KWR 2026.074 | Oktober 2026

Effect koudelozing op aquatische ecologie Amsterdamse Waterleidingduinen

Tussenrapportage 2024 – 2025

KWR

Bridging Science to Practice

Samenwerkingspartners

Colofon

Effect koudelozing op aquatische ecologie Amsterdamse Waterleidingduinen

Tussenrapportage 2024 – 2025

KWR 2026.074 | Oktober 2026

Projectnummer
404774

Projectmanager
Andreas Moerman

Opdrachtgever
TREVAS Stuurgroep

Auteurs
Jeroen Geurts (KWR), Sharon Clevers (KWR),
Matthijs Bonte (Waternet, MB-Water)

Kwaliteitsborger
Henk Krajenbrink, gemandateerd door Ruud Bartholomeus

Verzonden naar
TREVAS Stuurgroep

Deze activiteit is mede gefinancierd met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de resultaten zijn openbaar.
Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectueel en industrieel eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

Aquathermie, aquatische ecologie, temperatuureffecten, koudelozing, macrofauna, waterkwaliteit

Jaar van publicatie
2026

Meer informatie
Jeroen Geurts
T +31 6 54293522
E jeroen.geurts@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

Oktober 2026 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Algemene leerpunten

Proefopstelling

- Om het effect van koudelozing op de waterkwaliteit en aquatische ecologie te onderzoeken, is een geul in de Amsterdamse Waterleidingduinen in vijf proefvakken verdeeld.
- De proef werkte goed. Door sommige delen van de geul kouder te maken dan andere delen, konden onderzoekers kijken wat kouder water doet met planten en dieren.
- Het water in het eerste, meest koude proefvak werd meestal 2 tot 5 °C kouder gemaakt. Meer afkoeling was technisch niet mogelijk.
- De afkoeling in de proefvakken was redelijk homogeen. Wel was de temperatuur van het ondiepe water tussen het riet lager dan in de diepere delen van de geul.
- De warmtewisselaar raakte regelmatig verstopt, waardoor hij minder goed werkte.
- Schoonmaken met de hand of machine bleek de beste oplossing.
- Voor 2026 is het advies om de warmtewisselaar elke twee weken schoon te maken.

Effecten op de natuur

- Het koudere water zorgde voor meetbare verschillen in de chemische waterkwaliteit die een duidelijke relatie met temperatuur lieten zien.
- In de koudere vakken veranderde de samenstelling van het water langzamer dan in de warmere vakken.
- Een positief effect is dat er minder fytoplankton (heel kleine zwevende algen) zat in het koudste deel van de geul. De kans op algenbloei is daardoor kleiner.
- Dit bevestigt dat biologische processen in kouder water waarschijnlijk langzamer verlopen.

Planten en dieren

- Er werden op korte termijn geen duidelijke positieve of negatieve effecten gevonden op de ecologische kwaliteit van de geul. Het is belangrijk om te kijken wat de effecten na twee jaar zijn, omdat sommige veranderingen langzamer gaan.
- Er is meer bloei van waterplanten in de warmere proefvakken.
- Insecten en andere waterdiertjes reageerden maar beperkt op de temperatuurverschillen.
- De soortenrijkdom van diatomeeën (kiezelalgen) veranderde niet door het koudere water.
- De samenstelling van de macrofauna veranderde ook niet duidelijk door de temperatuur.
- De zogenaamde Ecologische Kwaliteitsratio was goed en verschilde niet tussen de proefvakken.

Hoofdconclusies

- De algemene ecologische kwaliteit bleef overal ongeveer hetzelfde: van matig tot goed.
- De gevonden verschillen zijn klein. Het is niet duidelijk of deze verschillen door de koudelozing komen.
- Het is belangrijk om niet te snel conclusies te trekken na één meetjaar. Effecten kunnen pas later zichtbaar worden. Daarom zijn in 2026 opnieuw metingen gedaan.

Inhoud

Algemene leerpunten		**4**
1	**Inleiding**	**6**
2	**Proefopzet**	**7**
3	**Meetmethoden ecologie**	**9**
4	**Operationele aspecten meetjaar 2025**	**10**
5	**Ecologische resultaten 2025**	**17**
5.1	Macrofyten	17
5.2	Macrofauna	19
5.3	Waterkwaliteit	22
5.4	Fyto- en zoöplankton en diatomeeën	23
5.5	Ecologische Kwaliteitsratio	24
6	**Discussie, conclusies en aanbevelingen**	**25**
6.1	Werking en beheer	25
6.2	Waterkwaliteit en aquatische ecologie	26
7	**Referenties**	**27**
I	**Opzet Praktijkproef Koudelozing – Amsterdamse Waterleidingduinen**	**28**
II	**Biovolume en Shannon diversiteitsindex van fyto- en zoöplankton en diatomeeën**	**36**
III	**Aantal soorten benthische diatomeeën, fyto- en zoöplankton in het koudste en warmste vak**	**37**

1 Inleiding

De inzet van warmte- en koudebronnen kan een grote bijdrage leveren aan de transitie naar duurzame verwarming van gebouwen (met minder CO_2-uitstoot). Een van die bronnen is aquathermie (warmte en koude winnen uit water). Waternet en PWN onderzoeken in opdracht van Watertransportmaatschappij Rijn Kennemerland (WRK) de mogelijkheden voor de winning van warmte uit de WRK-leidingen. Hierbij wordt zowel gekeken naar de potentie vanuit thermisch perspectief, als naar de mogelijke gevolgen voor drinkwaterproductie en aquatische ecologie in de waterleidingduinen.

De mogelijke gevolgen voor drinkwaterproductie zijn in 2024 en 2025 in beeld gebracht voor zowel Waternet[1] als PWN[2]. Voor de Amsterdamse Waterleidingduinen (AWD) is in beeld gebracht wat de afkoeling is van oppervlaktewater voor verschillende mate van afkoeling van het WRK-Water. Bij een scenario met maximale winning van thermische energie (het water in de WRK-leiding wordt dan afgekoeld tot 15 °C), bedraagt de resulterende afkoeling in de infiltratiegeulen gemiddeld circa 1 °C en maximaal circa 5 °C. De variatie komt doordat de mate van afkoeling afhangt van de temperatuur van het rivierwater (hoe warmer dit is, des te groter de afkoeling).

Over de mogelijke gevolgen op ecologische waterkwaliteit door warmtewinning is nog weinig bekend. Op basis van expertkennis wordt verwacht dat een afkoeling van minder dan 1 °C verwaarloosbaar is (zoals wordt verwacht in het project Nieuw Legmeer), maar de kennis over de gevolgen van grotere afkoeling is beperkt. Hierbij speelt uiteraard ook mee dat het rivierwater in de afgelopen 100 jaar al circa 3 °C is opgewarmd[3] en naar verwachting tot 2100 verder opwarmt met 2 à 3 °C[4].

Om de gevolgen van warmtewinning uit WRK-water in beeld te brengen is een proefonderzoek met koudelozing voorzien. Het ontwerp van de proef is beschreven in aparte rapportages: één rapport voor het technisch ontwerp[5] en één ecologische literatuurstudie en meetprotocol[6]. De proef met koudelozing zal in de zomers van 2025 en 2026 worden uitgevoerd. In deze notitie worden de operationele aspecten van de proef beschreven voor de zomer van 2025: De opzet en thermische resultaten van het eerste meetjaar.

