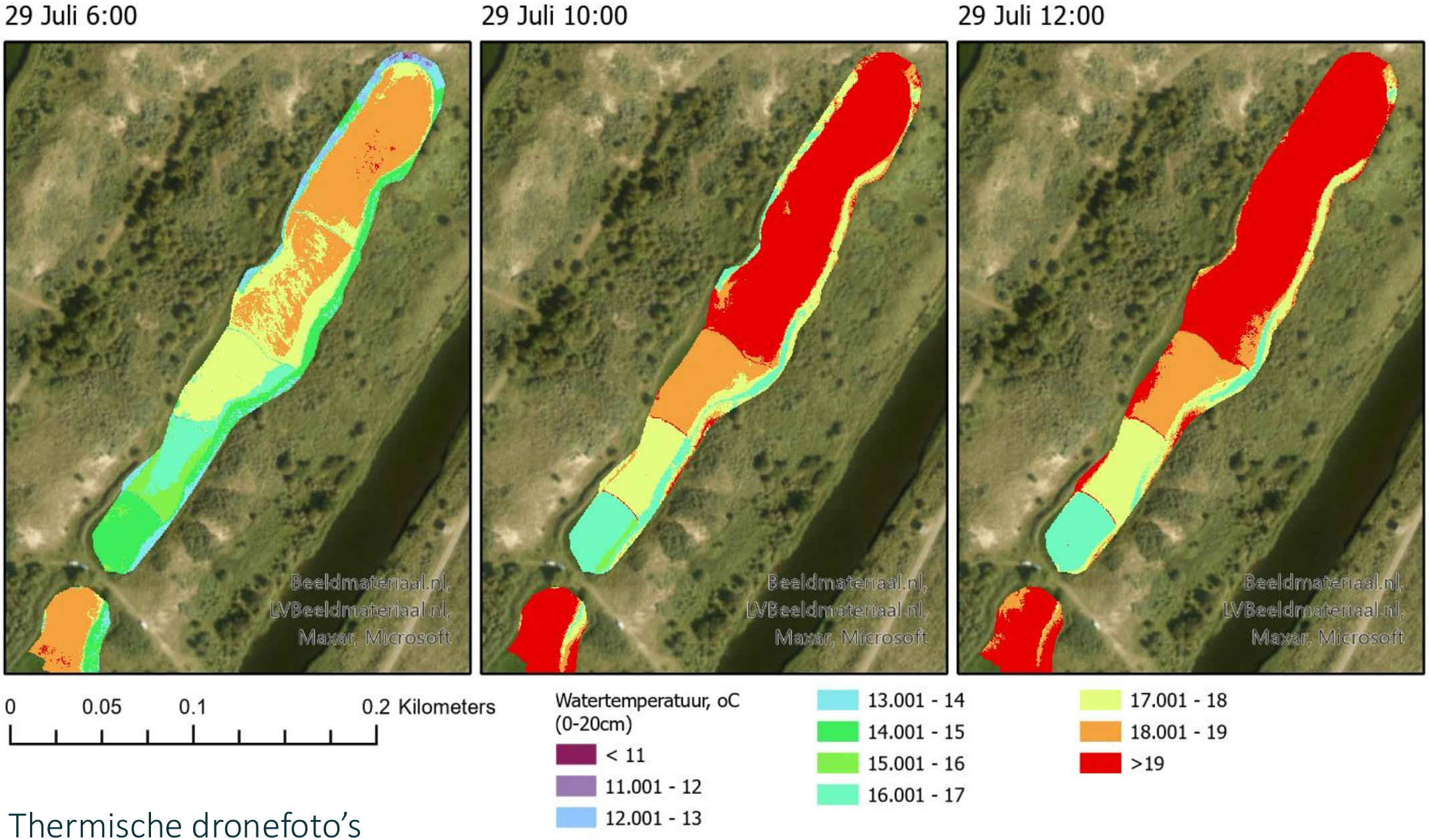


- Temperatuur influent en ***afkoeling*** vak 1 t/m 5
- DeltaT loopt op tot 5 °C in 2025 en 7 °C in 2026









Thermische dronefoto's
Aerial Intelligence

Monitoring aquatische ecologie

Effecten van temperatuursverschillen op:

- Fysisch-chemische parameters: o.a. temperatuur, zuurstof, EGV, nutriënten
- pH en T-afhankelijke afzetting van kalk
- Macrofauna: voorkomen van soorten en biodiversiteit
- Grootteverdeling schietmotten, haften, libellen, juffers
- Water- en oeverplanten: voorkomen en biodiversiteit
- Groei en bloei van kranswieren
- Diatomeeën, fyto- en zooplankton

Nulmonitoring in 2024, effectmonitoring in 2025-26,
na-monitoring in 2027





Classificatie: Intern

Resultaten 2025

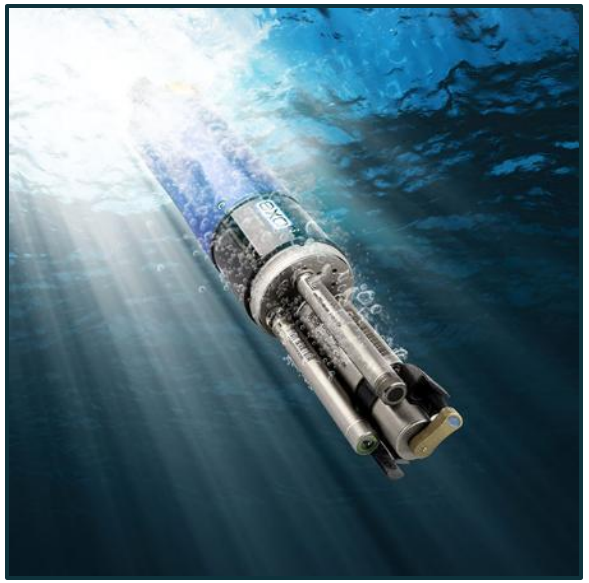


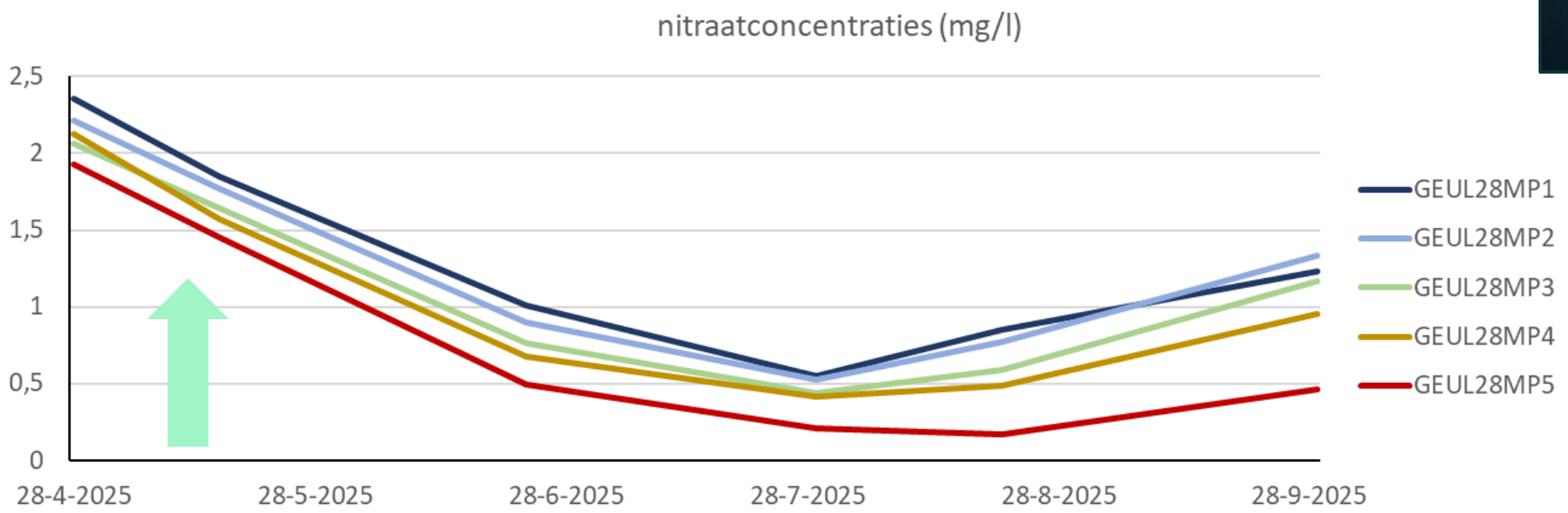


Classificatie: Intern

Chemische waterkwaliteit

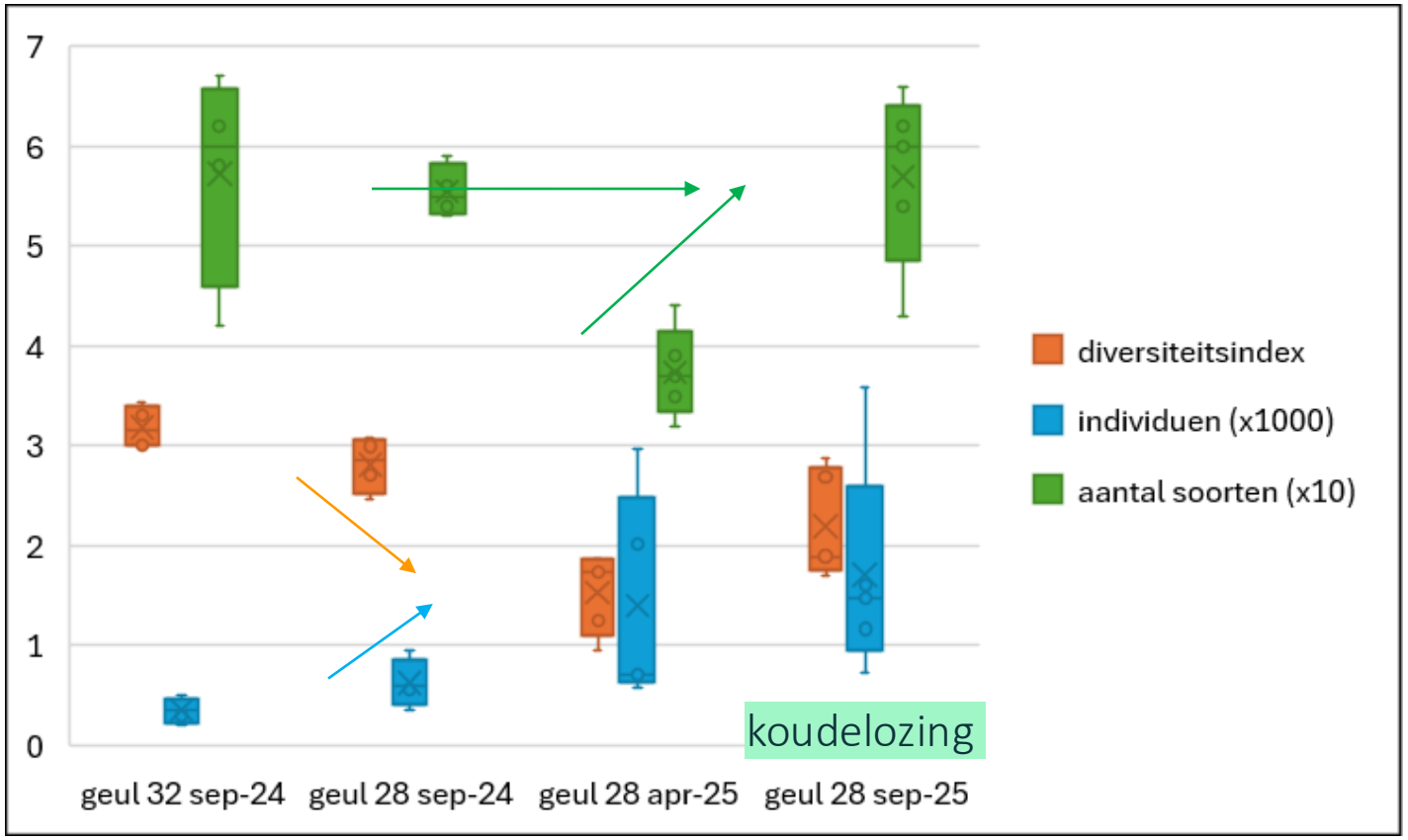
- Nutriënten, calcium en bicarbonaat nemen af tussen vak 1 en 5
- pH neemt toe richting vak 5 (tot max. 9,5)
- Warmer water – meer algen/fotosynthese – meer CO_2-opname
- Gevolg: 4% meer neerslag van calciet – minder infiltratie





Classificatie: Intern

Macrofauna (insecten en andere waterbeestjes)





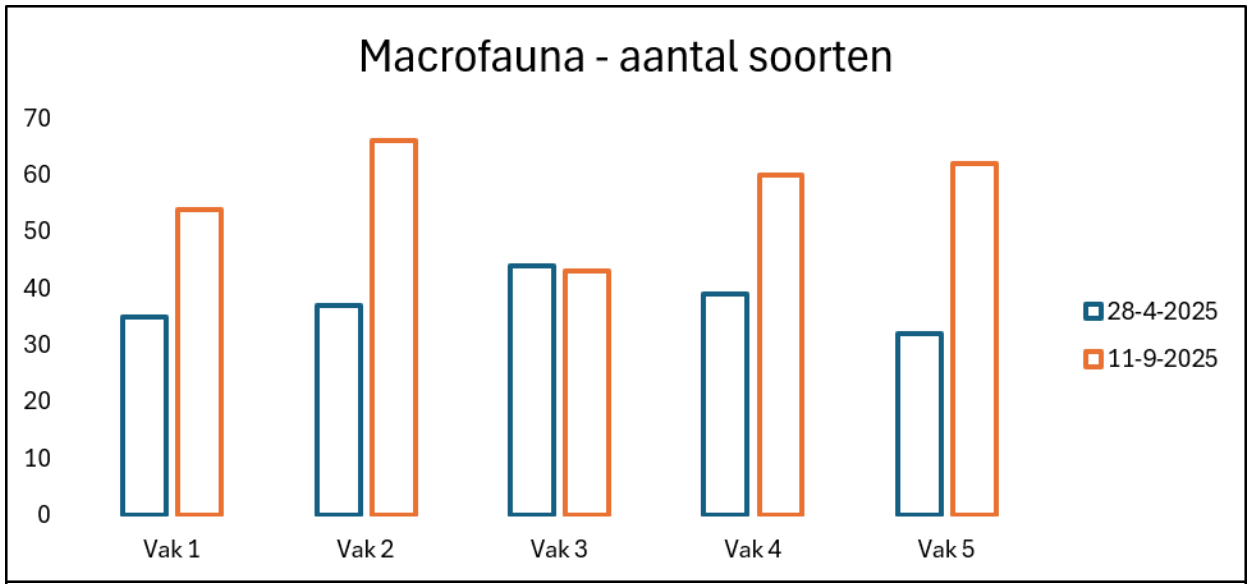
Viervlek bij geul 28

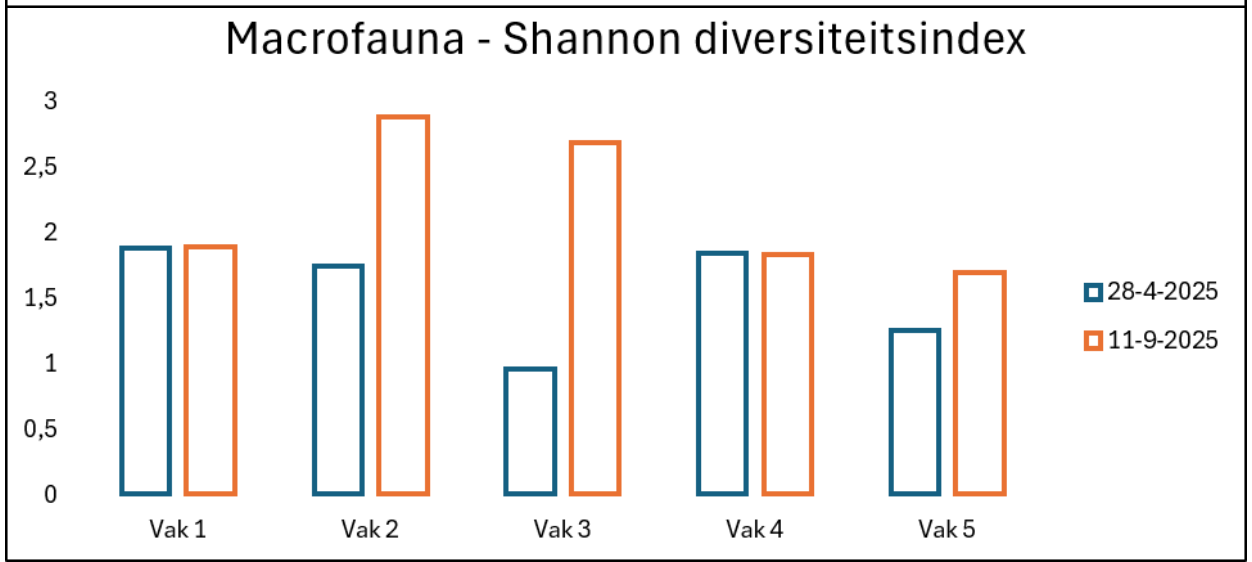
Vergelijking met nulmonitoring in 2024:

- Meer individuen, maar lagere diversiteit
- Aantal soorten blijft gelijk
- Minder soorten in april dan in september

Classificatie: Intern

Macrofauna (insecten en andere waterbeestjes)



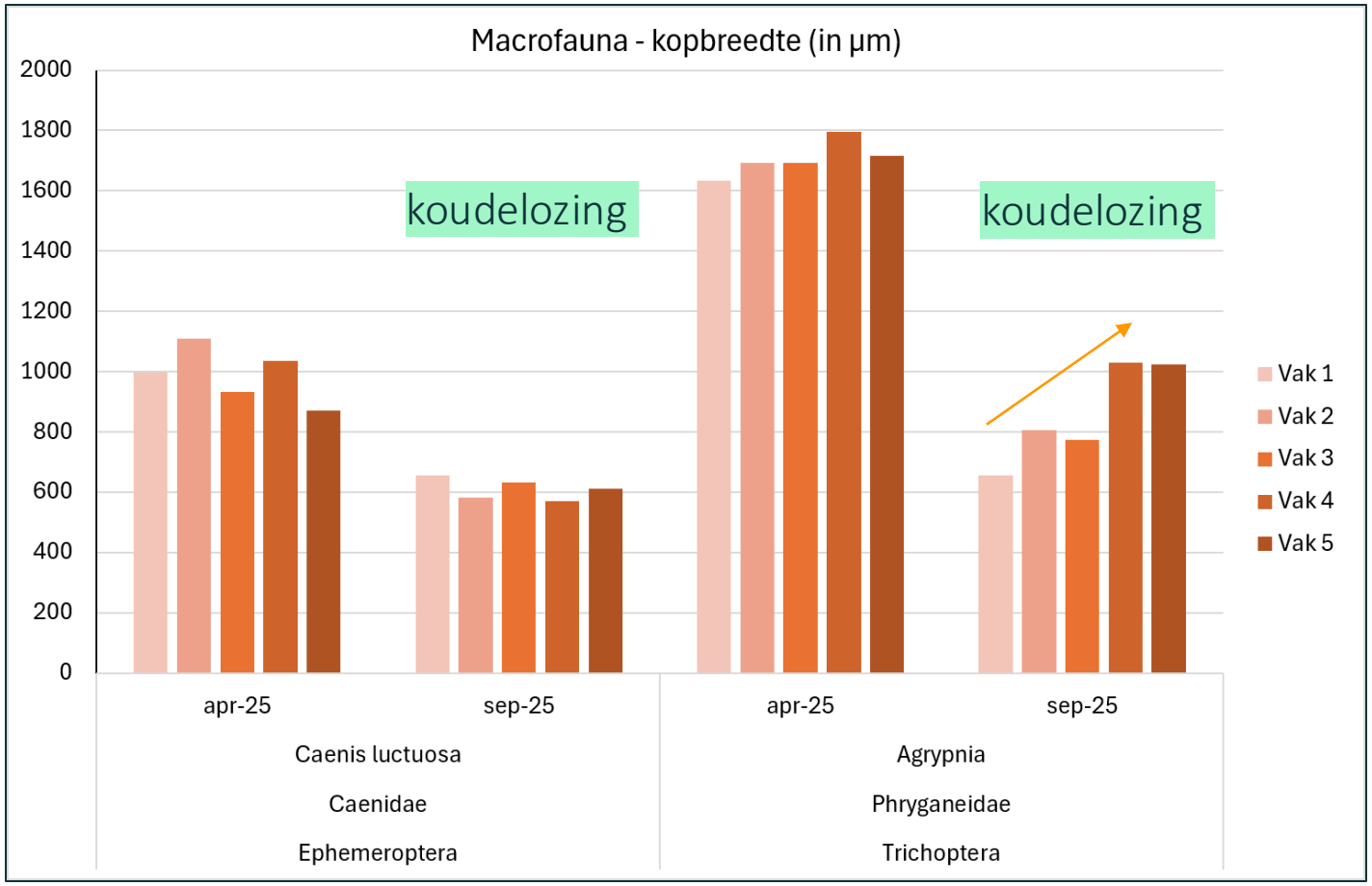




Lantaarntje bij geul 28

- Wel verschillen tussen vakken
- Geen temperatuur effect
- Verschil in soortsamenstelling niet groter als vakken verder van elkaar liggen

Macrofauna (insecten en andere waterbeestjes)



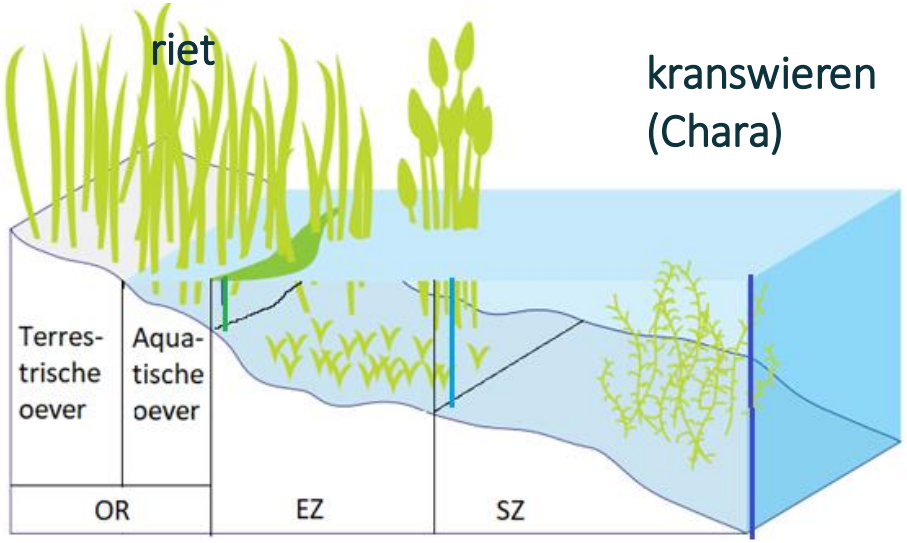


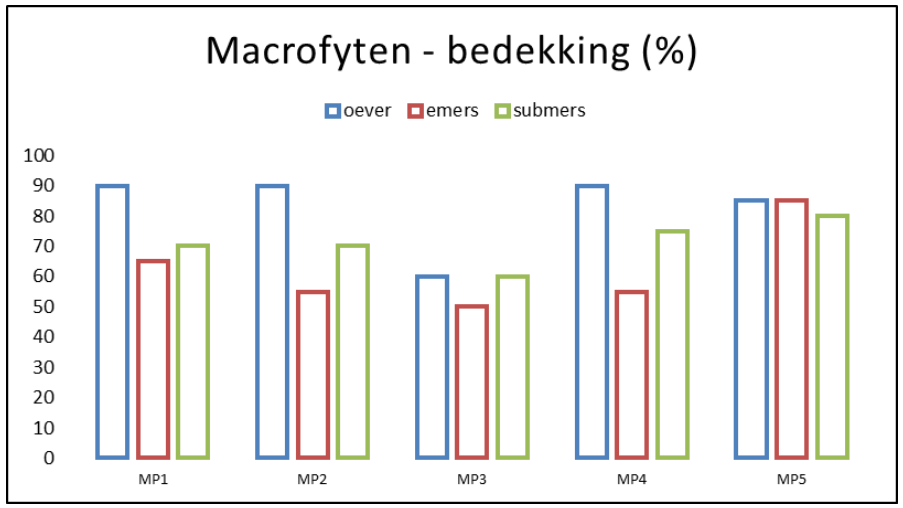


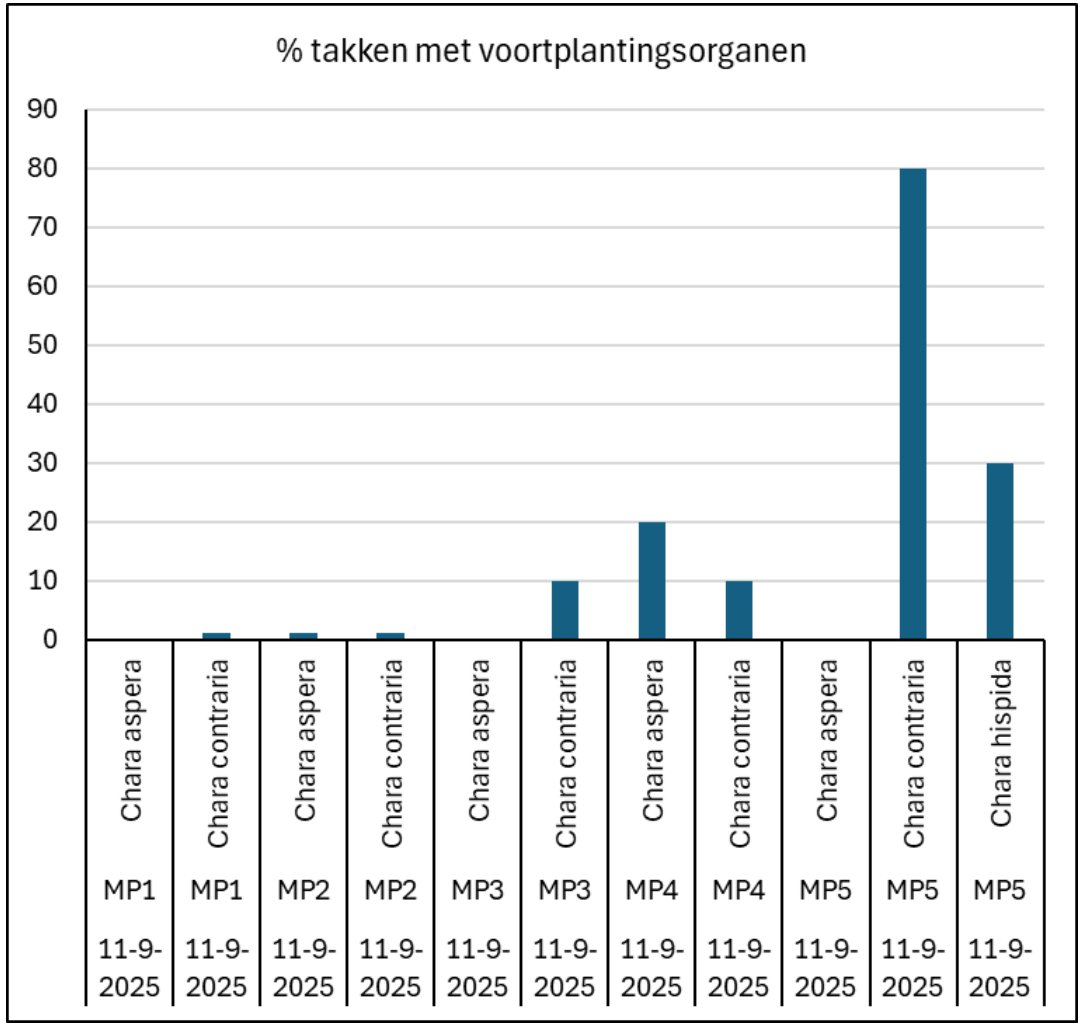
- Beide soorten kleiner in september
- Agrypnia duidelijk groter in warmer water, Caenis eerder kleiner

Classificatie: Intern

Water- en oeverplanten







Geen duidelijke verschillen tussen bedekking waterplanten,
Wel minder bloei van kranswieren in kouder water (trend)

Classificatie: Intern

Fyto- en zoöplankton

- Microscopisch kleine organismen
- Fytoplankton = plantaardig
- Zoöplankton = dierlijk





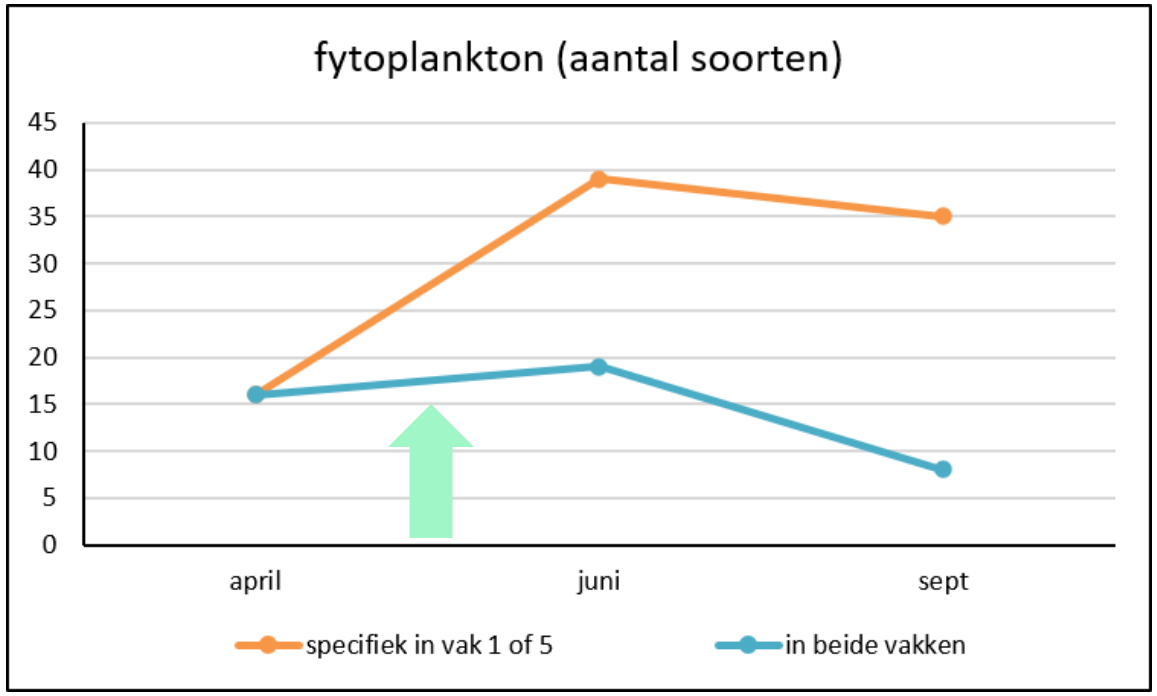
Closterium (sieralg) in geul 28

Classificatie: Intern

Fyto- en zoöplankton

- Meer fytoplankton in warme vak 5, afname in koude vak 1
- Aantal unieke soorten in vak 1 en 5 stijgt, minder gemeenschappelijk



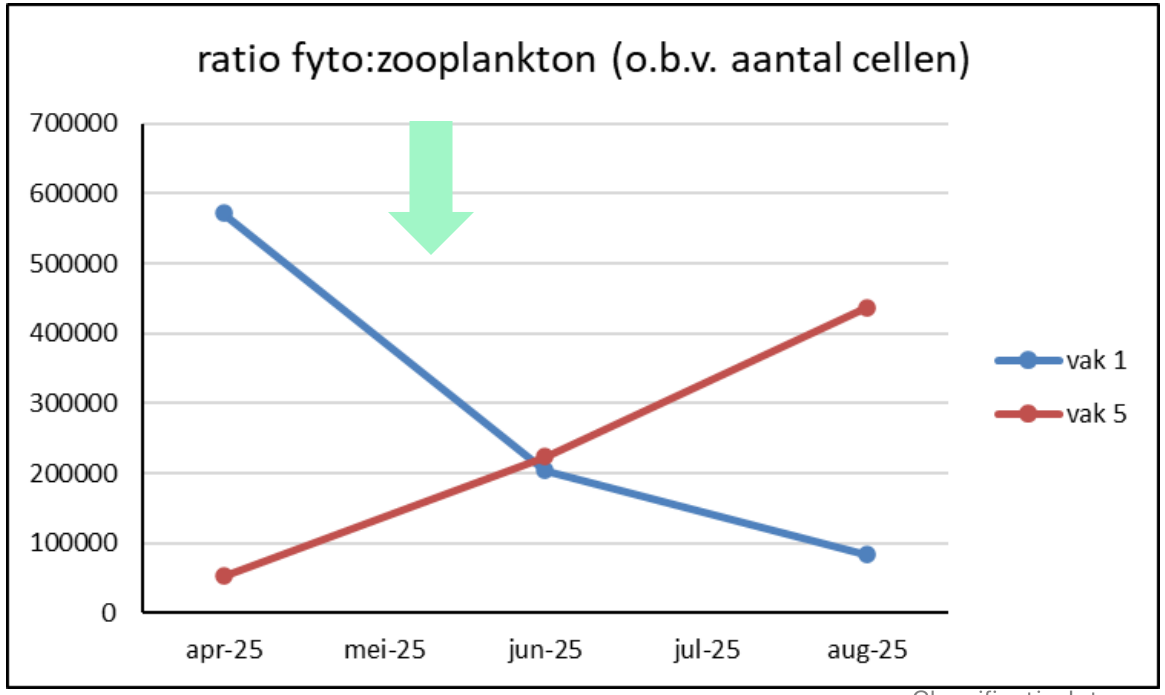


Classificatie: Intern

Fyto- en zoöplankton



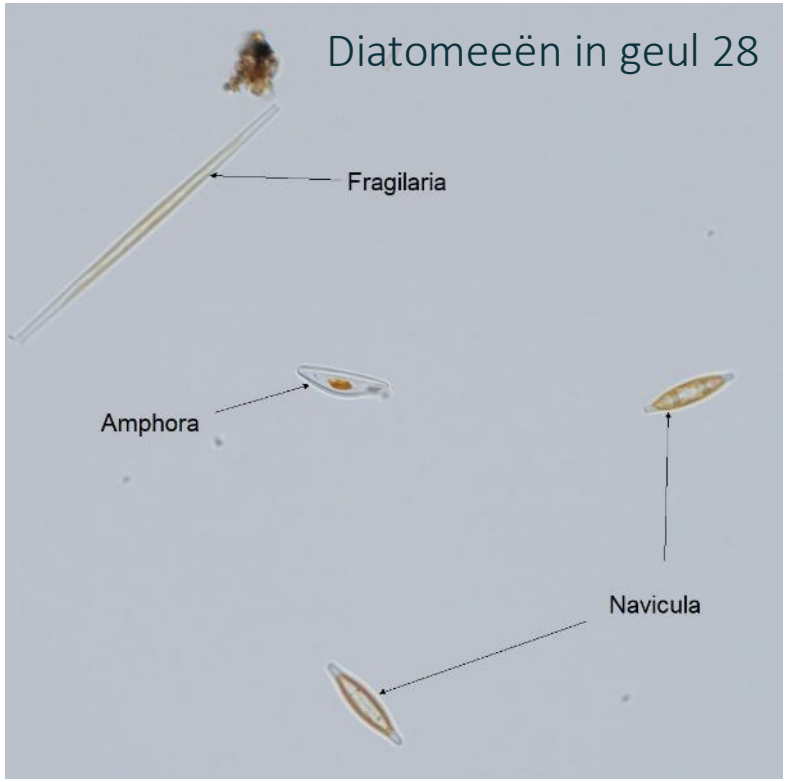
- Meer fytoplankton in warme vak 5, afname in koude vak 1
- Aantal unieke soorten in vak 1 en 5 stijgt, minder gemeenschappelijk
- Verhouding fyto:zoöplankton daalt in vak 1 en stijgt in vak 5
- Meer begrazing en/of minder groei van fytoplankton in koude vak 1