In hoofdstuk 2 wordt de proefopzet beknopt beschreven. Hoofdstuk 3 bevat een uitwerking van de resultaten op operationeel gebied. Hoofdstuk 4 gaat in op de ecologische resultaten van het eerste meetjaar.

2 Proefopzet

Voor details over de proef wordt verwezen naar het technisch ontwerp[5]. Een beknopte beschrijving is weergegeven in bijlage 1 en Figuur 1. Samengevat:

1. Water wordt uit het zuidelijke deel van infiltratiegeul 28 (‘geul 28 zuid’) opgepompt en afgekoeld en vervolgens geloosd in het noordelijk deel van infiltratiegeul 28 (‘geul 28 noord’). Het noordelijke en zuidelijke deel zijn gescheiden door een dam met een duiker. Normaal stroomt er water van geul 28 zuid naar geul 28 noord, om de hoeveelheid water die infiltreert aan te vullen. In september 2024 is de infiltratiesnelheid van geul 28 noord bepaald met een zakkingsproef. Hierbij wordt de duiker dichtgezet waardoor er geen aanvoer is en het water wel wegzakt. Hieruit bleek een infiltratiesnelheid van 0.16 m/d wat gecombineerd met het oppervlak van de geul (12.400 m^2) een capaciteit van 83 m^3/u geeft. Op basis hiervan is de capaciteit van de pomp bepaald.

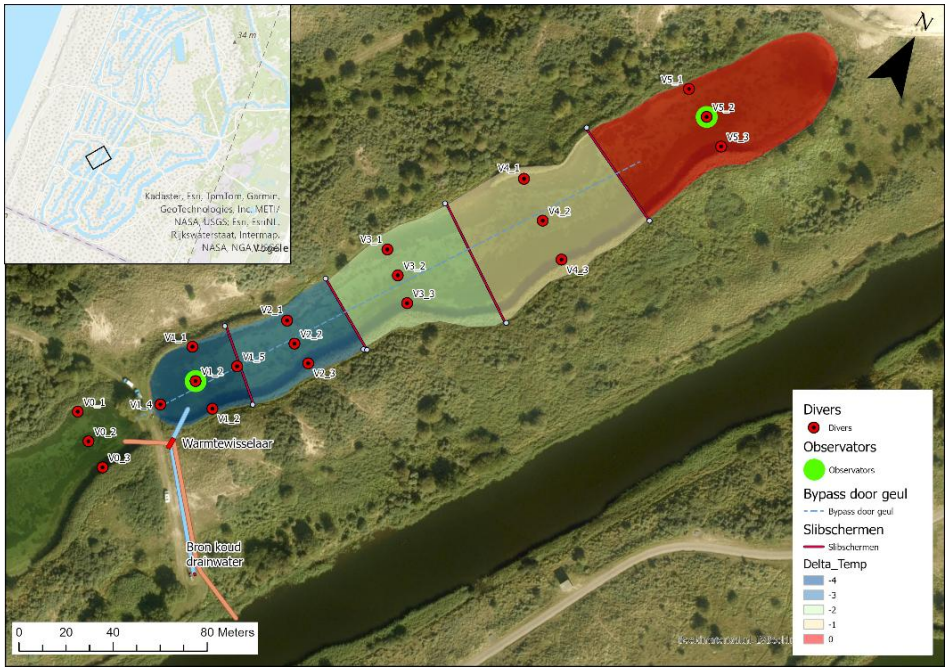
2. De afkoeling vindt plaats met een warmtewisselaar die wordt gevoed met drainwater (temperatuur van 11-12 °C). Het debiet van het warme en koude circuit lag rond de 80 m^3/uur zodat vrijwel de gehele watervraag voor infiltratie wordt geleverd door de pomp. Direct achter beide pompen is een meshfilter (1 mm) opgenomen (dit bleek in praktijk echter geen materiaal tegen te houden). In de geul zat in eerste instantie een standaard voetklep met een mesh van enkele mm die is vervangen door een zelfreinigende inlaatkorf met mesh van 1 mm (Turbin TSS-8, zie bijlage) in verband met verstopping. De specificaties van de warmtewisselaar en pompen en PID zijn opgenomen in bijlage 1. Pompen, warmtewisselaar en leidingwerk zijn gehuurd bij de firma Coolworld.

3. In geul 28 Noord zijn enkele slibschermen met doorstroomopeningen geplaatst. Het doel van deze schermen is om een temperatuurgradiënt te realiseren over de stroomrichting en zo vijf proefvakken met duidelijk gescheiden temperatuurregime te creëren.

4. Er is een buis (bypass) geplaatst van geul 28 zuid door de afgesloten duiker naar vak 4 in geul 28 noord. Het was de bedoeling dat deze tot vak 5 zou zijn geplaatst maar dit is misgegaan (mogelijk doordat de buis te ver in de geul 28 zuid steekt). Dit is pas later opgemerkt en in het vroege voorjaar van 2026 is de buis verlengd tot vak 5 *(N.B.: de slibschermen werden na de buis geplaatst)*. Deze buis zorgt ervoor dat in het geval dat de pomp uitvalt, het waterniveau in de infiltratiegeul niet te veel wegzakt. Droogval zou vermoedelijk (veel) grotere gevolgen hebben dan sec de afkoeling. Er loopt alleen water door de buis onder vrij verval, dus als er een peilverschil is tussen de bovenstrooms gelegen geul en de onderzoeksgeul wanneer de pomp uitvalt of minder debiet levert. Hier was gedurende de start van het seizoen in mei en juni sprake van door bovengenoemde verstopping van de inlaat (totdat de zelfreinigende inlaatkorf werd geplaatst). Het peil zakte gedurende deze periode 1 à 2 decimeter weg (zie figuur 2); gedurende deze periode werd op basis van een leidingverliesberekening geschat dat 30-40 m3/uur door de bypass werd aangevuld om het tekort van de pomp te compenseren. Omdat bij normaal bedrijf van de pomp deze ca 80 m3/u levert, zal mogelijk een klein deel van de toevoer naar vak 4 via de bypass gaan.

5. In de proefvakken zijn temperatuursensoren geplaatst (Van Essen Divers): In ieder proefvak staan 3 divers op een diepte halverwege de waterkolom. Uitzondering is proefvak 1 waarin 6 divers zijn geplaatst (bij de middelste locatie hangen drie divers onder elkaar). In proefvak 1 en 5 zijn tevens sensoren voor temperatuur, opgelost zuurstof en pH geïnstalleerd (Observators). Op drie momenten op 29 juli is met een drone een thermische foto gemaakt van de proefvakken (Mavic M3T door Aerial Intelligence BV).

6. Aan beide instroomkanten van de warmtewisselaar zijn Krohne Waterflux 3070 P&T watermeters geplaatst die debiet, relatieve druk en temperatuur meten. Op beide uitstroomkanten van de warmtewisselaar zijn temperatuursensoren (Jumo Pt100 Temperatuursensor 902030) en absolute druksensoren (Keller PAA-X33) geplaatst. Deze sensoren zijn uit te lezen via het IoT-platform van Waternet.



Figuur 1 Opzet proef koudelozing bij Geul 28 Noord in de waterleidingduinen. De bypass (blauwe stippellijn) loopt van Geul 28 Zuid, door een afgesloten duiker naar vak 4 in geul 28 Noord

3 Meetmethoden ecologie

De ecologische metingen zijn uitgevoerd door Aquon, waarbij gebruik is gemaakt van de standaard KRW-methodiek. In tabel 1 wordt per parameter beschreven hoe de metingen zijn uitgevoerd.