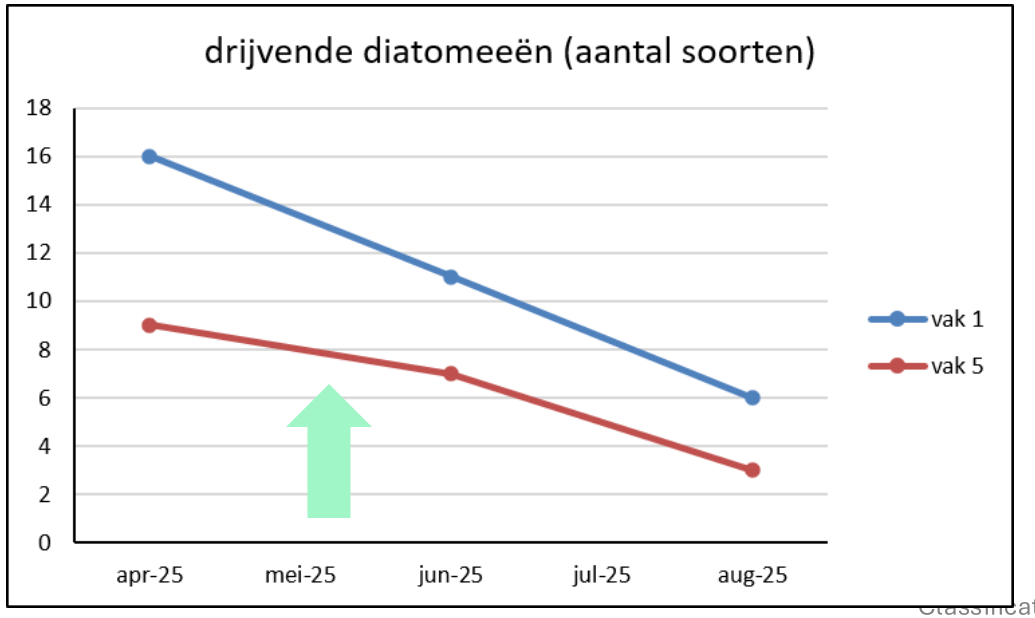


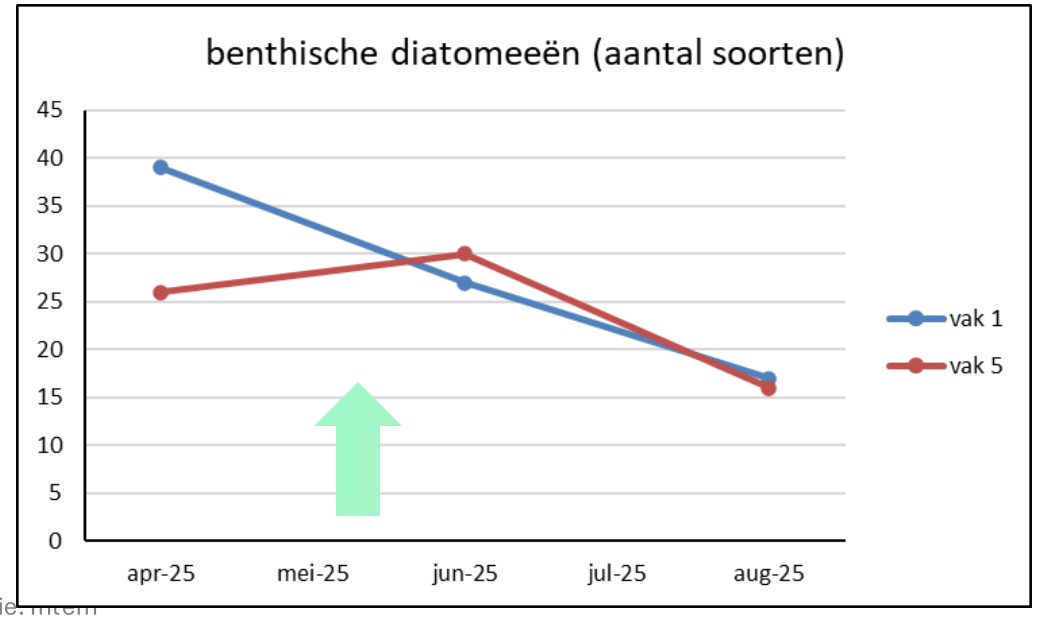
Classificatie: Intern

Diatomeeën (kiezelwieren)

- Het aantal soorten drijvende en benthische diatomeeën neemt zowel in vak 1 als vak 5 af in de tijd
- In vak 1 komen op alle data meer soorten drijvende diatomeeën voor dan in vak 5







Classificatie: Intern

Conclusies

- Temperatuurgradiënt gerealiseerd na extreme afkoeling
- Minder algen(bloei) en kalkneerslag in kouder water: positief voor infiltratie
- Geen duidelijke positieve of negatieve effecten op de ecologie:
  - Wel verschuivingen in soorten, maar geen lagere biodiversiteit
  - Tragere ontwikkeling macrofauna niet eenduidig
  - Ecologische Kwaliteitsratio vergelijkbaar, maar meer data nodig

- Eerder positieve dan negatieve effecten verwacht
- Effecten door T-gradiënt of (ook) door andere factoren?
- Voorzichtig zijn met resultaten na 1 jaar monitoring

Classificatie: Intern

Vragen?



Classificatie: Intern

KWR

Groningenhaven 7
3433 PE Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

@KWR_Water KWR KWR_Water



Jeroen Geurts
Jeroen.Geurts@kwrwater.nl

Sharon Clevers
Sharon.Clevers@kwrwater.nl



Innovatieve herkenning en vaststelling van mortaliteit van fyto- en zoöplankton

Sven Teurlincx

Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)

Met medewerking van:

Steven Declerck, Stylianos Mavrianos,
Kathrin Otte, Jasper Stroom

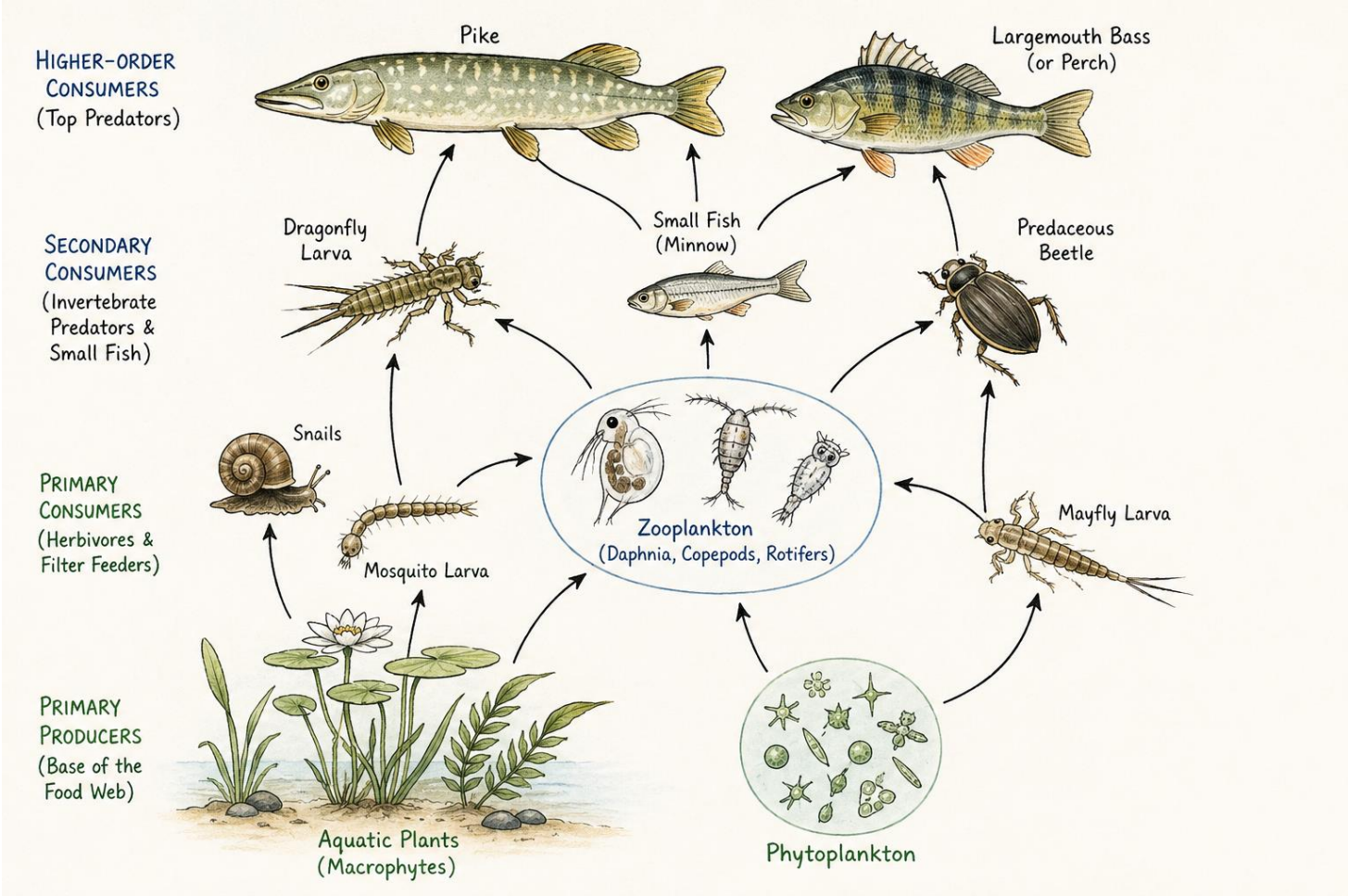
NIOO
NETHERLANDS INSTITUTE OF ECOLOGY (NIOO-KNAW)

Classificatie: Intern

Het aquatische voedselweb

- Focus op plankton
  - Fytoplankton (algen en blauwalgen)
  - **Zoöplankton**

- Verwachtte inname door TEO



Classificatie: Intern

Innovatieve herkenning en vaststelling van mortaliteit van fyto- en zoöplankton

- Vaststellen of:

- Organismen levend of dood door de verschillende onderdelen van een TEO installatie heen komen

- Hoeveel sterfte plaats vindt in de installatie voor verschillende soortgroepen

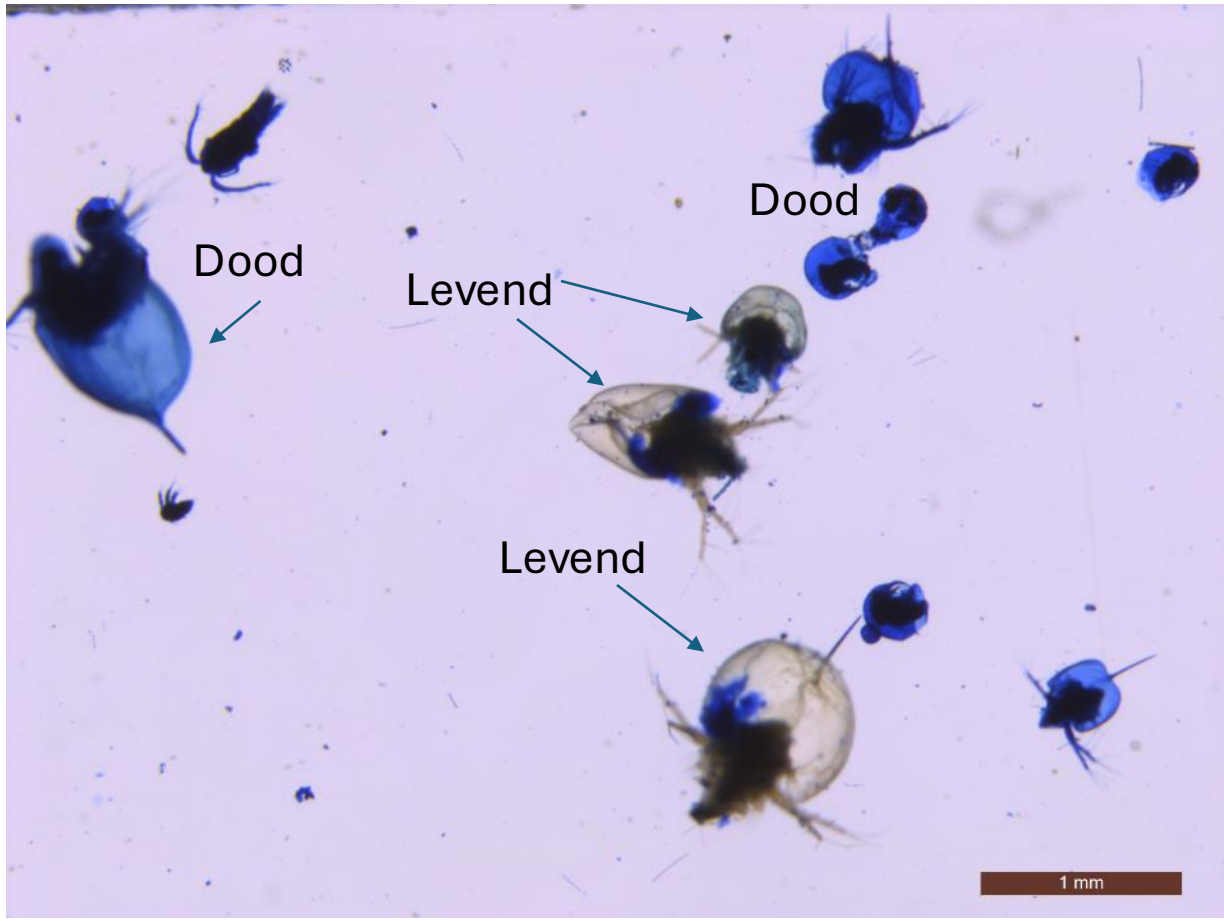
Classificatie: Intern

Dood of levend?

- Objectief vaststellen of een organisme nog leeft of dood is

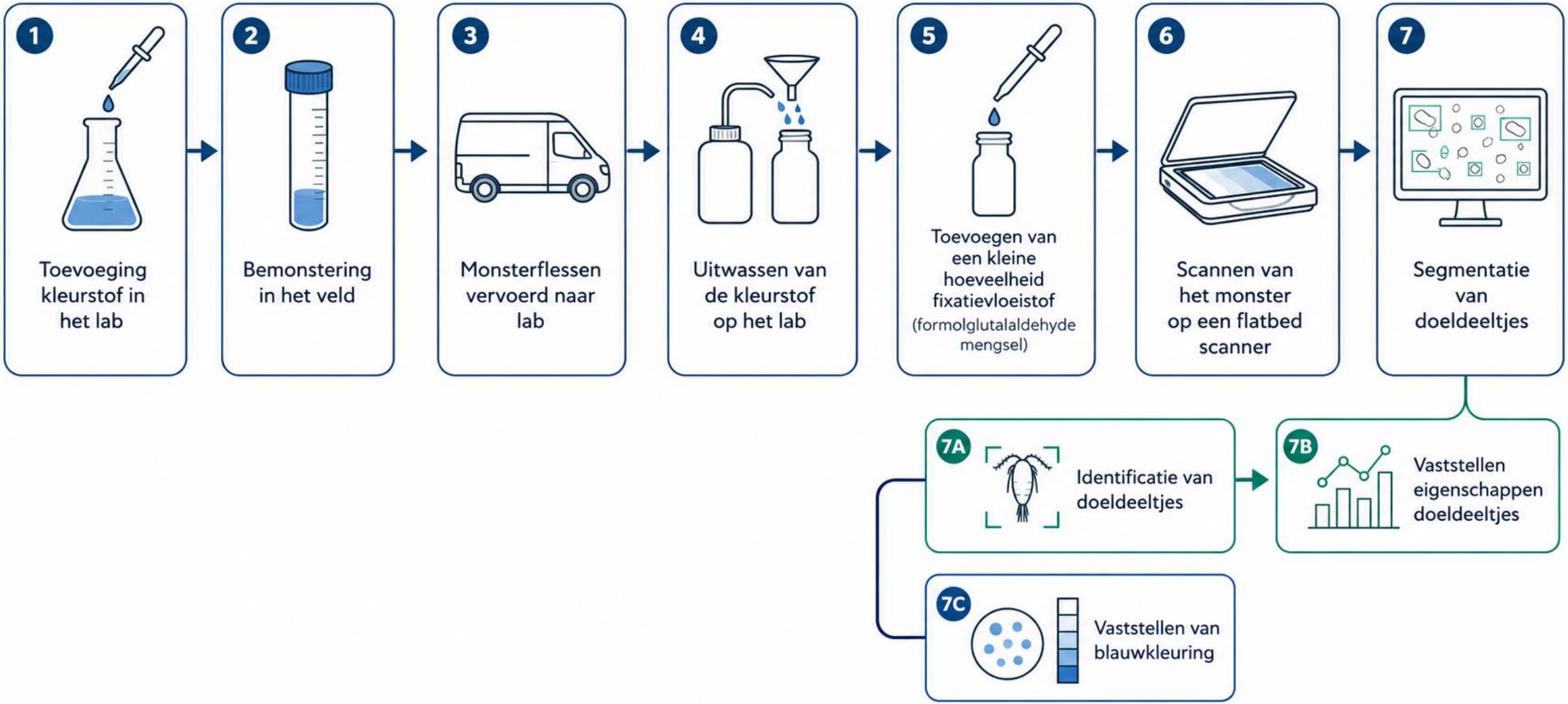
- Kleurstoffen
  - SytoxGreen (fytoplankton)
  - AnalineBlue (zooplankton)

- Stoffen dringen door de celmembranen als deze permeabel zijn (dood)