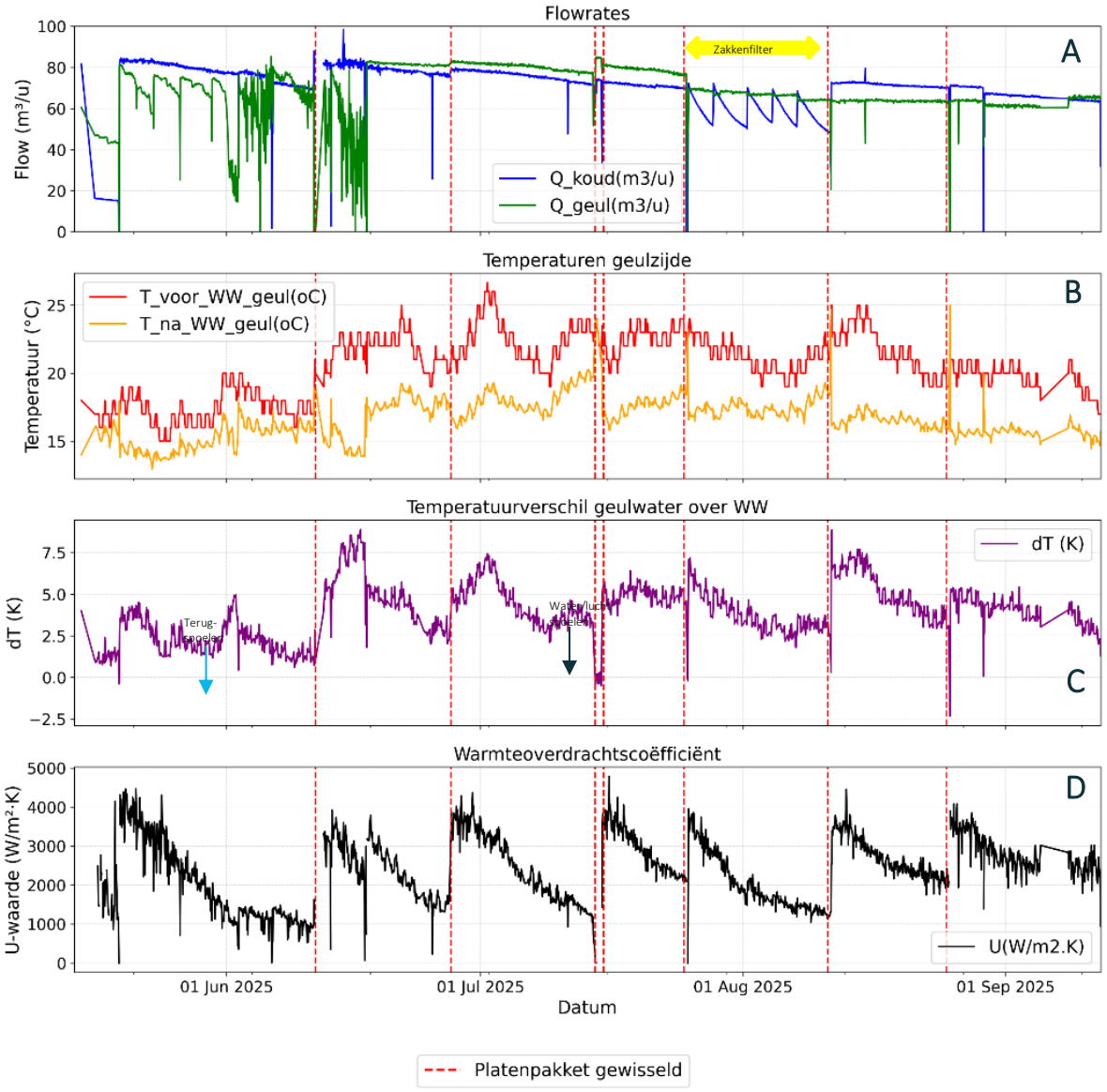
Tabel 1 Meetmethoden ecologische metingen door Aquon.

Parameter	**Meetmethode opnamen**
Macrofyten	Visuele observaties in combinatie met harkmomenten waarbij vegetatie uit het water is gehaald in alle onderzoeksvakken (bron op te vragen bij Aquon: V HYB 004 - Inventarisatie en determinatie macrofyten - v-003.a, sectie 7.5)
Macrofauna	Nettechniek, met een handnet, keukenzeef of visnetje. De multihabitattechniek is toegepast in alle onderzoeksvakken, waarbij diverse habitatzones apart zijn bemonsterd (1 meter per habitatzone; bron op te vragen bij Aquon: V HYB 002 - Bemonsteren macrofauna - v-007a)
Fytoplankton	Ondiep genomen watermonster (steekmonster)
Zoöplankton	Ondiep genomen watermonster (steekmonster)
Diatomeeën	Ondiep genomen watermonster (steekmonster)
Chemische waterkwaliteit	Ondiep genomen watermonster (steekmonster)

4 Operationele aspecten meetjaar 2025

Afkoeling in en beheer van de warmtewisselaar

Uitgangspunt van het onderzoek is dat warmtewinning mogelijk is wanneer de watertemperatuur boven de 15 °C komt. De proefinstallatie heeft daarom gedraaid tussen 12 mei en 12 september. Bijzonderheden tijdens de proefperiode zijn samengevat in Tabel 2. De operationele data zijn weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Operationele data pompdebieten en uitwisseling over warmtewisselaar. Blauwe pijltje geeft terugspoelen weer waarbij enig effect in warmteoverdrachtswaarde (U-waarde, een maat voor de efficiency van de warmtewisselaar) te zien was. Zwarte pijltje geeft water/lucht spoelen weer.

Hieronder zijn de bijzonderheden samengevat:

- Het **pompdebiet** (paneel A Figuur 2) van zowel het koude als het warme circuit lag veelal onder de specificatie van 85 m^3/uur. Hiervoor waren verschillende oorzaken: Direct na opstart bleek de voetklep in de geul snel te verstoppen en was het debiet erg variabel doordat de pomp lucht ging happen. Dit was na plaatsing van een

betere inlaatkorf medio juni verholpen. Het debiet van het koude circuit liep gedurende de proef geleidelijk terug van circa 85 naar 75 m^3/uur. De oorzaak hiervan is niet duidelijk; mogelijk komt het door ijzerneerslag. Het zaagtandpatroon in het debiet van de koude pomp komt door testen van een zakkenfilter om ijzervlokken te verwijderen (de zakken liepen snel vol, toelichting hieronder).

- De temperatuur van het opgepompte geulwater (influent warmtewisselaar) varieerde tussen circa 16 en 27 °C. De temperatuur van het geloosde water (effluent warmtewisselaar) varieerde tussen 13 en 20 °C (paneel B in Figuur 2). De afkoeling varieerde tussen 2 en 8 °C (paneel C in Figuur 2).