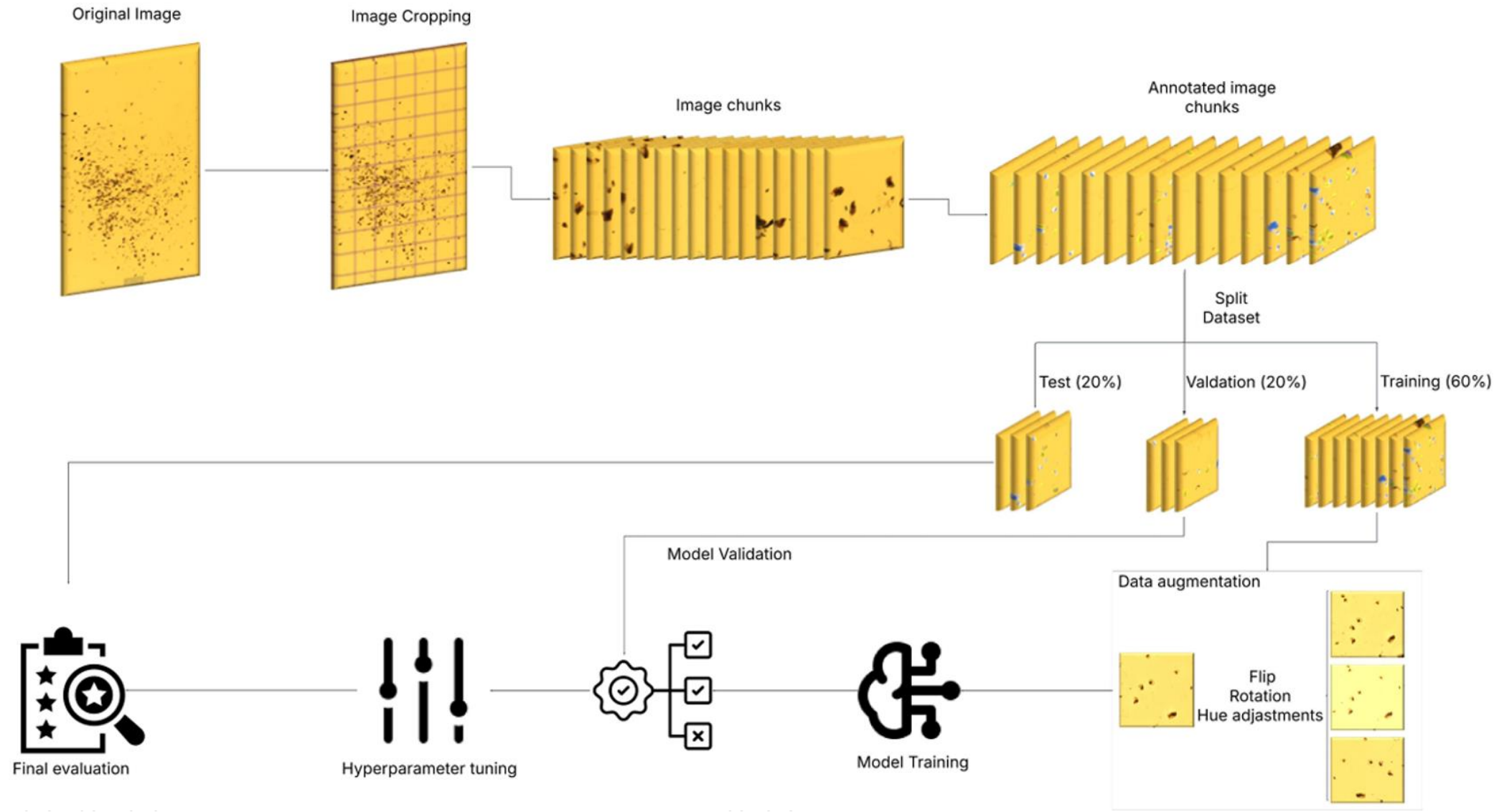


Classificatie: Intern

Stappenplan



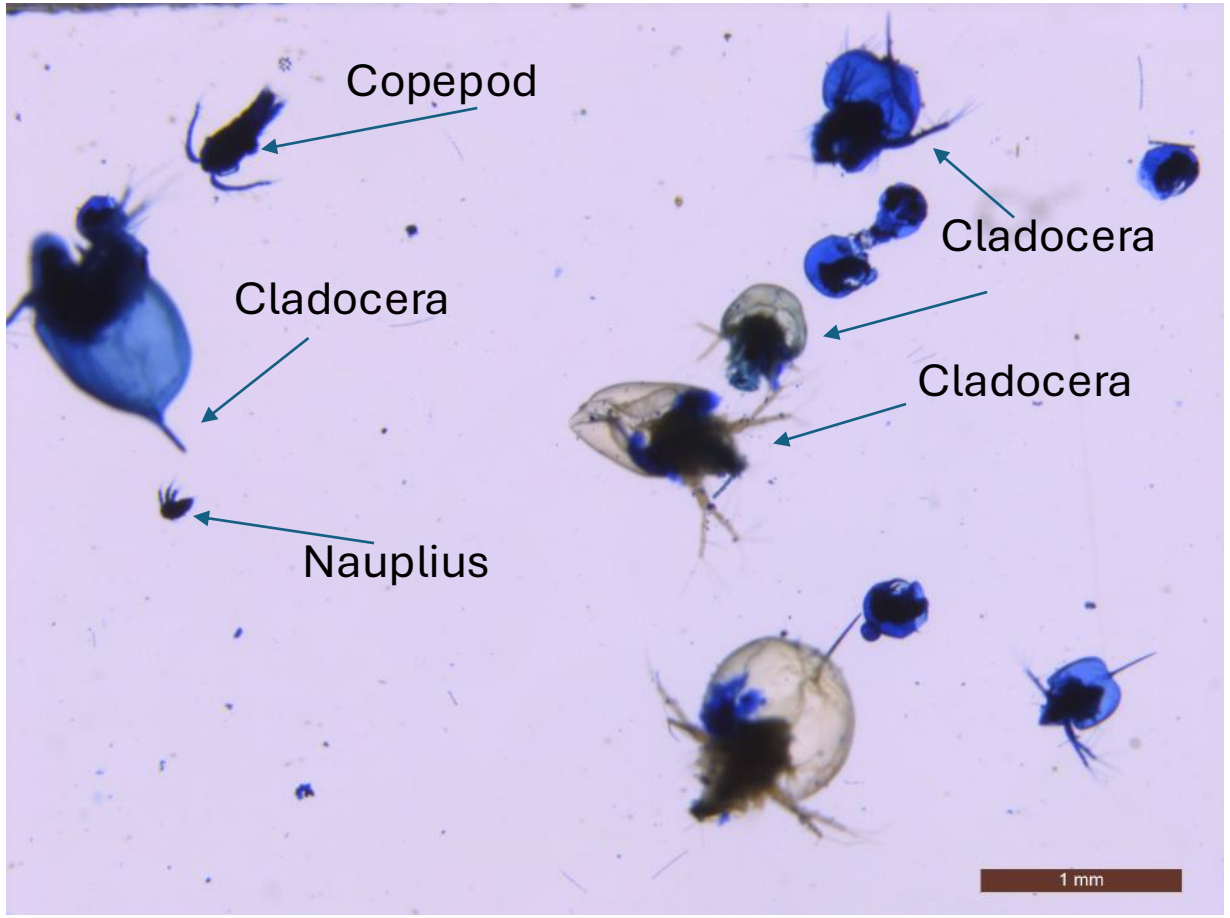
Vaststellen en herkennen van doeldeeltjes: pipeline



Classificatie: Intern

Vaststellen en identificatie van doeldeeltjes: training

- Getrained op handmatig geannoteerde en uitgeknipte beelden
- Aantal handmatig geïdentificeerde individuen: 4820
- Model training en test

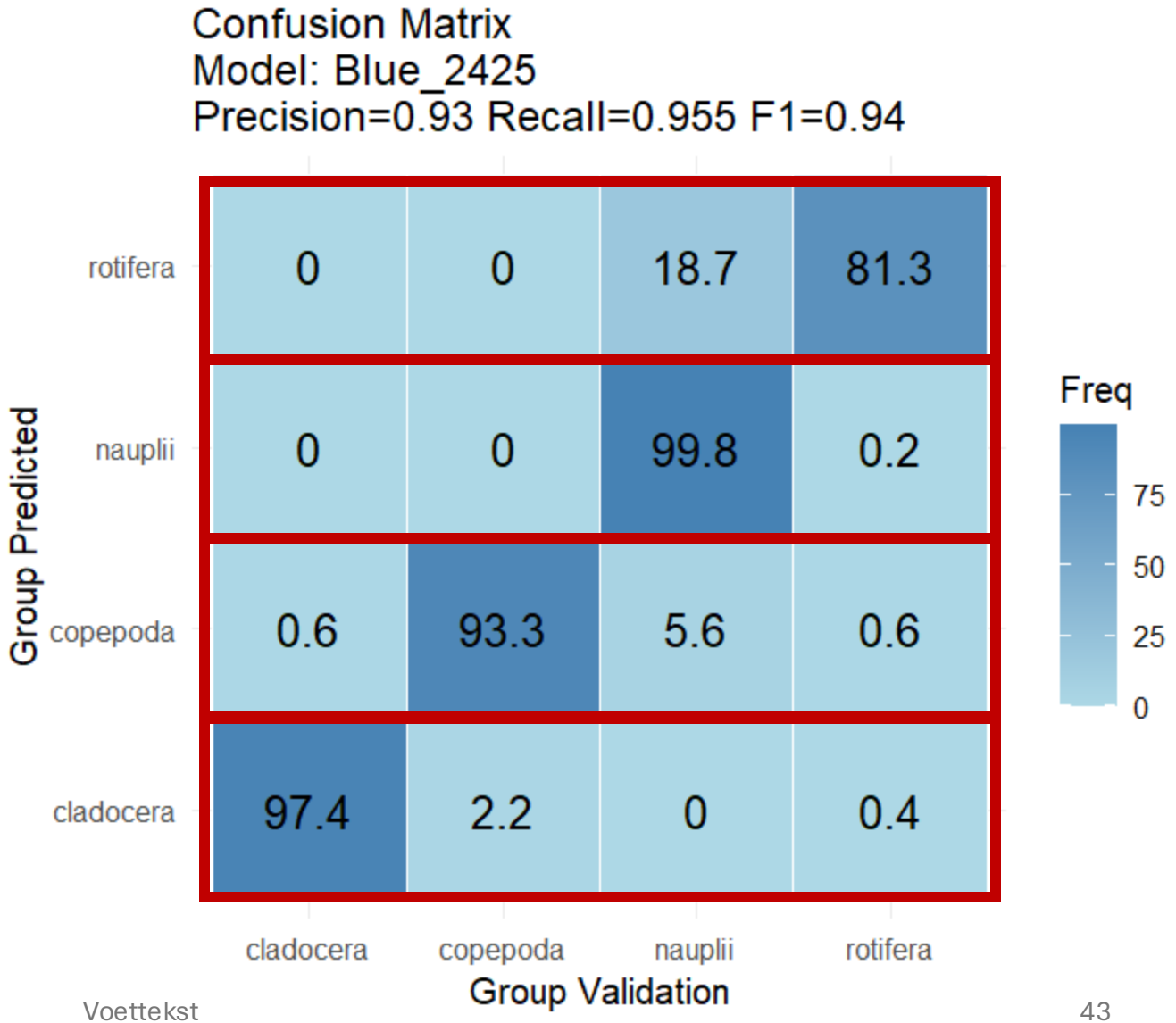


Mavrianos, S., van Santvoort, V., Teurlincx, S., Declerck, S. A., & Otte, K. A. (2025). DaphnAI: A Deep Learning Approach for High-Throughput Zooplankton Community Analysis. Hydrobiologia in press.

Mavrianos, S., Teurlincx, S., Declerck, S. A., & Otte, K. A. (2026). HiReS: A Method for Automated Morphometric Trait Extraction from High-Resolution Plankton Images. *bioRxiv*, 2026-04. In rev.

Herkennen van doeldeeltjes: Nauwkeurigheid

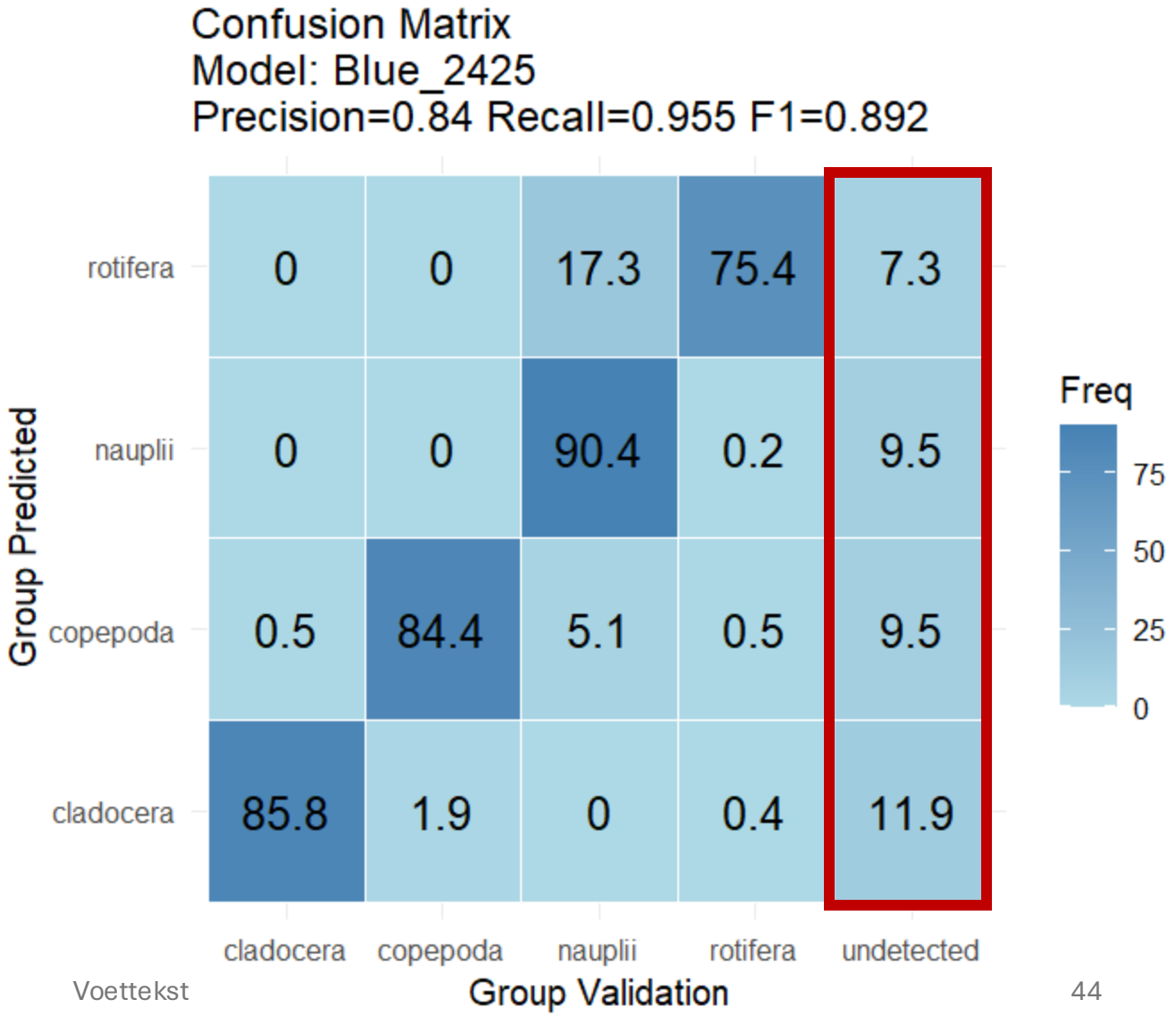
- Nauwkeurigheid op bepalen identiteit aan de hand van validatie
- Verschillend tussen groepen
- Nooit lager dan 81%
- Gemiddelde score: 94% nauwkeurig



Herkennen van doeldeeltjes: Ongedetecteerd

- Maar niet alle individuen worden gevonden als doeldeeltje;
- Gemiddeld: 9.6% ongedetecteerd

Model telt zooplankton en brengt op naam

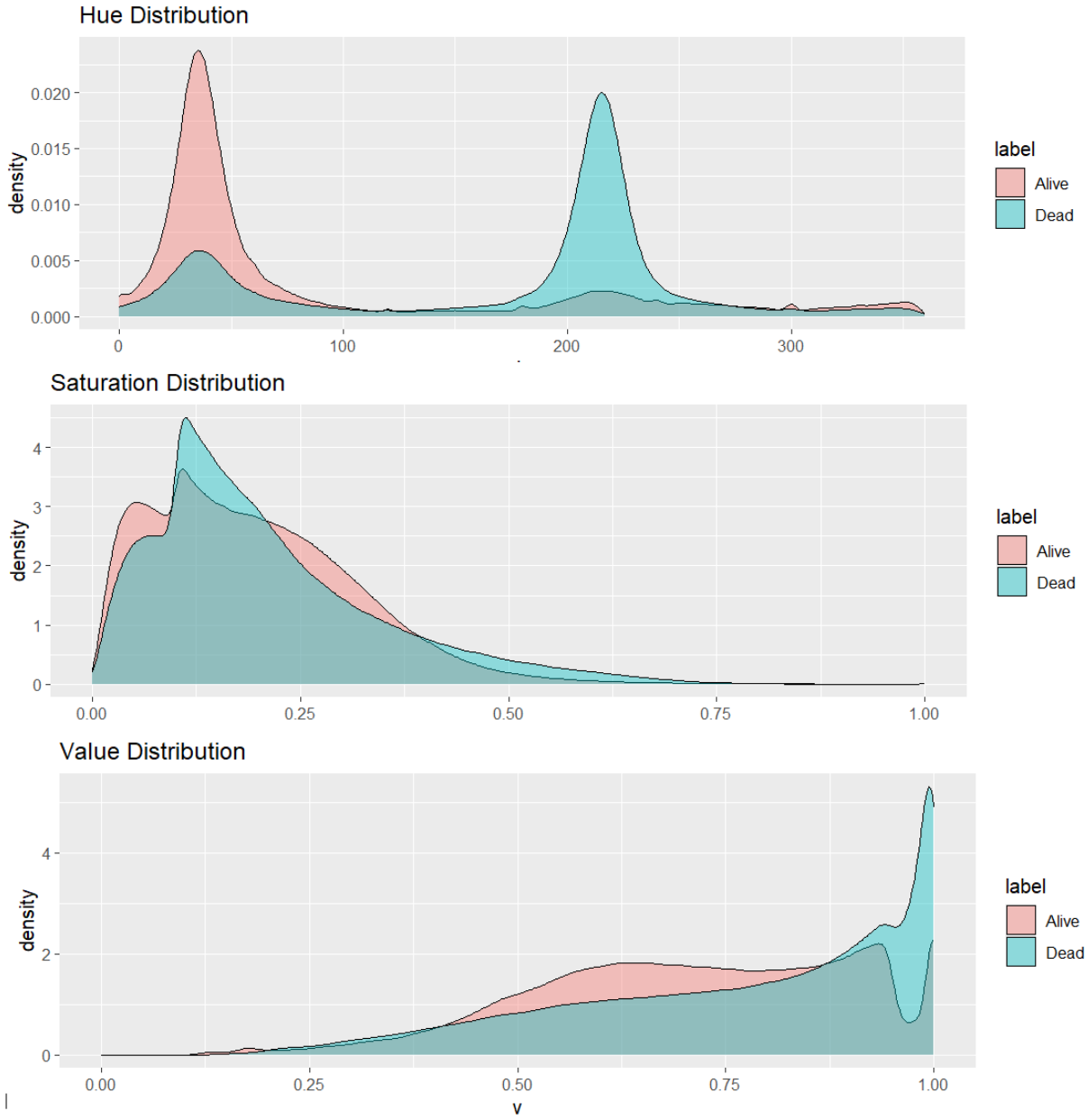


Vaststellen mortaliteit: kleuring van zoöplankton

- Kleurenspectra
  - Visueel verschillend

- Optimale ranges bepaald aan de hand van *Dynamic Evolution* optimalisatie algoritme

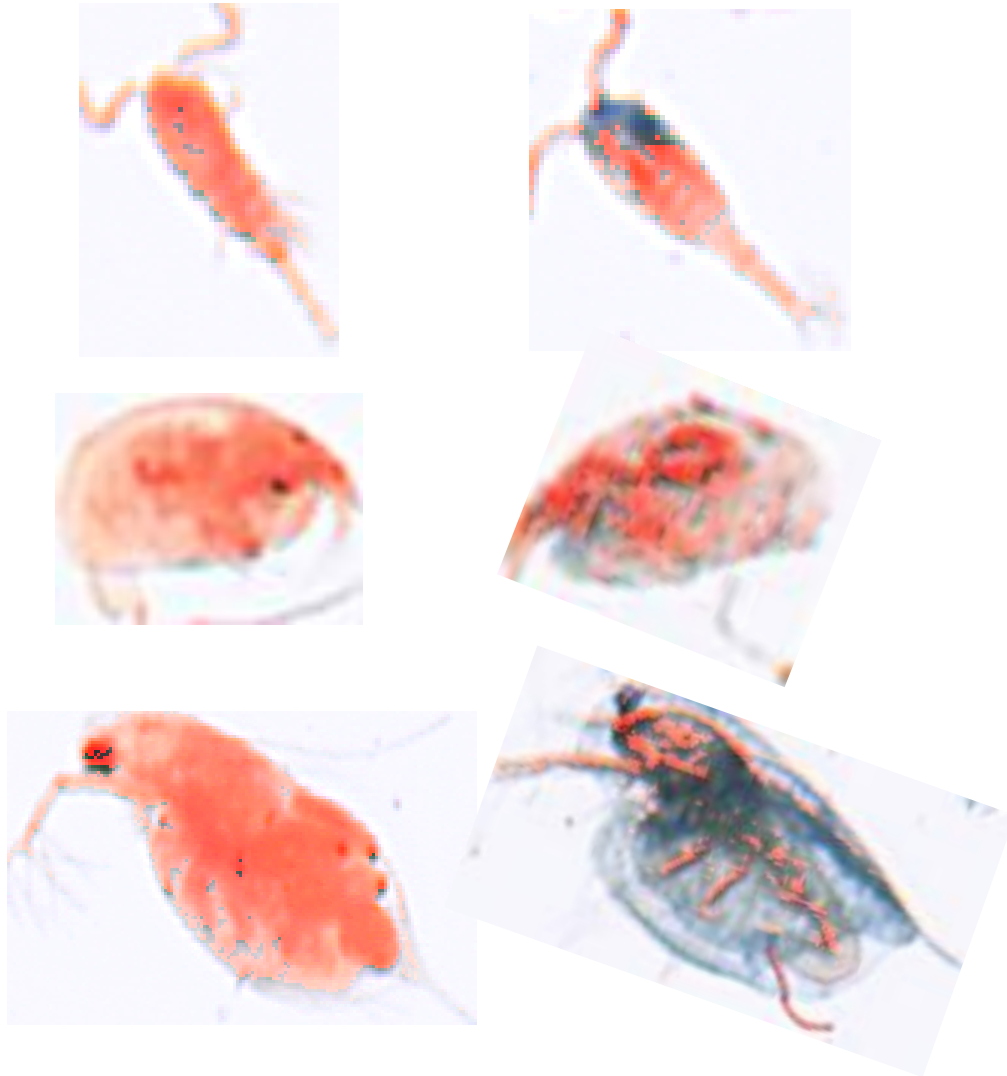
- **Score per pixel** in de dataset: (Specificity + Sensitivity)/2
  - Specificity: False positives
  - Sensitivity: True positives



Vaststellen mortaliteit: model voor kleuring

- Model: ~10% foutclassificaties (dood = levend of levend = dood)
  - *Random Forest* model OOB error: 9.38%

- Classificatie op organismeniveau:
  - *Verdeling*
  - *Vorm*
  - *Omvang*



Levend *Dood*

Classificatie: Intern

Modelontwikkeling

7



Segmentatie (stap 7)

Methoden voor het detecteren en segmenteren van alle deeltjes op gescande beelden.

7a



Doeldeeltjes modellen (stap 7a)

Modellen gericht op het detecteren en herkennen van specifieke doeldeeltjes (zoöplankton).

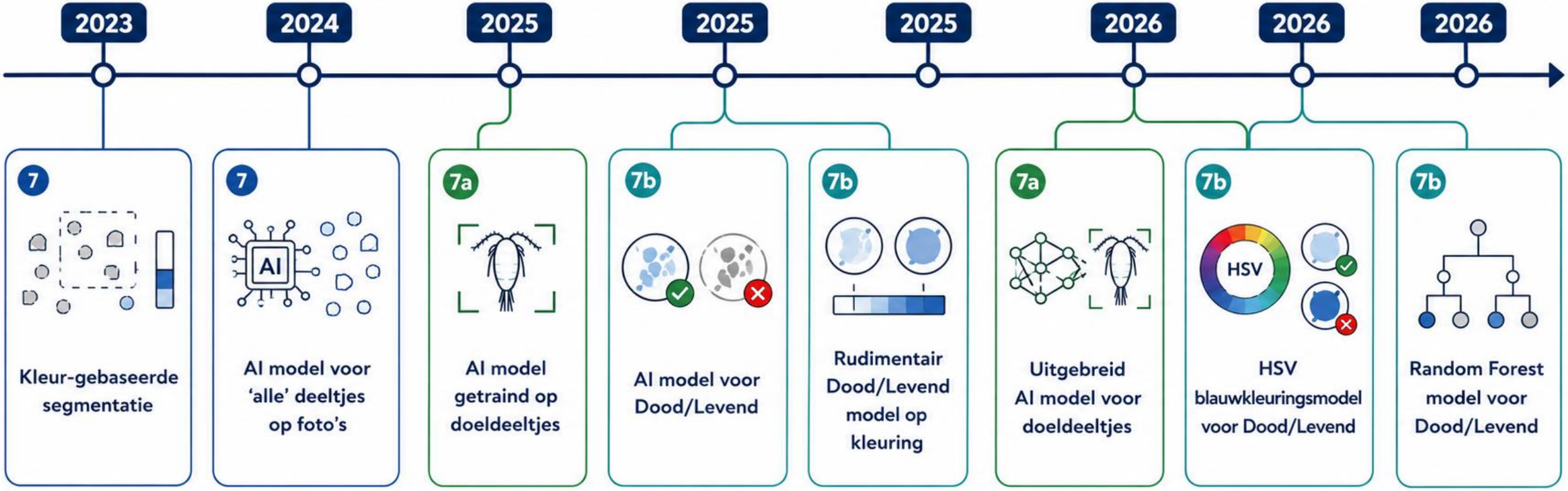
7b



Dood/Levend modellen (stap 7b)

Modellen voor het bepalen van de dood-leven status op basis van blauwkleuring.

Modelontwikkeling: samen leren



7 Segmentatie (stap 7)

Methoden voor het detecteren en segmenteren van alle deeltjes op gescande beelden.

7a Doeldeeltjes modellen (stap 7a)

Modellen gericht op het detecteren en herkennen van specifieke doeldeeltjes (zoöplankton).

7b Dood/Levend modellen (stap 7b)

Modellen voor het bepalen van de dood-leven status op basis van blauwkleuring.



waterschap
amstel, gooi
en vecht

Mortaliteit zoöplankton in TEO’s - Tussenresultaten onderzoek 2024 - 2026

Aquathermiedag 2026-11-12

jasper.stroom@agv.nl

Werkgroep:

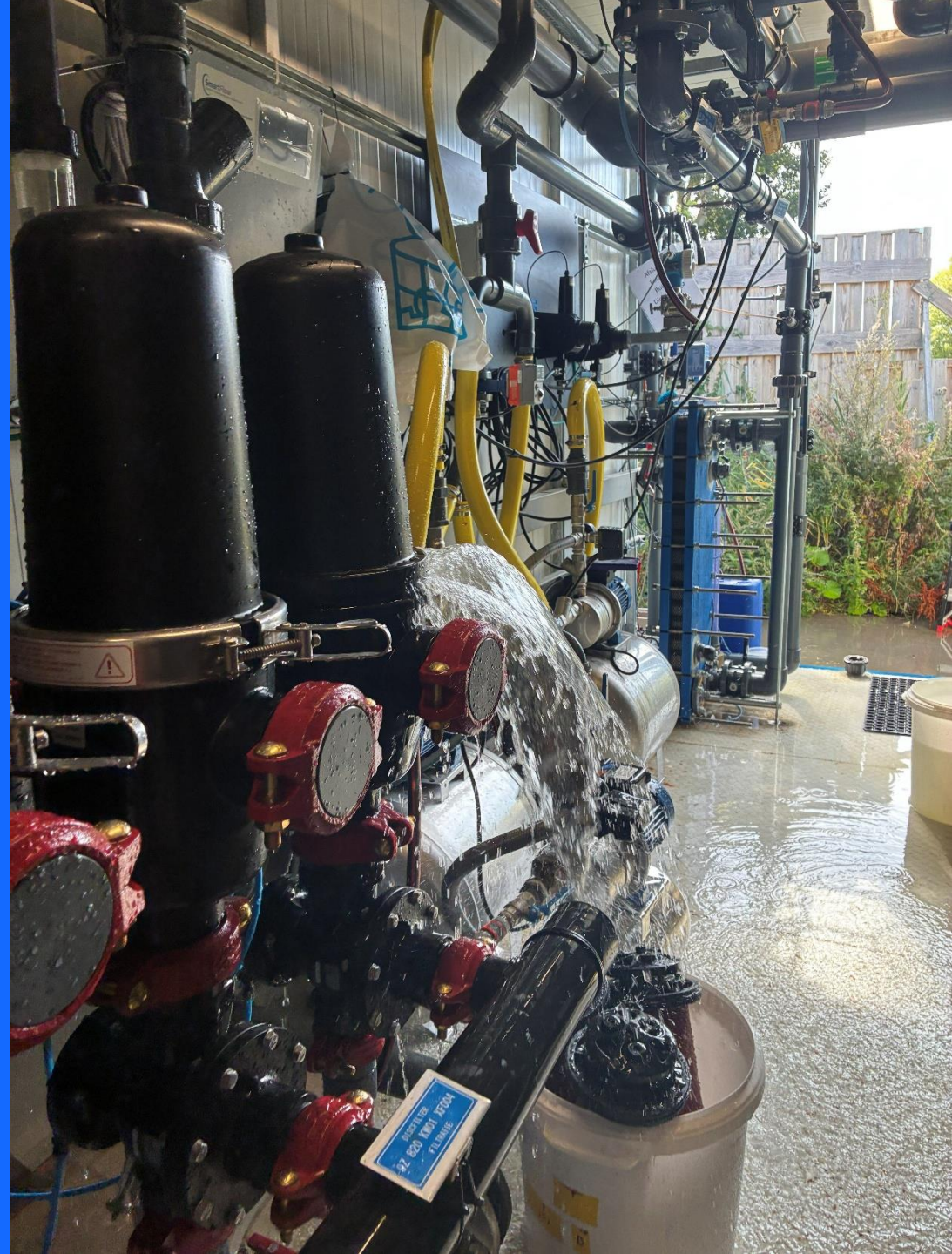
Sven Teurlincx (NIOO)

Simone van Dam (HHNK)

Marco Vaartjes (Rijnland)

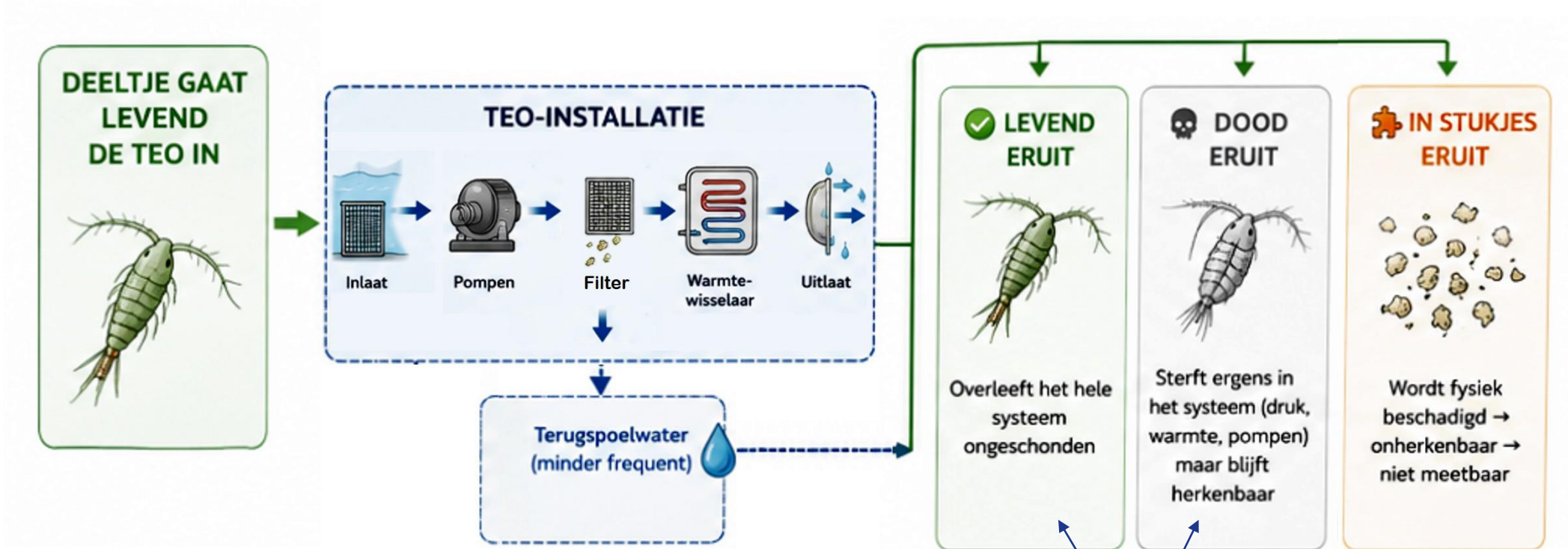
Laura Hesp (RWS)

waterschap amstel, gooi en vecht



hoofddoel van het onderzoek

- overleeft een klein levend deeltje een passage door een TEO?
- dood of levend?



in de meetdata

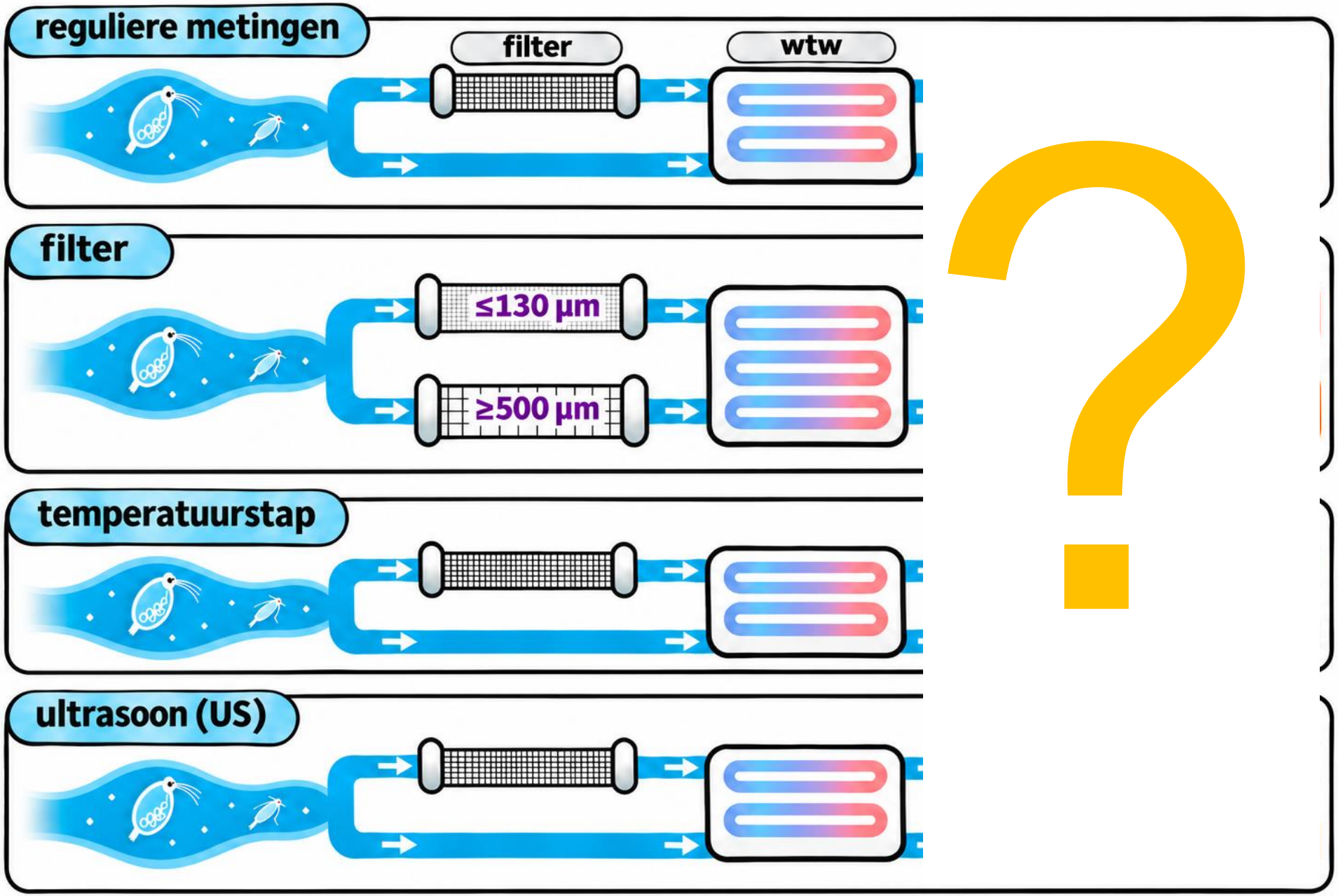
waterschap amstel, gooi en vecht

mortaliteit zoöplankton in TEO-installaties

conceptversie
2026-11-11

aanpak in een notendop

- reguliere metingen 2024 -2025
- specifieke tests 2026
  - filter
  - temperatuurstap
  - ultrasoon
- onvolledige data -> resultaten gaan nog wijzigen