- De grote fluctuatie in afkoeling had twee oorzaken: 1) de afkoeling is het grootst bij het grootste verschil tussen warme en koude circuit, dus wanneer het te koelen geulwater relatief warm is. 2) De warmtewisselaar bleek tijdens de proef te vervuilen voor neerslag van ijzeroxiden en/of slibdeeltjes uit het koude, ijzerrijke drainwater. Hierdoor nam de warmteoverdrachtswaarde (U-waarde) van de warmtewisselaar af (paneel D in Figuur 2). Er zijn verschillende manieren onderzocht om dit te verhelpen:

  - Bij periodiek terugspoelen (waarbij de flow dus wordt omgekeerd) was veel ijzer zichtbaar in het geloosde drainwater. Het terugspoelen werd handmatig uitgevoerd en kon maximaal 1 à 2 keer per week worden uitgevoerd. Het effect op de drukval over de warmtewisselaar was de meeste keren wel zichtbaar (niet geplot), maar het effect op de U-waarde was nihil, behalve een klein effect op 9 juni (aangegeven met een pijltje in Figuur 2).
  - Tussen 27 juli en 11 augustus is een gehuurd zakkenfilter geplaatst direct achter de pomp uit de drainbak (koud circuit) om te testen of de ijzervlokken met filtratie verwijderd konden worden. Het betrof een viervoudig zakkenfilter van firma Hitma (140 m^3/uur capaciteit) waarin filtratie getest kan worden variërend tussen 1 en 200 µm. Hierbij is gestart met de zakken van 100 µm, waarbij bleek dat de zakken al zeer snel volliepen, waardoor deze te veel tegendruk bieden en het debiet snel terugliep (zaagtandpatroon in paneel A van Figuur 2, periode aangegeven met gele blok). Ondanks de filtratie, bleek de warmtewisselaar toch te vervuilen, wat erop duidt dat de vlokken kleiner zijn of dat er in-situ (na filtratie) uitvlokking plaatsvindt.
  - Tussen 27 juli en 11 augustus is tevens gespoeld door een hoger debiet op het koude circuit te zetten (door flow van beide pompen te combineren). Hierbij is gelijktijdig met een luchtcompressor pulserend lucht ingebracht. Ook dit had echter geen groot effect, behalve een kleine toename in U-waarde begin augustus (dit kan echter ook mogelijk vertekend zijn doordat het wisselen van de zakken van het filter direct voor het spoelen plaatsvond).
  - Het enige dat effectief bleek was het mechanisch reinigen van het platenpakket. Hierbij worden de platen vervangen door een reserveplatenpakket en op een externe locatie schoongespoten. De momenten van mechanische reiniging zijn weergegeven met rode verticale stippellijnen in Figuur 2.
  - Opvallend is dat over de gehele duur van de proef het niveau tot waar de U-waarde (na reiniging) terugloopt hoger komt te liggen. In mei/juni loopt de U-waarde terug van 4000 naar 1000 W/m^2 K. Na de laatste mechanische reiniging eind augustus loopt de U-waarde terug van 4000 naar 2500 W/m^2 K. Er is geen duidelijke oorzaak hiervoor gevonden. Bij iedere mechanische reiniging wordt het platenpakket uit elkaar gehaald, en bleek dit zwaar vervuild met ijzerslib. Mogelijk komt het doordat met het doorlopend pompen minder ijzer wordt onttrokken, of doordat in het leidingwerk en de appendages voor de warmtewisselaar neerslag van opgelost of colloïdaal ijzer heeft plaatsgevonden (vergelijkbaar aan het proces dat optreedt bij ondergrondse ontijzering).

Tabel 2 Overzicht operationeel beheer proefinstallatie

Datum/tijd	Actie
12-5-2025 08:00	Plaatsen van installatie
19-5-2025 08:00	Reinigen pomp en verzetten pomp geul
23-5-2025 11:00	Reinigen aanzuigkorf
26-5-2025 10:00	Wastrommel als inlaatkorf in geul
30-5-2025 10:00	Reinigen aanzuigkorf
2-6-2025 10:00	Reinigen aanzuigkorf
3-6-2025 10:00	Reinigen aanzuigkorf
6-6-2025 10:00	Reinigen aanzuigkorf
6-6-2025 10:00	Terugspoelen koude kant WW
11-6-2025 12:00	Wisselen platenpakket
12-6-2025 12:00	Reinigen aanzuigkorf
17-6-2025 08:00	Plaatsen nieuwe aanzuigkorf
17-6-2025 15:00	Terugspoelen koude kant WW
20-6-2025 12:00	Terugspoelen koude kant WW
25-6-2025 12:00	Terugspoelen koude kant WW
27-6-2025 12:00	Wisselen platenpakket
11-7-2025 12:00	Terugspoelen koude kant WW
14-7-2025 12:00	Wisselen platenpakket (fout teruggeplaatst)
15-7-2025 12:00	Wisselen platenpakket
25-7-2025 00:00	Wisselen platenpakket
27-7-2025 00:00	Zakkenfilter op koud circuit
29-7-2025 00:00	Persluchtspoelen en zakkenwissel
1-8-2025 00:00	Persluchtspoelen en zakkenwissel
4-8-2025 00:00	Persluchtspoelen en zakkenwissel
7-8-2025 00:00	Persluchtspoelen en zakkenwissel
11-8-2025 00:00	Verwijderen zakkenfilter
11-8-2025 00:00	Wisselen platenpakket
25-8-2025 00:00	Wisselen platenpakket
12-9-2025 00:00	Verwijderen installatie

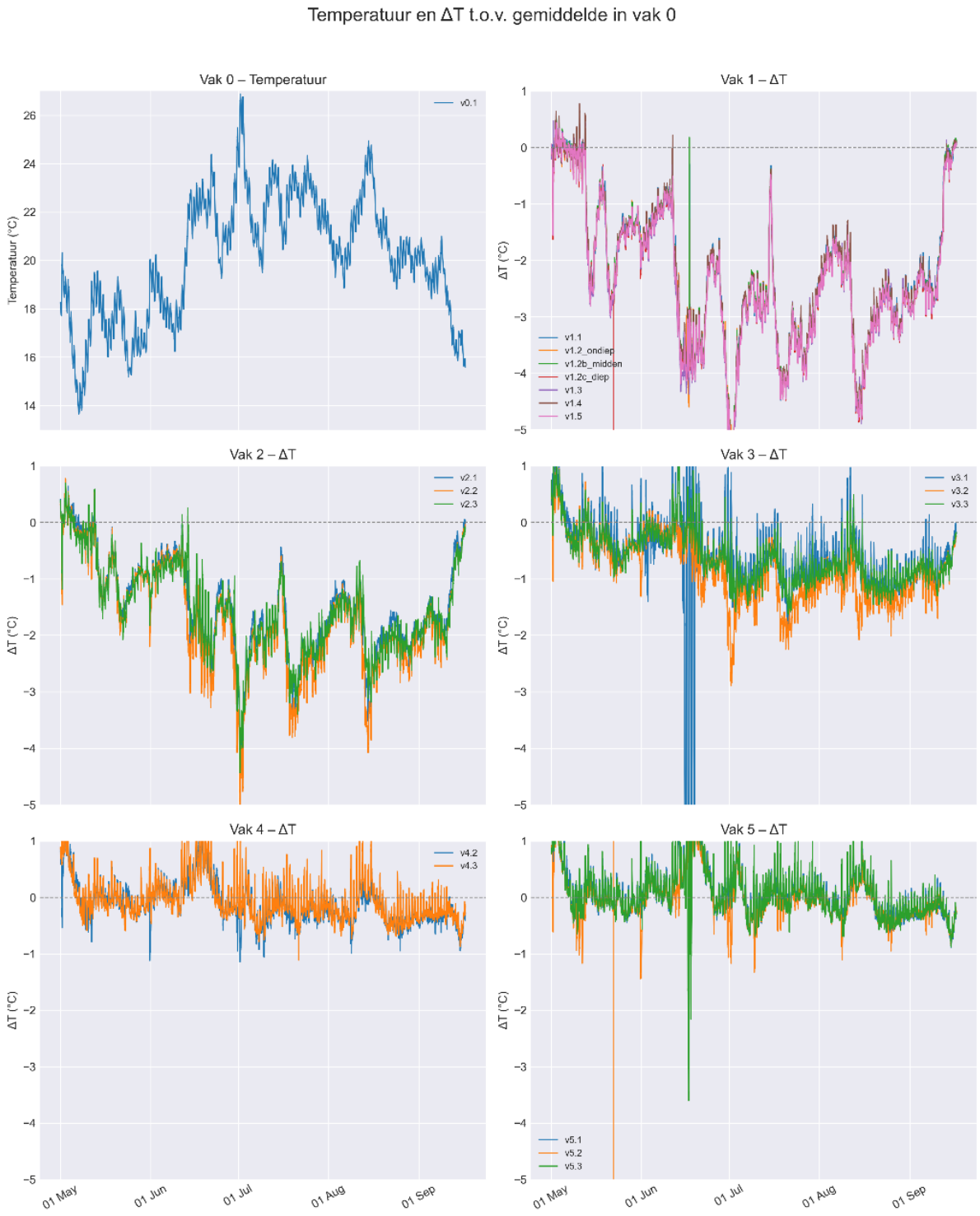
Afkoeling in de infiltratiegeul en proefvakken