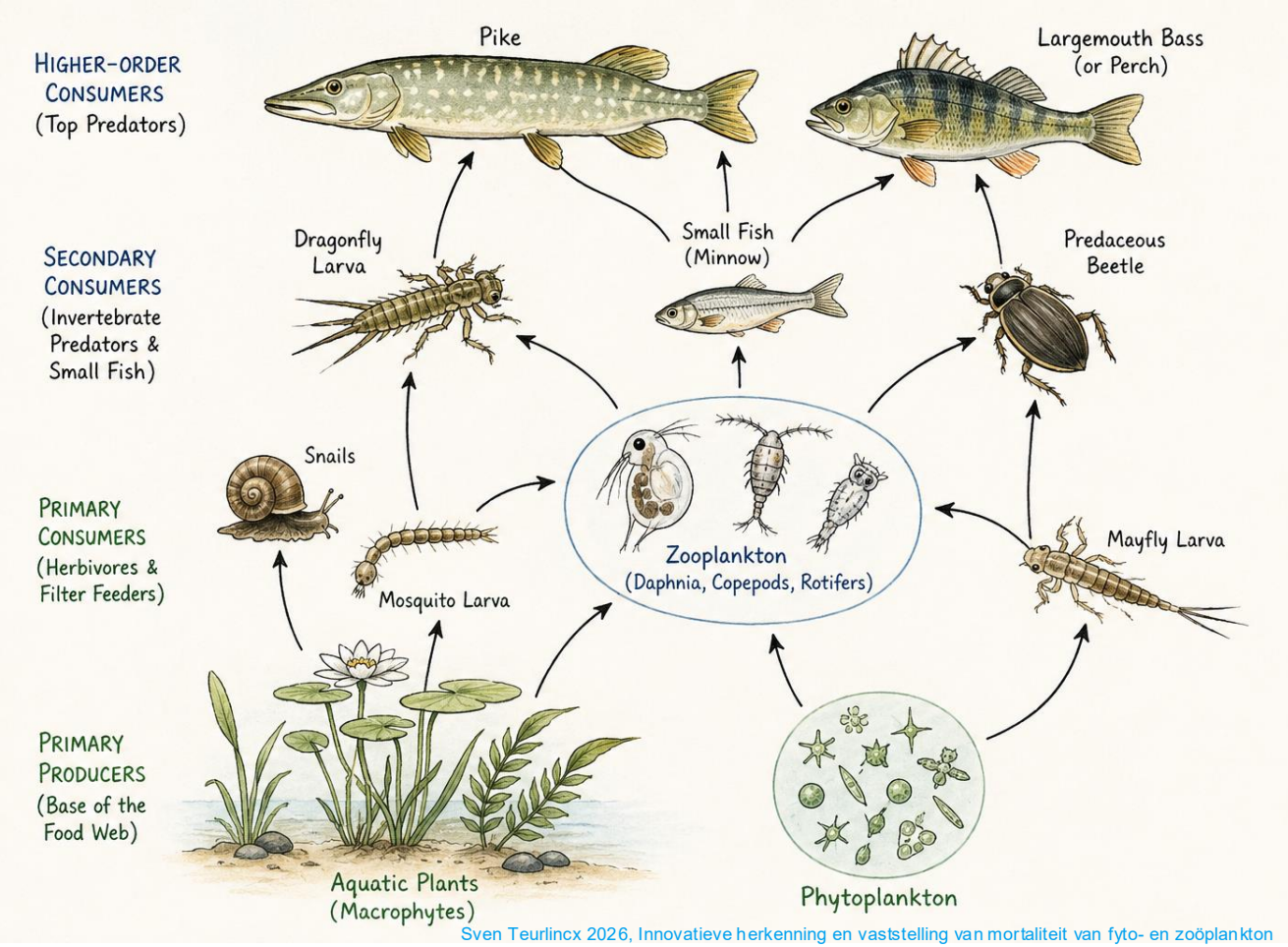
waterschap amstel, gooi en vecht

plankton

- **fytoplankton** (algen) en **zoöplankton** zijn cruciaal in een aquatisch ecosysteem en worden door de TEO opgezogen
- fytoplankton: weinig schade, zie ‘Tussenrapport 2024 – 2025’* en Stowa-eindrapport (2027)
- **zoöplankton**: deze presentatie

naam	Latijn	voedselvoorkeur	lengte (mm)
watervlo	*Cladocera / Diplostraca*	alg, detritus, bacterie	0.2 – 6
roeipootkreeft	*Copepoda*	omnivoor (alg, zooplankton, etc.)	1 – 2
nauplius	*Nauplii*	alg	0.1 – 0.5
raderdier	*Rotifera*	alg, detritus, bacterie	0.1 – 0.5

- **watervlo**, per individu:
  - grootste grazer (van algen)
  - grootste voedselbron (voor vis)



Sven Teurlincx 2026, Innovatieve herkenning en vaststelling van mortaliteit van fyto- en zoöplankton

waterschap amstel, gooi en vecht

* Stroom, Jasper, and S. Teurlincx. *Dood of levend? Mortaliteit van plankton bij de passage door een TEO-installatie; Tussenrapport 2024 - 2025*. Waterschap Amstel, Gooi en Vecht, 2026.

de TEO's









locatie	gemeten debiet (m^3/u)	capaciteit (m^3/u)	ratio debiet / capaciteit (%)	type voorfilter	filtermaat (µm)
Broekpolder	23	35	**66**	Bernoulli	**150 - 200**
Centrumeiland	111	350	**32**	disc	**50**
Mariastichting	23	50	**46**	gaas	**300**
Sloterplas A	12	15	**80**	Bernoulli	**130, 200 en 1000**
Sloterplas B	12	15	**80**	-	**-**
Sloterplas C	12	15	**80**	disc	**20**
Sloterplas D	12	15	**80**	Flexbed	**35% compressie**

- m.n. Centrumeiland (32 %) en Mariastichting (46 %) onderbelast
- filterrange 20 – 1000 µm

waterschap amstel, gooi en vecht

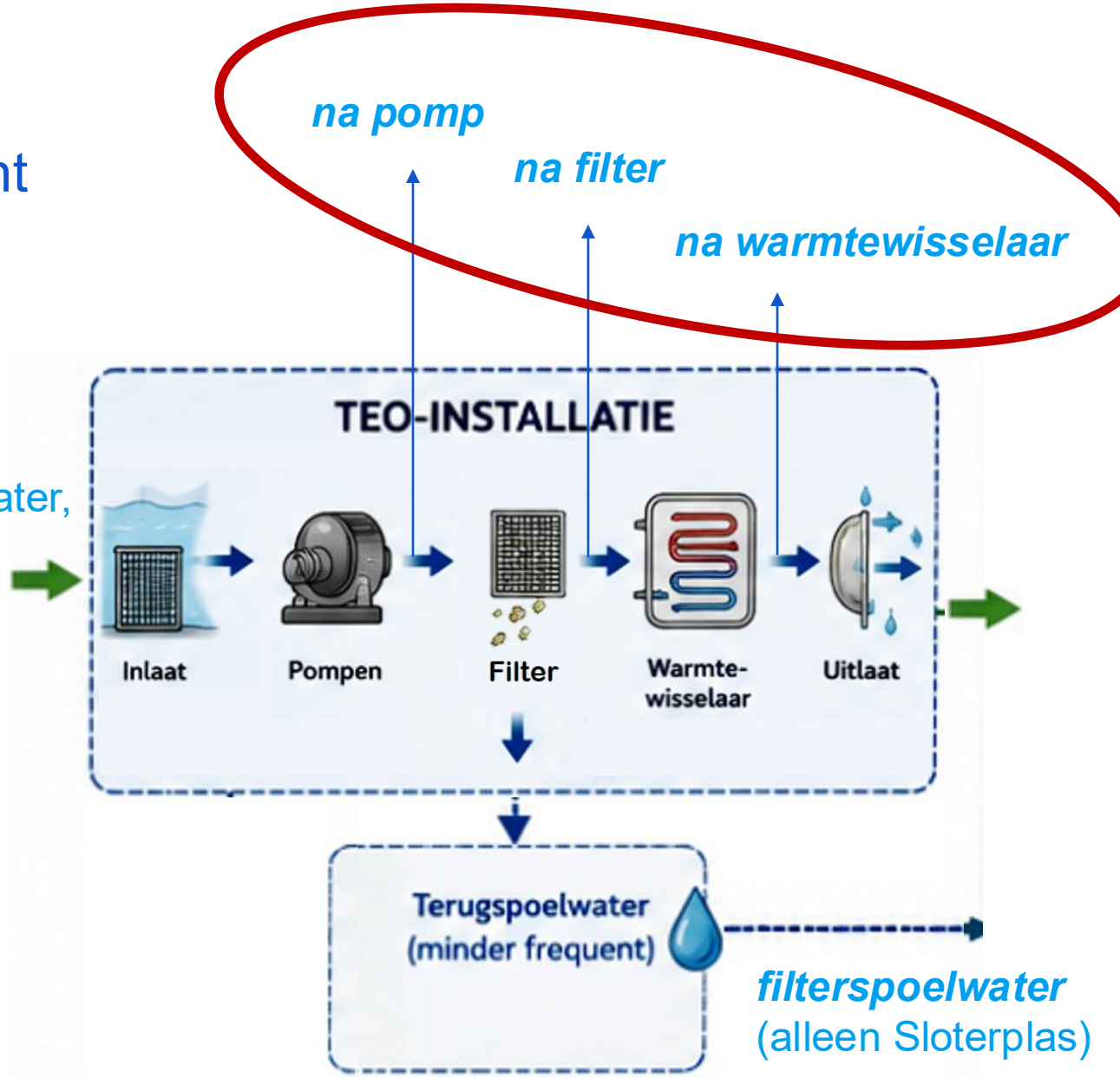
monitoring

- dood of levend
- monitoringslocaties per TEO-component





voor TEO (in oppervlaktewater, voor de aanzuigkorf)

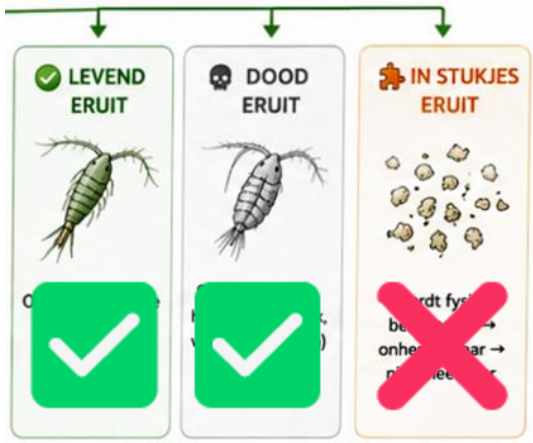


filterspoelwater (alleen Sloterplas)

waterschap amstel, gooi en vecht

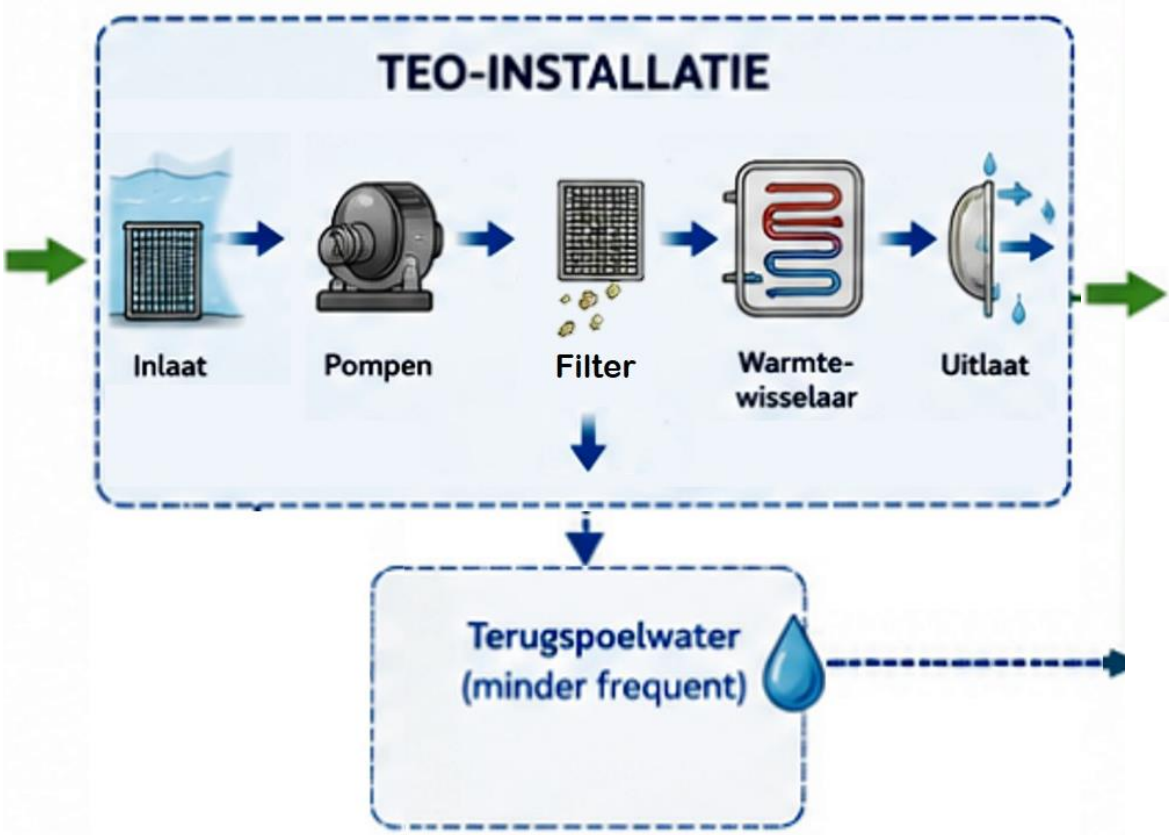
totale mortaliteit

- *levend zooplankton* per component (individuen per liter)



(wel / niet in dataset)

- 100 levende deeltjes erin, 80 levend eruit = 20% mortaliteit
- elk taxon weegt 25% in de totale mortaliteit



waterschap amstel, gooi en vecht

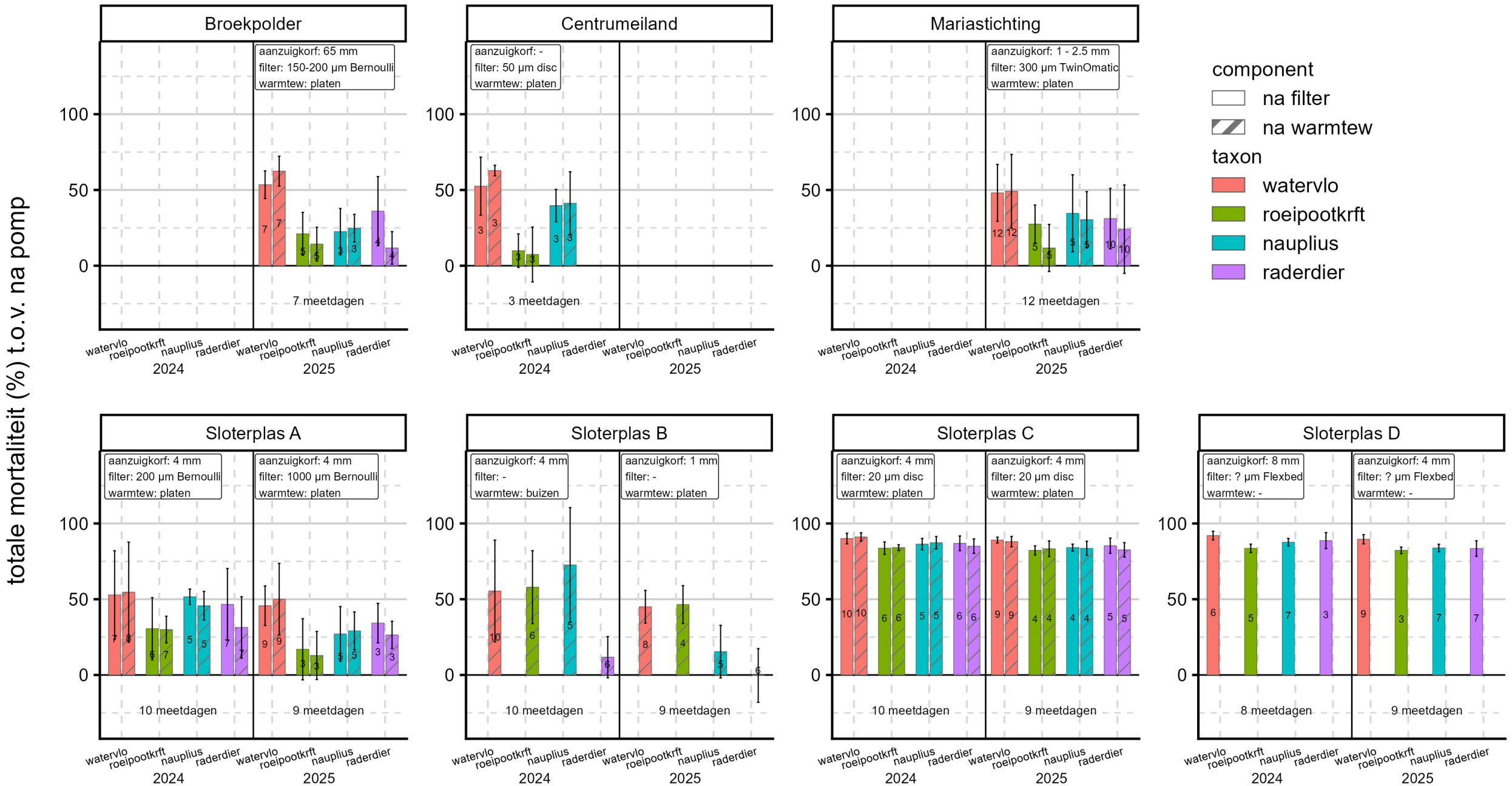
mortaliteit reguliere metingen

- resultaten
- nog geen data 2026

waterschap
amstel, gooi
en vecht

zoöplankton - mortaliteit o.b.v. abundantie - per taxon - alleen levend - 2024 en 2025

deeltjesmodel: 2024-2025 - DoA-methode: blue.3 - drempelwaarde (deeltjes/taxon): 20 - getal in bar: aantal mortaliteitswaarden - foutbalken: ± SD tussen meetrondes



mortaliteit reguliere metingen

- zonder Sloterplas B, C en D
  - bij grote filtermaat
  - *na filter resp. warmtew*: 36 – 34 %
  - dode deeltjes zijn herkenbaar
- alleen Sloterplas B:
  - geen filter, wel sterfte
  - 38 %
- alleen Sloterplas C en D
  - 20 µm (Sloterplas C) -> 86 %
  - Flexbed (Sloterplas D) -> 86 %
  - grote fractie onherkenbaar beschadigd
- ps. de verdwenen deeltjes zitten niet in filterspoelwater

	2024		2025	
TEO	**na filter**	**na warmtew**	**na filter**	**na warmtew**
Broekpolder	-	-	33	28
Centrumeiland	34	37	-	-
Mariastichting	-	-	35	29
Sloterplas A	45	40	31	30
Sloterplas B	-	49	-	27
Sloterplas C	87	87	85	84
Sloterplas D	88	-	85	-

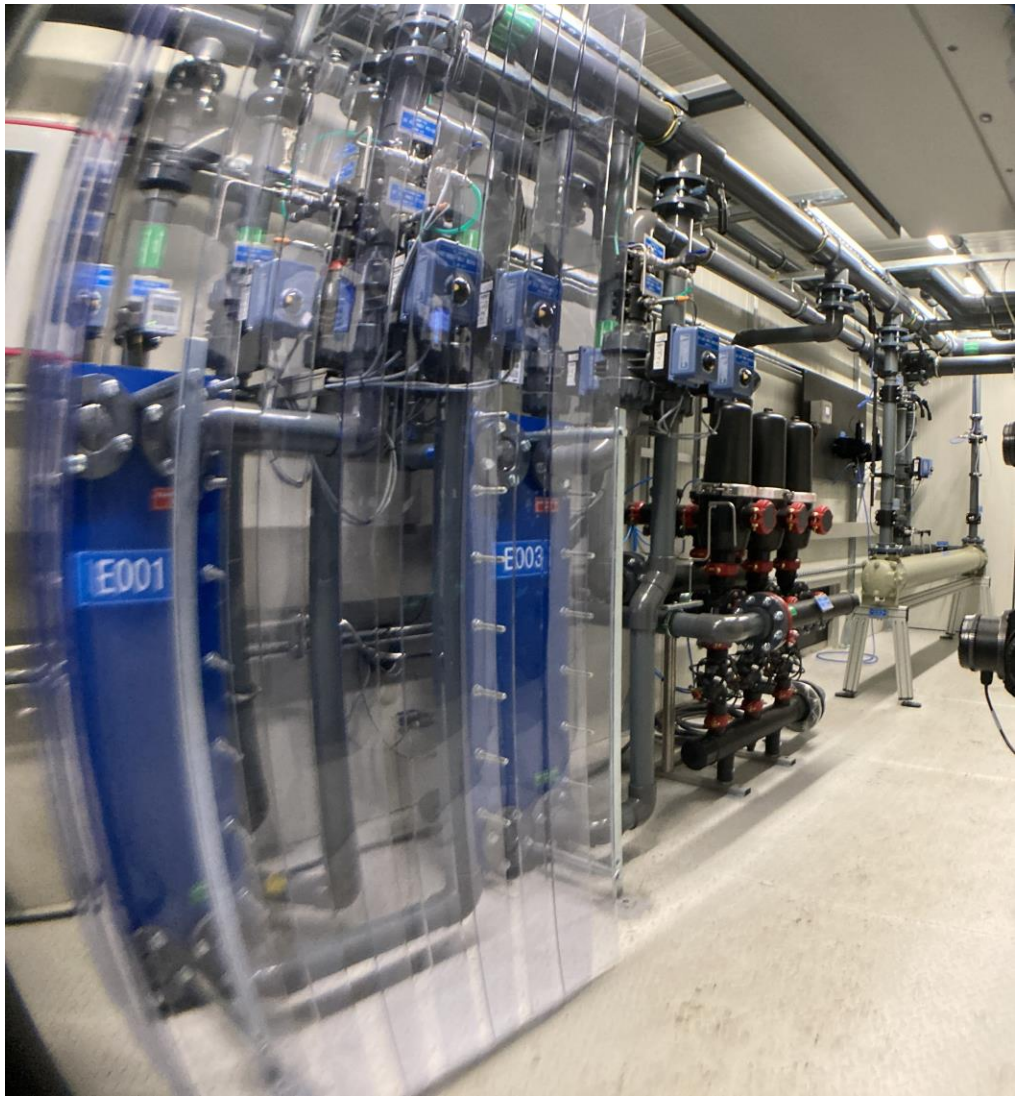
waterschap amstel, gooi en vecht

mortaliteit reguliere metingen

- proefinstallaties Sloterplas geven vergelijkbare resultaten t.o.v. commerciële installaties

- opmerkingen
  - Centrumeiland 50 µm niet hoog -> wellicht door lage hydraulische belasting?
  - als niet dood in voorfilter, dan alsnog in warmtewisselaar (Sloterplas B)
  - Flexbed (Sloterplas D) zonder harde onderdelen genereert ook hoge totale mortaliteit

- hogere mortaliteit watervlooien



waterschap amstel, gooi en vecht

aanpassingen 2026

- Sloterplas
  - 1 mm aanzuigkorf voor alle TEO’s
  - geen Flexbed (Sloterplas D)
  - warmtewisselaars
    - meer platen (13 -> 20), lagere snelheid
- reguliere metingen (alle locaties, lagere frequentie)
  - data volgt
- **tests**
  - **filters:** filtermaat (sleuf-/maaswijdte)
  - **temperatuurstap** in de warmtewisselaar
    - inc. Broekpolder en Mariastichting
  - **ultrasoon:** anti-aangroei
- onvolledige data -> resultaten gaan nog wijzigen

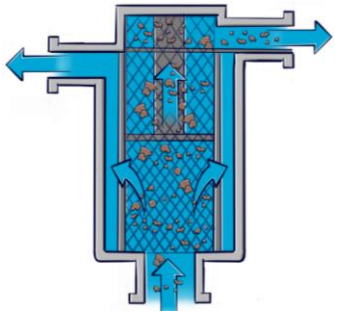


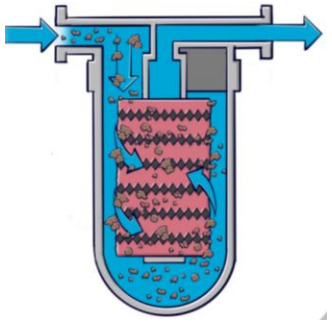


waterschap amstel, gooi en vecht

filters

- Sloterplas A
  - Bernoullifilter 130, 500 µm, en leeg filterhuis
  - kleiner niet verkrijgbaar
  - data van één replicaat
- Sloterplas C
  - discfilter 20, 75, 125, 500 µm, en leeg filterhuis
  - drie replicaten





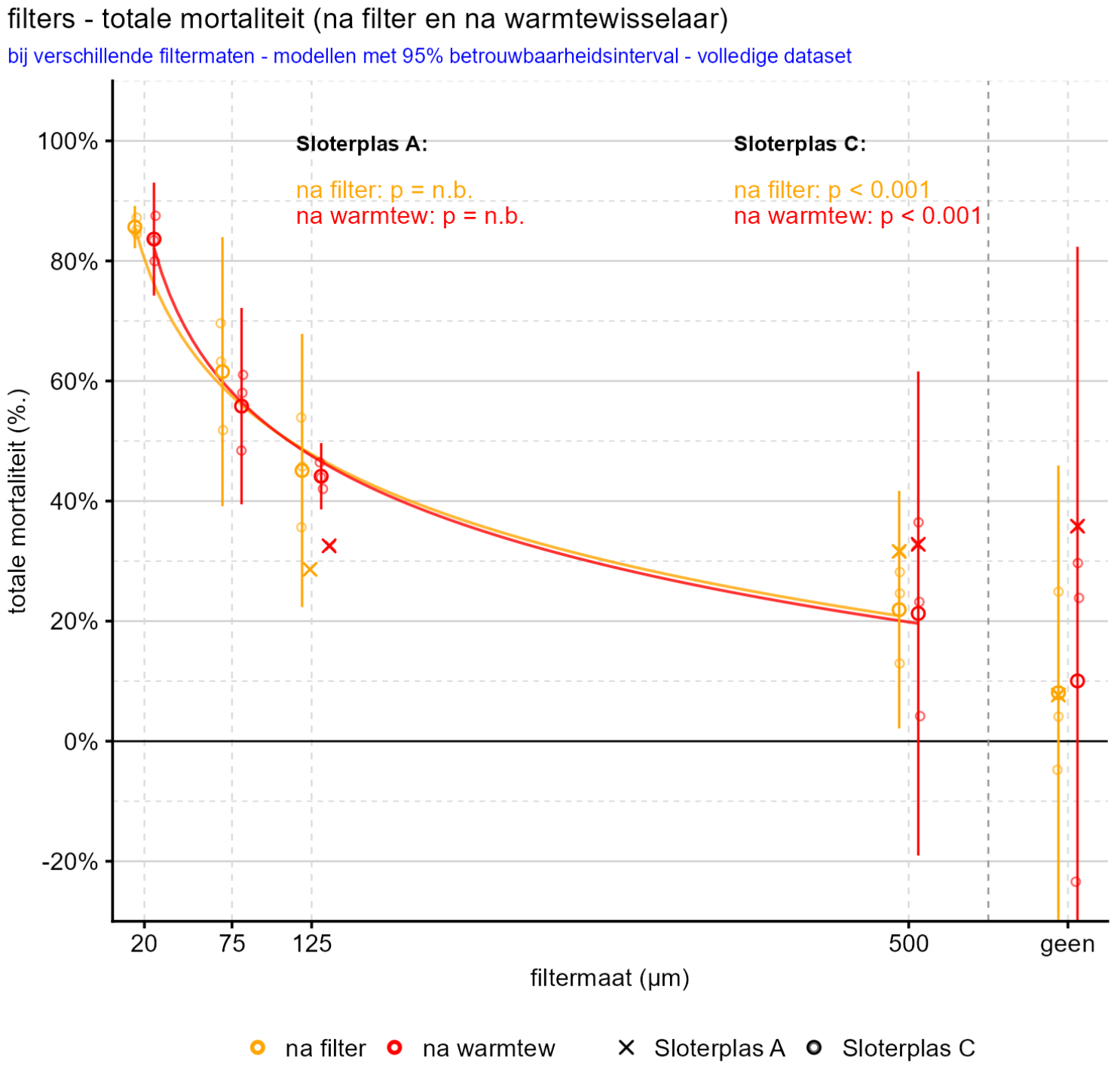




waterschap amstel, gooi en vecht

filters

- Sloterplas C (discfilter = o)
  - logaritmische afname (85 – 20 %) mortaliteit bij grotere filtermaat
- Sloterplas A (Bernoulli = x)
  - 130 en 500 µm -> mortaliteit ca. 32 %
- leeg filterhuis
  - forse spreiding in de data, m.n. van Sloterplas C
  - meer na warmtew (negatieve uitbijter C?)



waterschap amstel, gooi en vecht

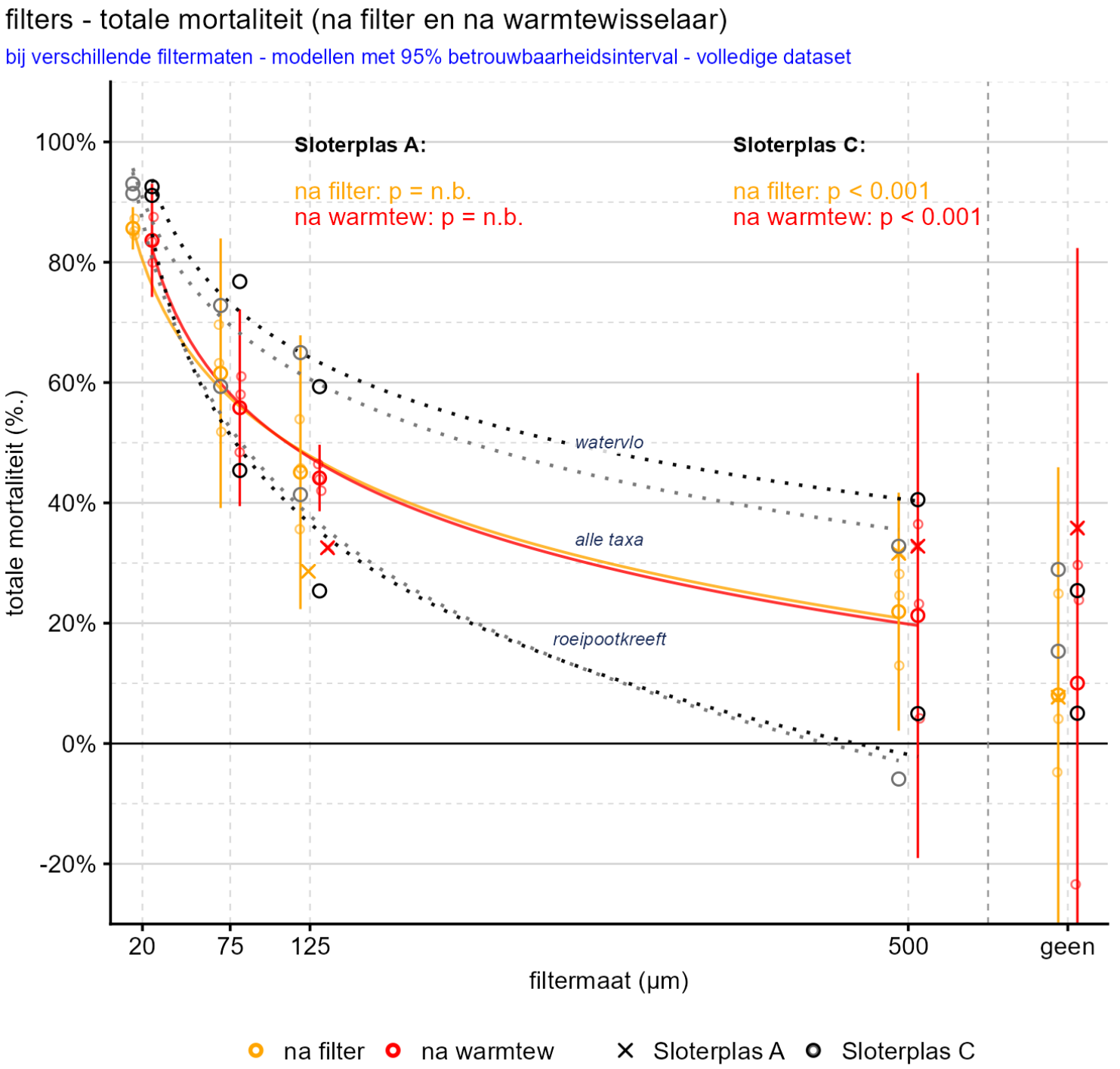
filters

- watervlo
  - grootste ecologische impact om helder water te krijgen
  - gebruikt voor
    - ecologische modellen
    - graasdrukberekeningen
  - meest abundant (na pomp)

taxon	gem. %
watervlo	42
roeipootkreeft	19
nauplii	32
raderdier	7

  - **hoogste mortaliteit**

- ecologische impact mortaliteit op watersysteem is groter dan o.b.v. ‘alle taxa’ samen



waterschap amstel, gooi en vecht

temperatuurstap



- Sloterplas A - C
  - T-stap: debiet koude kant variëren
    - 0 m^3/u: T-stap = 0 °C
    - 25 m^3/u: T-stap = maximaal
  - warme kant = 12 m^3/u

- Broekpolder & Mariastichting
  - T-stap: debiet koude en warme kant variëren
  - Mariastichting
    - laagste debiet: 1.6 m^3/u
    - hoogste debiet: 31 m^3/u
  - Broekpolder
    - zelfde systeem, geen m^3/u vastgelegd

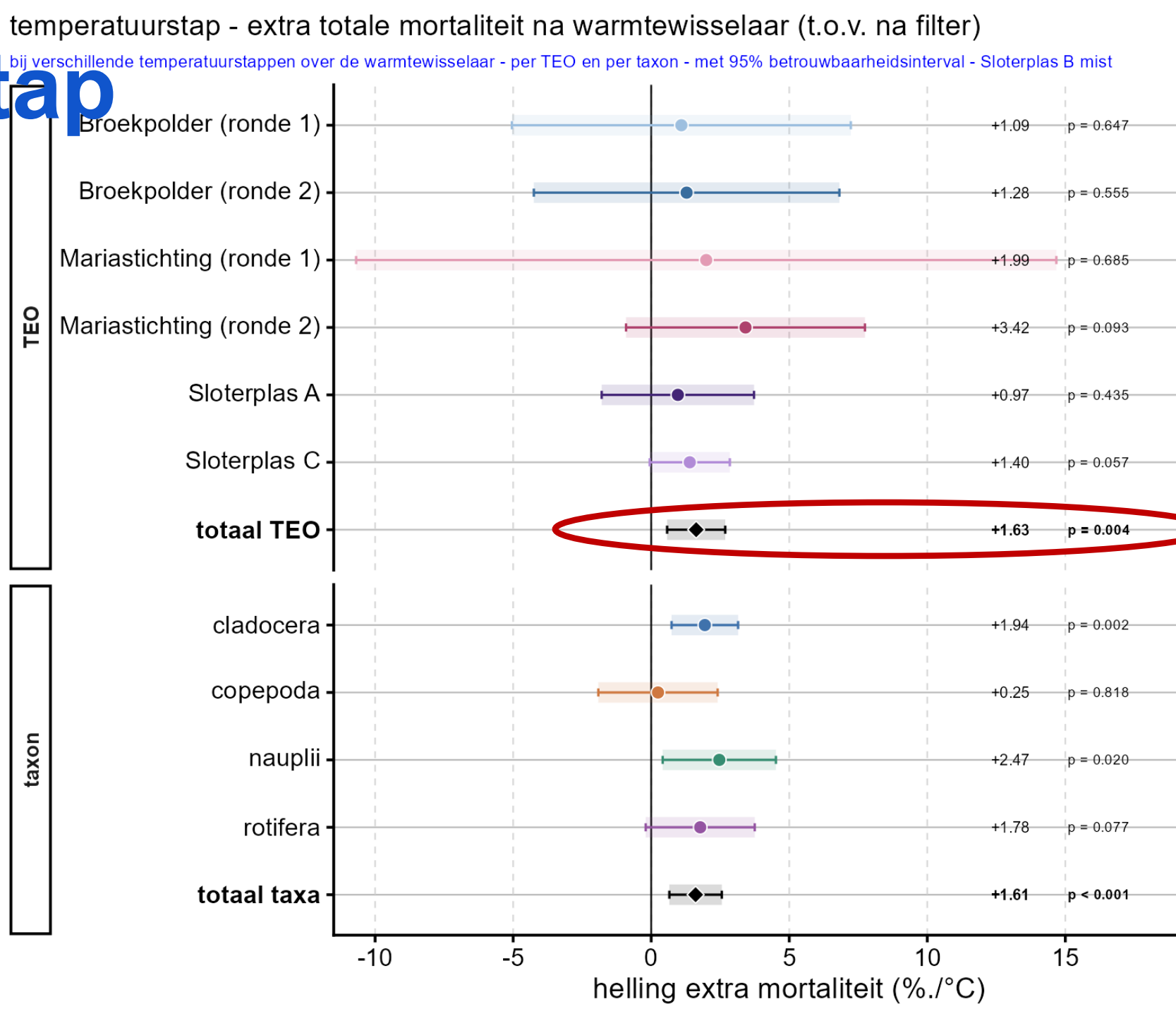
- range 0 – 11 °C

table met gerealiseerde dT's

waterschap amstel, gooi en vecht

temperatuurstap

- totaal extra mortaliteit = 1.6 %. per °C
  - t.o.v. na filter
- mortaliteit zonder filter (= Sloterplas B) -> eindrapport
- per TEO of taxon niet significant
- roeipootkreeft lijkt minst gevoelig



waterschap amstel, gooi en vecht

ultrasoon (US)