De gemeten temperatuur in het opgepompte water (vak 0) en de vijf proefvakken is weergegeven in Figuur 3. De gemeten temperatuur in vakken 0, 4 en 5 zijn vergelijkbaar en kunnen daarom worden gezien als de referentietemperatuur. NB: Voor vak 4 komt dit mogelijk doordat de bypass hierin uitkomt, en niet zoals oorspronkelijk bedoeld in vak 5. De referentietemperatuur varieert gedurende de periode tussen de 14 en 27 °C. Waar tijdens enkele hitteperioden de temperatuur in de referentievakken tot boven de 25 °C komt, blijft de temperatuur in vak 1 onder de 22 °C.

De mate van afkoeling, berekend als het verschil tussen de temperatuur in een proefvak en de temperatuur in vak 0, is weergegeven in Figuur 4 en per maand samengevat in Tabel 3. De mate van afkoeling varieert in vak 1 tussen 2 en 5 °C (gemiddeld rond circa 3 °C in juli en augustus). Hierbij valt de grootste afkoeling samen met de hitteperioden wanneer de watertemperatuur in de referentievakken hoger dan 25 °C is (rond 1 juli en 10 augustus). De afkoeling in vak 3 varieert tussen 1 en 5 °C (gemiddeld rond 2 °C) en in vak 4 varieert het tussen 0,5 en 2 °C (gemiddeld rond 1 °C). In vakken 4 en 5 is er vrijwel geen sprake van afkoeling en is tijdens hitteperioden zelfs sprake van een opwarming ten opzichte van het bovenstrooms gelegen vak 0. Dit zal komen door de relatief lange verblijftijd in dit vak.



Figuur 3 Temperatuur in de proefvakken (Vak 0 is geul 28 zuid, waar het water wordt opgepompt voordat het wordt afgekoeld). NB: De sterke fluctuatie in logger v3.1 komt vermoedelijk door droogval van de logger.



Figuur 4 Afkoeling in de vijf proefvakken, berekend ten opzichte van vak 0 (geul 28 Zuid, influent warmtewisselaar)

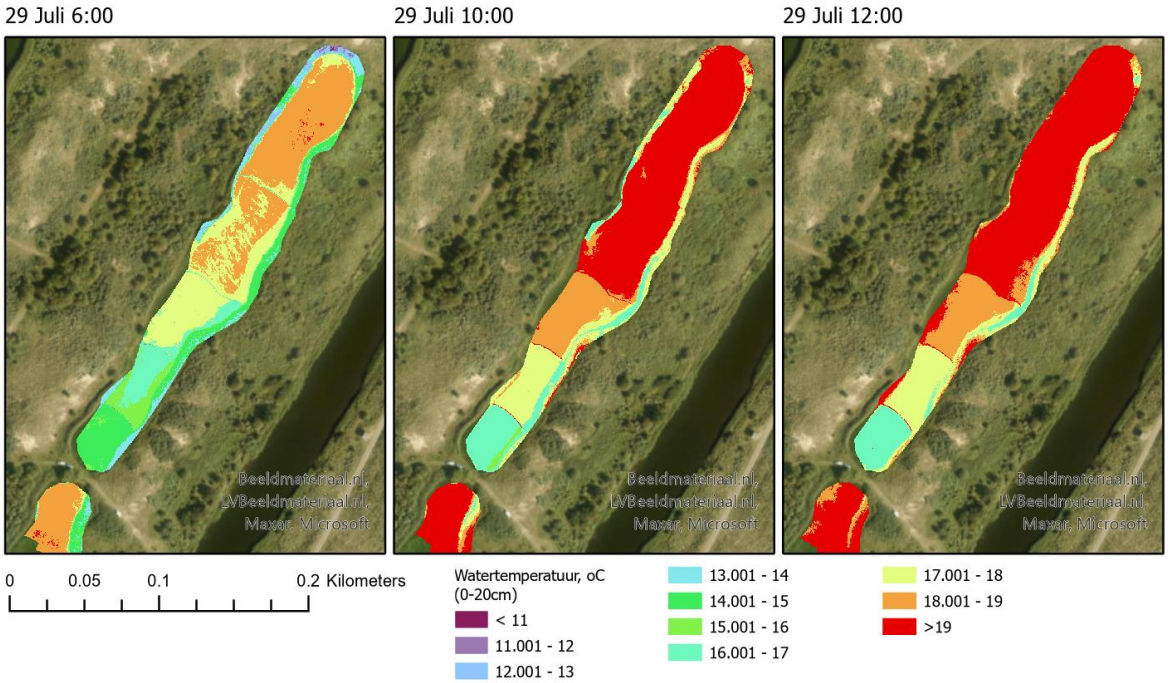
Tabel 3 Gemeten temperatuur stroomopwaarts (vak 0) en de afkoeling in de proefvakken. NB: De installatie draaide pas goed vanaf 17 juni na plaatsing van een nieuwe aanzuigkorf.