- US op warmtewisselaars (anti-aangroei)
- data onvolledig
    - 2/3 replicaten
    - 1/2 rondes

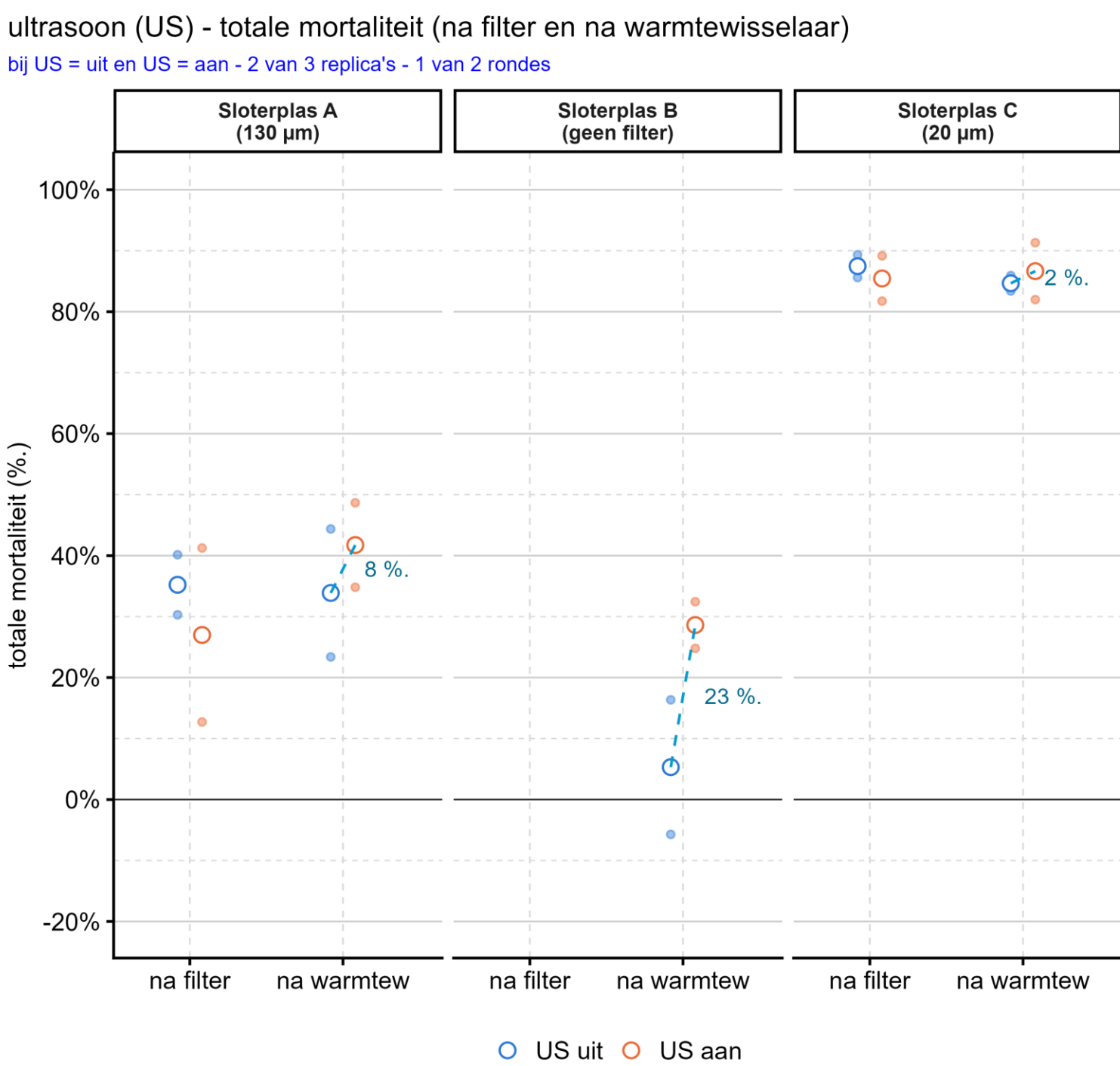
- Sloterplas A
    - 130 µm Bernoullifilter
- Sloterplas B
    - zonder filter
- Sloterplas C
    - 20 µm discfilter



waterschap amstel, gooi en vecht

ultrasoon (US)

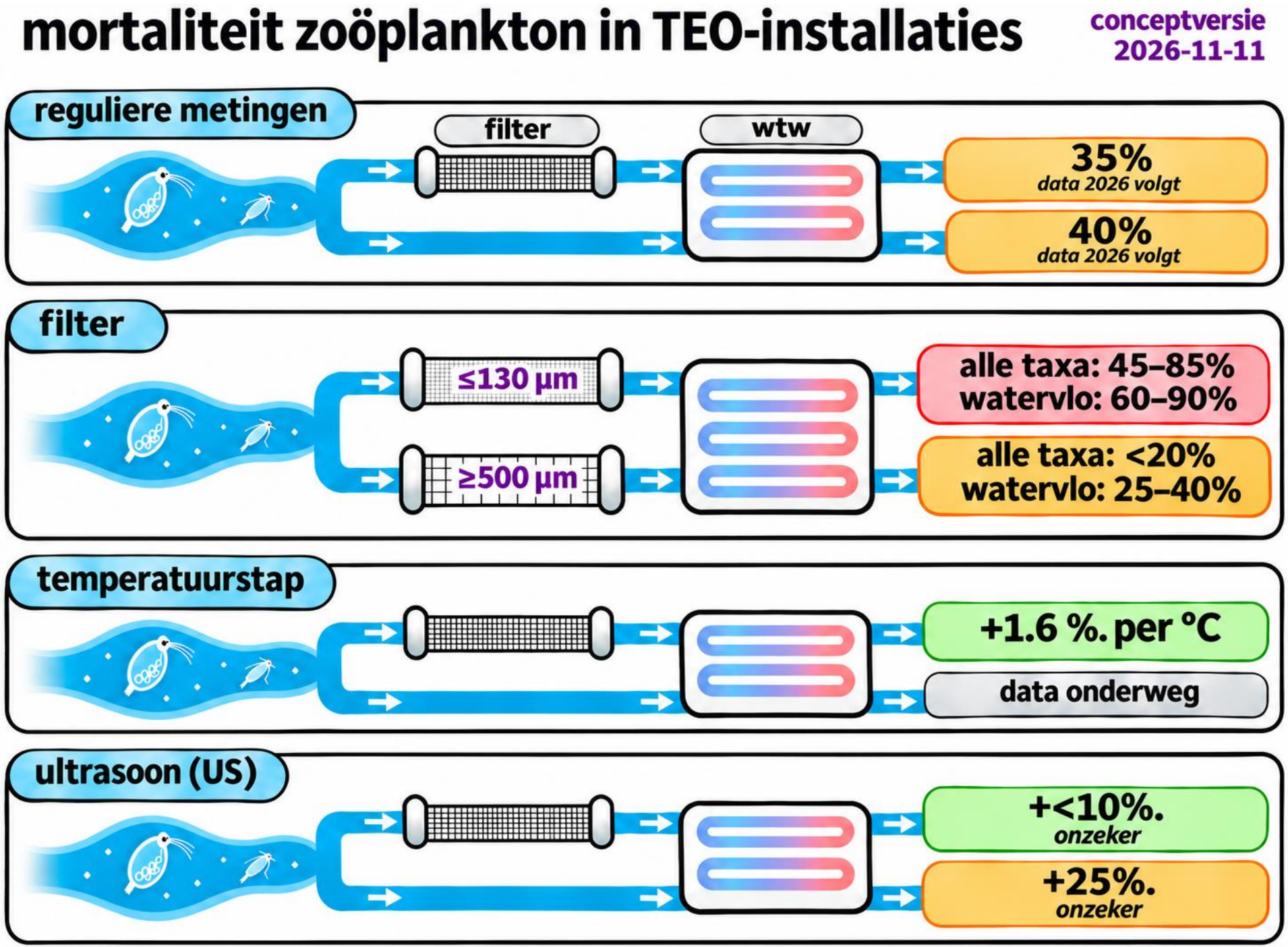
- extra mortaliteit door US max. 23 %.
- Sloterplas B: lage mortaliteit t.o.v. de reguliere metingen 2024 - 2025
  - gevolg van meer platen bij gelijk debiet in 2026?
- roeipootkreeft lijkt minst gevoelig



waterschap amstel, gooi en vecht

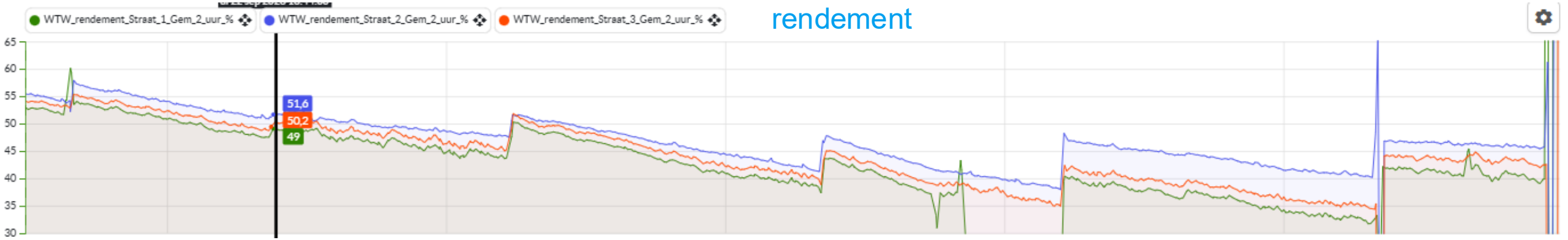
samenvatting van de analyses t/m 2026-11-11

de definitieve resultaten volgen in de Stowa-eindrapportage



waterschap amstel, gooi en vecht

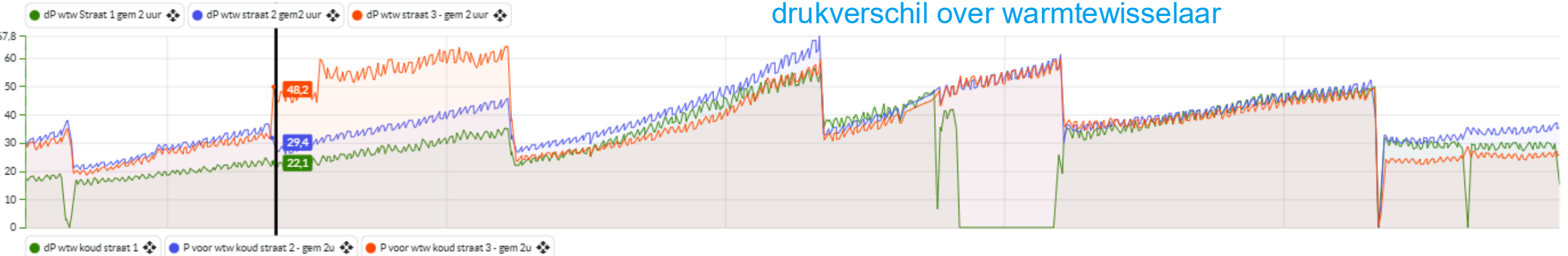
rendement en vervuiling: ultrasoon



rendement

- Sloterplas A: filter + US
- Sloterplas B: geen filter - US
- Sloterplas C: geen filter + US

effect US niet herkenbaar



drukverschil over warmtewisselaar

terugspoelen

Clean in Place (CiP)
+ terugspoelen

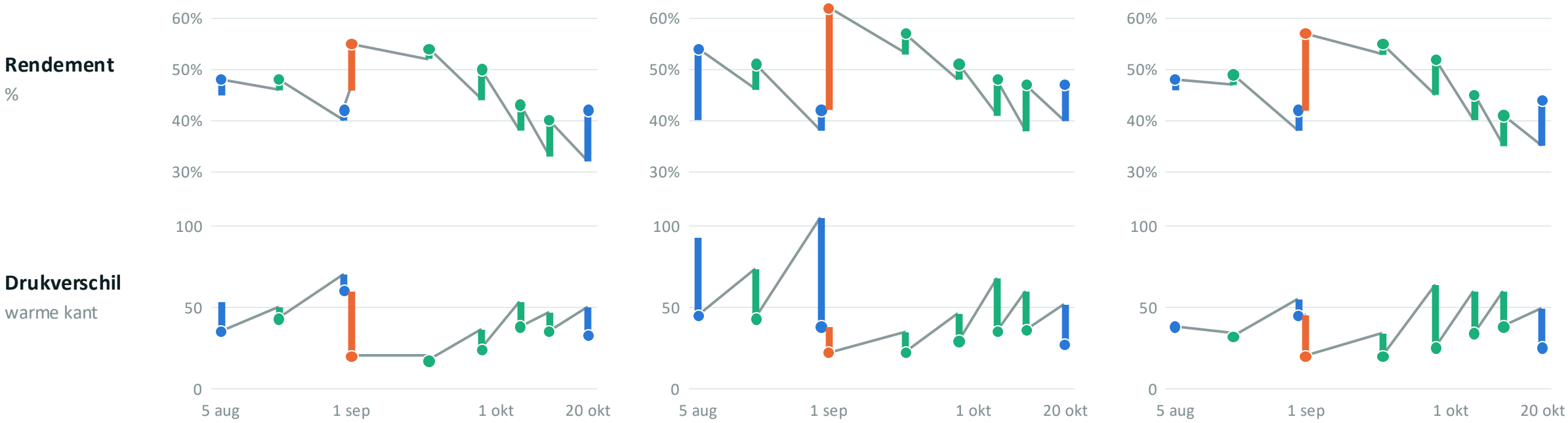
hoge druk afspuiten

Terugspoelen · Chemisch / thermisch + terugspoelen · Mechanisch reinigen · Vervuiling tussen acties

Straat 1 · Bernouilli (130 mu) | **Straat 2 · geen fijnfilter** | **Straat 3 · Disc en na 1/sep geen fijnfilter**

rendement en vervuiling: CiP

- CiP+terugspoelen niet effectiever dan terugspoelen
- effect op verschillende configuraties filters niet herkenbaar



Elke gekleurde sprong is één reinigingsactie (vóór → na). Beide acties op 31 augustus staan iets uit elkaar voor de leesbaarheid. Bron: effect behandelingen (1).xlsx.

rendement en vervuiling

- ultrasoon: geen meetbaar effect
- CiP (3 verschillende reinigingsmiddelen): beperkt effectief en operationeel lastig
- verschillende filters: geen verschillende resultaten
- terugspoelen: eenvoudig en heeft effect

2024 – 2026: concluderend

- resultaten
  - groot effect filters
    - alle taxa 35 – 85 % mortaliteit
    - watervlo: 60 – 90% mortaliteit
    - grotere (> 500 µm) filtermaat < 20% (bij extra platen Sloterplas)
  - klein effect temperatuurstap bij aanwezigheid filter
  - ultrasoon: weinig effect op aangroei, wel mortaliteit
  - verlaging stroomsnelheid door warmtewisselaar lijkt schade te beperken

onvolledige data -> resultaten gaan nog wijzigen
er volgt een Stowa-eindrapport

- kennis ontwikkeld voor
  - modelstudies
  - vergunningverlening
  - TEO-beleid

- nieuwe methode analyse zoöplankton & bepaling dood-levend
  - brede toepasbaarheid (ook zonder dood/levend)
  - beschikbaar te maken voor marktpartijen (o.b.v. NIOO-protocollen)

waterschap amstel, gooi en vecht

aanbevelingen

- op basis van dit TEO-onderzoek -> effect op het ontvangende water
  - veldonderzoek opzetten, *proof of the pudding*
  - modellen verbeteren

- suggesties optimalisatie TEO's
  - gebruik grove (>500 m) of geen voorfilters (filters lijken weinig effect te hebben op vervuiling)
  - wat niet in de TEO komt gaat niet dood -> ontwikkel een grote, fijne aanzuigkorf in het oppervlaktewater
  - gebruik grotere temperatuurstap bij lager debiet (minimaliseer mortaliteit / m^3)
  - ontwikkel schade-arme warmtewisselaars, bv. lage lineaire snelheid

- TEO-onderzoek voortzetten, er zijn nog genoeg vragen

waterschap amstel, gooi en vecht


CBOX
CASE
L.A.W. TOL BV
WB-LSA-01

Afsluiting / discussie



waterschap amstel, gooi en vecht

Samenvatting

- Methode-ontwikkeling planktonherkenning ✅
- Effect TEO passage op plankton ✅
- Mogelijkheden om effect te minimaliseren ✅
- Voorlopig resultaat effect op één watertype

  (= beperkt effect) ✅

Aanbevelingen

- Verder vertalen naar BBT voor TEO

  (* best beschikbare technieken)

- Vertaling effect TEO op watersysteem

  (meetdata bij TEOs & modellen)

waterschap amstel, gooi en vecht

Samenvattend

Vragen?



waterschap amstel, gooi en vecht

Meer informatie?
Zoek op aquathermie op: www.winnovatie.nl