	Vak 0 (temperatuur °C)			Vak 1 (afkoeling t.o.v. vak 0, °C)			Vak 2 (afkoeling t.o.v. vak 0, °C)		
Maand	**Min**	**Gem**	**Max**	**Min**	**Gem**	**Max**	**Min**	**Gem**	**Max**
Mei	13,7	17,1	20,3	-3,3	-1,1	0,5	-2,0	-0,7	0,7
Juni	16,2	20,4	25,5	-4,9	-2,4	-0,3	-3,7	-1,4	0,0
Juli	19,5	22,6	26,9	-5,7	-3,3	-0,5	-4,7	-2,3	-0,6
Augustus	18,8	21,1	24,9	-4,8	-2,8	-1,5	-3,5	-2,0	-0,9
September	15,6	18,5	21,0	-3,0	-1,8	0,1	-2,4	-1,4	0,0

	Vak 3 (afkoeling t.o.v. vak 0, °C)			Vak 4 (afkoeling t.o.v. vak 0, °C)			Vak 5 (afkoeling t.o.v. vak 0, °C)		
Maand	**Min**	**Gem**	**Max**	**Min**	**Gem**	**Max**	**Min**	**Gem**	**Max**
Mei	-0,9	-0,2	1,2	-0,6	0,1	1,5	-1,9	0,1	1,7
Juni	-3,7	-0,4	1,7	-0,5	0,2	1,6	-0,7	0,3	1,8
Juli	-1,8	-1,0	-0,1	-0,9	-0,2	0,8	-0,9	0,0	1,2
Augustus	-1,5	-1,0	0,2	-0,8	-0,2	0,7	-0,8	-0,1	0,9
September	-1,3	-0,8	-0,2	-0,9	-0,3	0,1	-0,9	-0,3	0,2

De thermische dronefoto's die op 29 juli zijn genomen, laten zien dat de proefvakken thermisch redelijk homogeen (goed gemengd) zijn (Figuur 5). Geconcludeerd wordt dat het oorspronkelijke idee van de proef om een thermische gradiënt te forceren middels de slibschermen met doorstroomopeningen werkt. Ook is te zien dat vak 4 en 5 een vrijwel gelijke temperatuur hebben.

De randen van de proefvakken (langs de rietkragen) zijn gedurende de gehele dag enkele graden koeler dan het midden van de proefvakken. De rietkragen zorgen mogelijk voor schaduwwerking waardoor het water minder hard opwarmt of het water koelt s 'nachts sneller af doordat het relatief ondiep is (minder thermische massa). Het is ook mogelijk dat het thermische beeld zowel riet als water meet waarbij het riet vroeg in de ochtend relatief koud is. Hierdoor is in proefvak 4 en 5 een thermische gradiënt aanwezig van enkele graden, van vergelijkbare grootteorde als de gradiënt over de lengterichting van het koude lozingspunt naar het laatste vak. De beelden complementeren de loggermetingen die een hoge meetfrequentie hebben, maar een beperkt ruimtelijk beeld geven. Met de thermische opname bleek ook dat er een kleine warme lekstroom aanwezig was bij de afgesloten duiker. Dit is een aandachtspunt voor het vervolg van de proef.



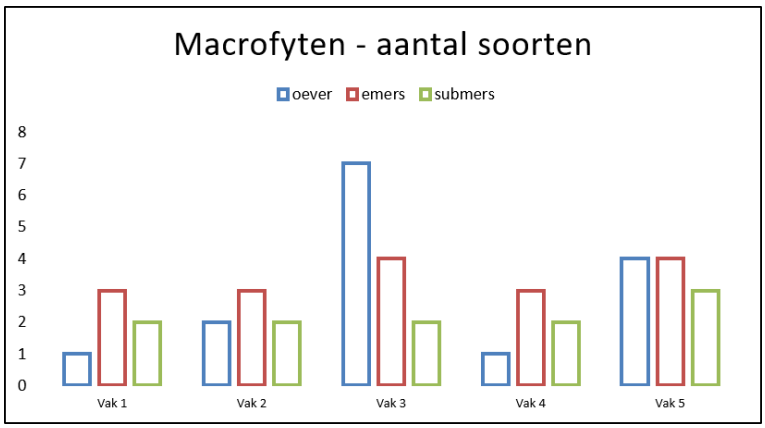
Figuur 5 Thermische dronefoto's van de proefvakken (representatief voor de bovenste 20 cm van de waterkolom)

5 Ecologische resultaten 2025

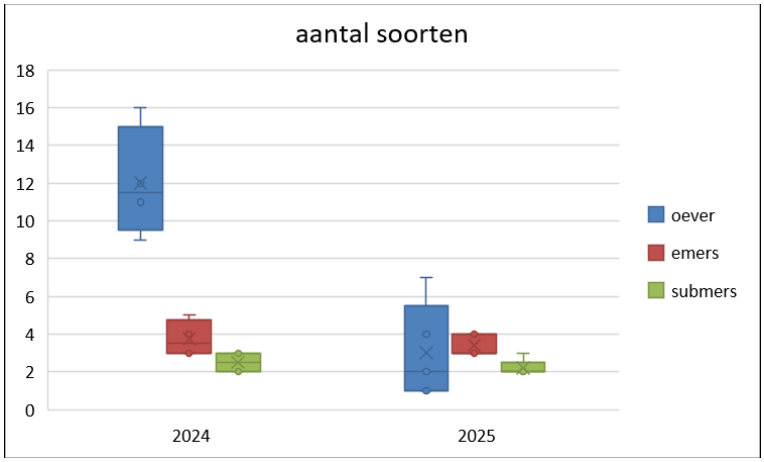
5.1 Macrofyten

De soortensamenstelling van de macrofyten in de submerse (volledig onder water) en emerse (deels onder water) zone is vergelijkbaar met de nulmeting[6] in 2024 en er zijn geen noemenswaardige verschillen tussen de vakken (Figuur 6 en 7). Op de oever is het aantal soorten een stuk lager in 2025, maar dit komt doordat in 2024 een groter stuk van de oever meegenomen is in het onderzoek[6]. De verschillen tussen de vakken zijn geen behandelingseffect. De bedekking met macrofyten is over het algemeen lager dan in 2024 (Figuur 8 en 9) en daardoor is ook de Shannon diversiteitsindex lager (Figuur 10). In de submerse zone zijn er geen verschillen tussen de vakken, maar in de emerse zone is de bedekking duidelijk het hoogst in het warmste vak.

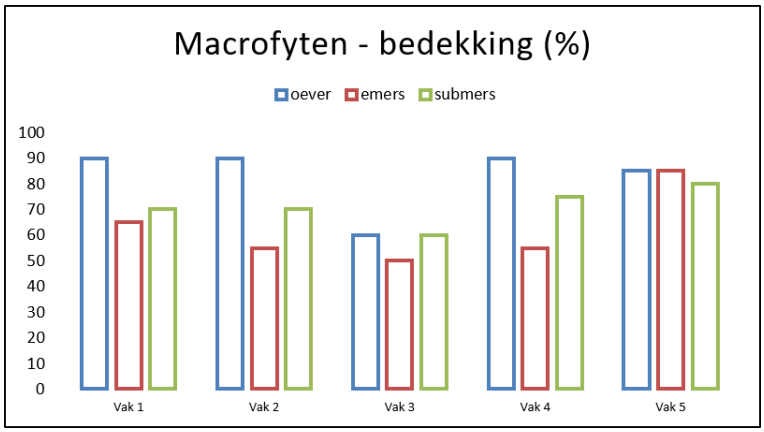
Bij de kranswieren verschilde de dominante soort per vak. In vak 1, 4 en 5 was dit Ruw kransblad (*Chara aspera*) en in vak 2 en 3 Brokkelig kransblad (*Chara contraria*). Stekelharig kransblad (*Chara hispida*) kwam alleen in vak 5 voor. Ook in 2024 was er al een verschil in dominantie en voorkomen van de verschillende kranswiersoorten, maar toen was Breekbaar kransblad (*Chara globularis*) dominant in het grootste deel van de geul en Brokkelig kransblad (*Chara contraria*) aan het eind van de geul. Stekelharig kransblad (*Chara hispida*) kwam in 2024 in lage dichtheden voor, behalve aan het begin van de geul. Ruw kransblad (*Chara aspera*) kwam alleen aan het eind van de geul voor. Wat wel toeneemt in de gradiënt van kouder naar warmer water, is het aantal takken met voortplantingsorganen (Figuur 11). In de eerste twee vakken komen nauwelijks voortplantingsorganen voor en in vak 5 duidelijk de meeste.



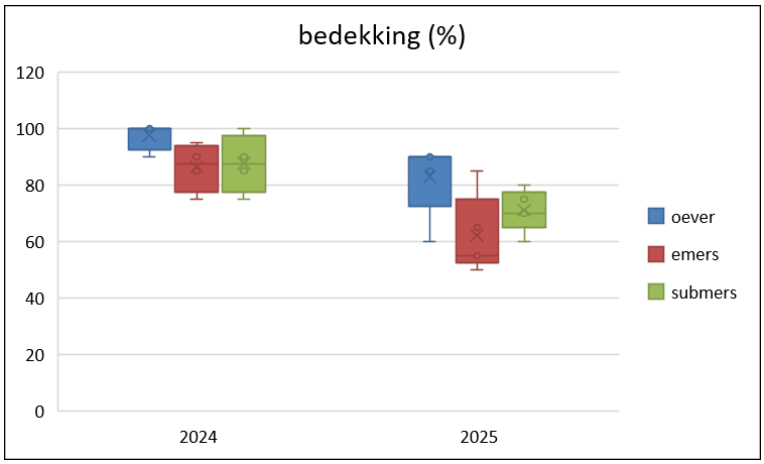
Figuur 6 Aantal soorten macrofyten in de verschillende zones per onderzoeksvak van geul 28 (vak 1 = koud, vak 5 = warm) in 2025.



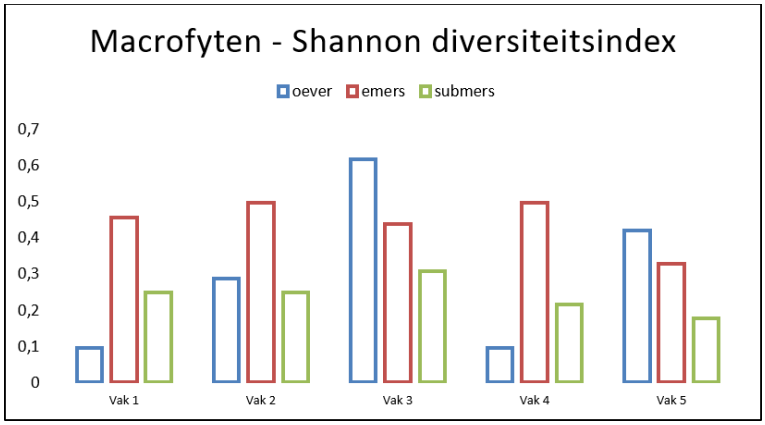
Figuur 7 Gemiddeld aantal soorten macrofyten in geul 28 in september 2024 (n=4) en 2025 (n=5). Let op, in 2024 is een groter stuk van de oever meegenomen in het onderzoek. Kruis = gemiddelde, balk = interkwartielafstand, foutbalken = minimale/maximale waarden.



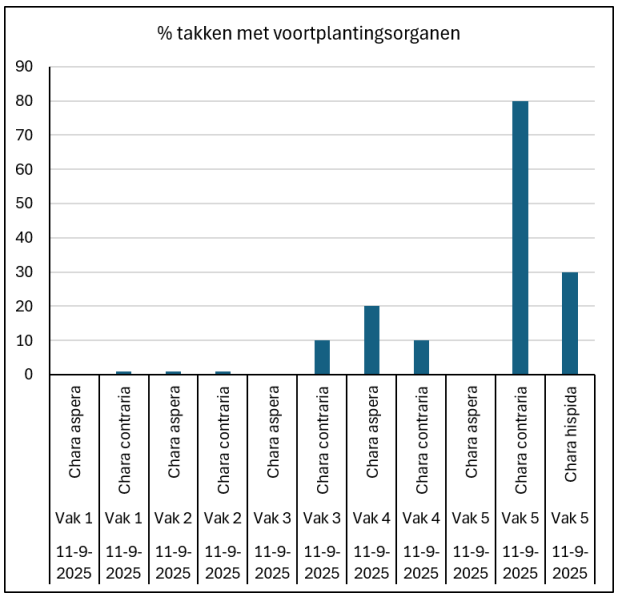
Figuur 8 Bedekking met macrofyten in de verschillende zones per onder-zoeksvak in geul 28 (vak 1 = koud, vak 5 = warm) in 2025.



Figuur 9 Gemiddelde bedekking met macrofyten in geul 28 in september 2024 (n=4) en 2025 (n=5). Kruis = gemiddelde, balk = interkwartielafstand, foutbalken = minimale/maximale waarden.



Figuur 10 Shannon diversiteitsindex van macrofyten in de verschillende zones per onderzoeksvak van geul 28 (vak 1 = koud, vak 5 = warm) in 2025.

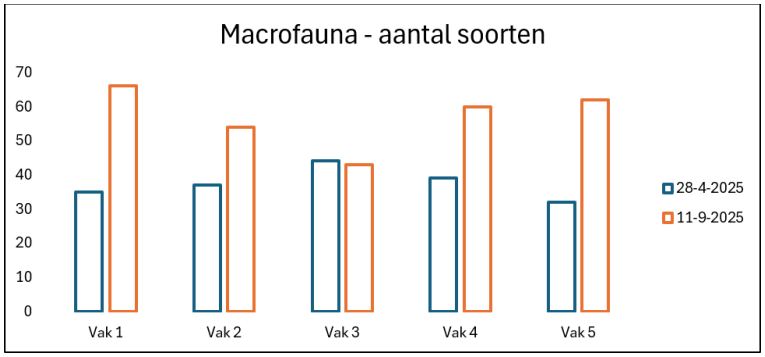




Figuur 11 Links: het percentage kranswiertakken met voortplantingsorganen in de verschillende onderzoeksvakken van geul 28 (vak 1 = koud, vak 5 = warm) in 2025. Rechts: Foto van geul 28 met kranswieren onder water.

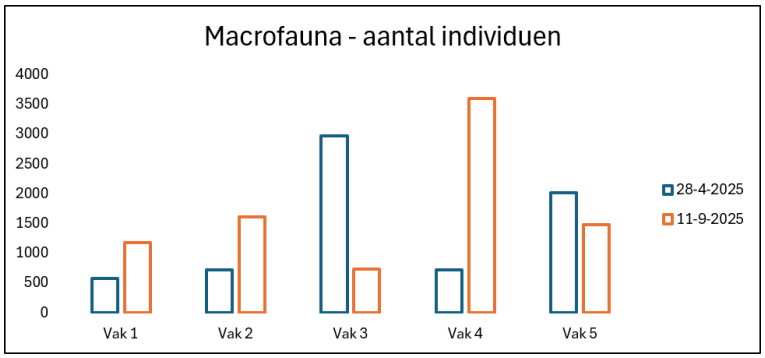
5.2 Macrofauna

De samenstelling van de macrofaunagemeenschappen en vooral het aantal individuen verschilt tussen de onderzoeksvakken en de seizoenen, maar hierbij is er geen verband met de temperatuurgradiënt (Figuur 12 en 13). Hetzelfde geldt voor de Shannon diversiteitsindex (Figuur 14). Het verschil in soortensamenstelling werd niet groter naarmate vakken verder van elkaar lagen. Dit geldt zowel voor april als september. Verder valt op dat in april in vak 3 de meeste soorten en individuen aanwezig zijn, terwijl in ditzelfde vak het aantal plantensoorten (en diversiteit) op de oever het hoogst is. In september is het aantal soorten macrofauna en individuen echter het laagst in dit vak.



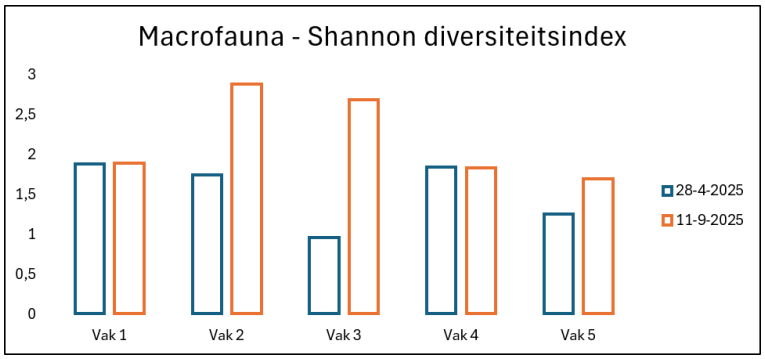


Figuur 12 Het aantal macrofaunasoorten in de verschillende onderzoeksvakken in april en september 2025. Rechts: Viervlek.





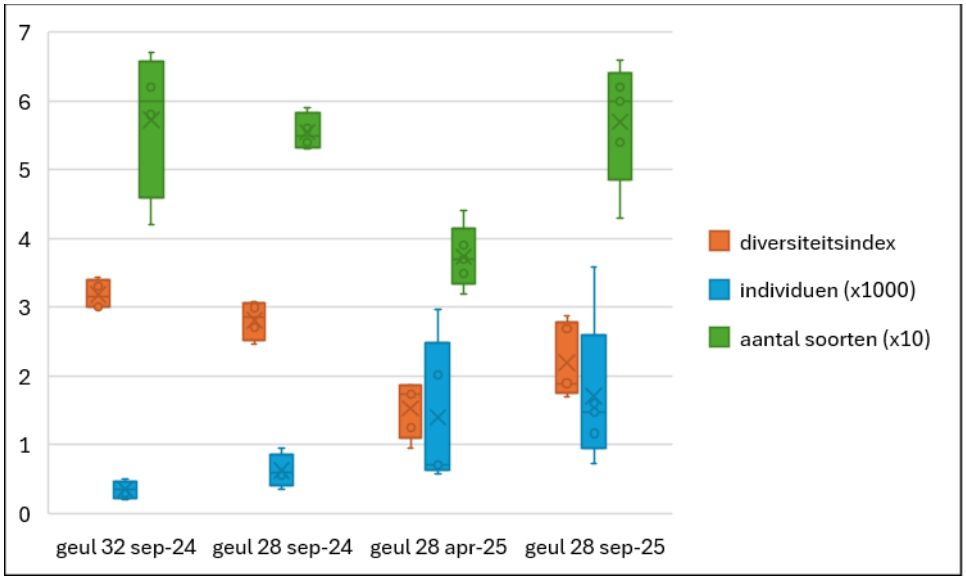
Figuur 13 Het aantal individuen macrofauna in de verschillende onderzoeksvakken in april en september 2025. Rechts: Lantaarntje.



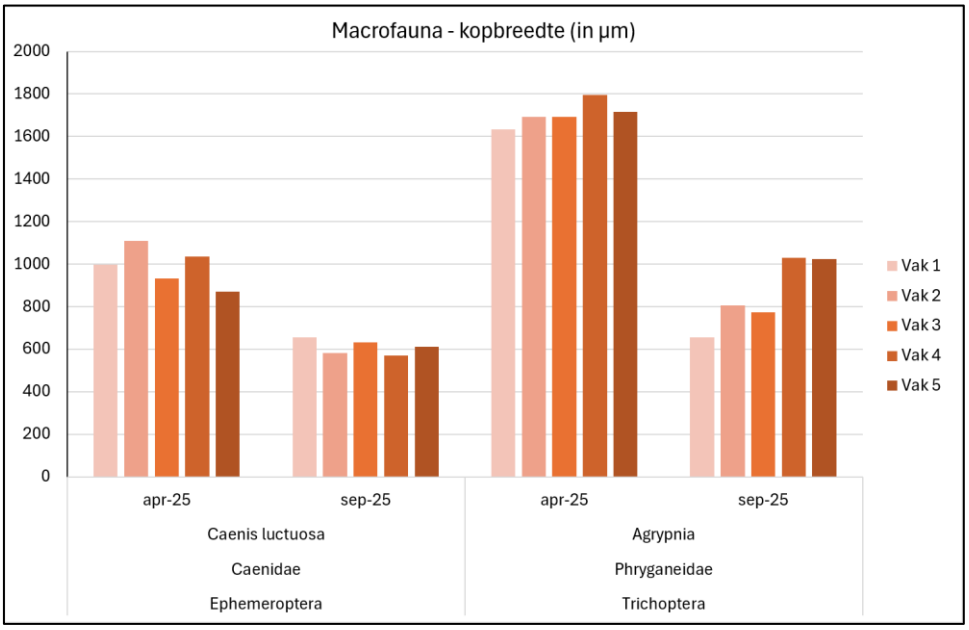


Figuur 14 De Shannon biodiversiteitsindex op basis van macrofaunasoorten in de verschillende onderzoeksvakken in april en september 2025.

Het aantal soorten macrofauna was veel hoger in september dan april, maar het aantal individuen was vergelijkbaar (Figuur 12, 13 en 15). Ook was het aantal soorten in september 2025 vergelijkbaar met het aantal soorten in september 2024 (Figuur 15). Alleen was toen de variatie tussen onderzoekslocaties minder groot. Geul 32 had in 2024 zowel een vergelijkbaar aantal soorten als een vergelijkbare variatie tussen onderzoekslocaties. Opvallend is dat het aantal individuen (en de variatie daarin) in 2025 een stuk hoger ligt dan in geul 28 en 32 in 2024. Het is niet duidelijk waar dit door veroorzaakt wordt. De Shannon diversiteitsindex ligt ook lager dan in 2024. Van zes taxonomische groepen van eendagsvliegen (Ephemeroptera), schietmotten (Trichoptera) en libellen (Odonata) met in totaal 29 soorten zijn ook de kopbreedtes opgemeten in april en september, als maat voor de grootte van de individuen. Er kwamen maar een aantal soorten in voldoende hoeveelheden in alle vakken voor. In Figuur 16 staan de kopbreedtes van de ochtendslijkhaft (*Caenis luctuosa*) en de schietmot (*Agrypnia* spec.) weergegeven. Beide soorten hebben in september in alle vakken een smallere kop dan in april. Dit komt omdat deze soorten in het voorjaar uitvliegen en eieren leggen. In september wordt dus de volgende generatie gemeten. Bij de schietmot is sprake van een toenemende kopbreedte naarmate het water in de vakken warmer wordt. Bij de ochtendslijkhaft neemt de kopbreedte juist enigszins af in de gradiënt van koud naar warm. Lagere temperaturen vertragen over het algemeen de groeisnelheid en verlengen de ontwikkelingsfases, waardoor individuen groter worden en later uitvliegen[7,8].



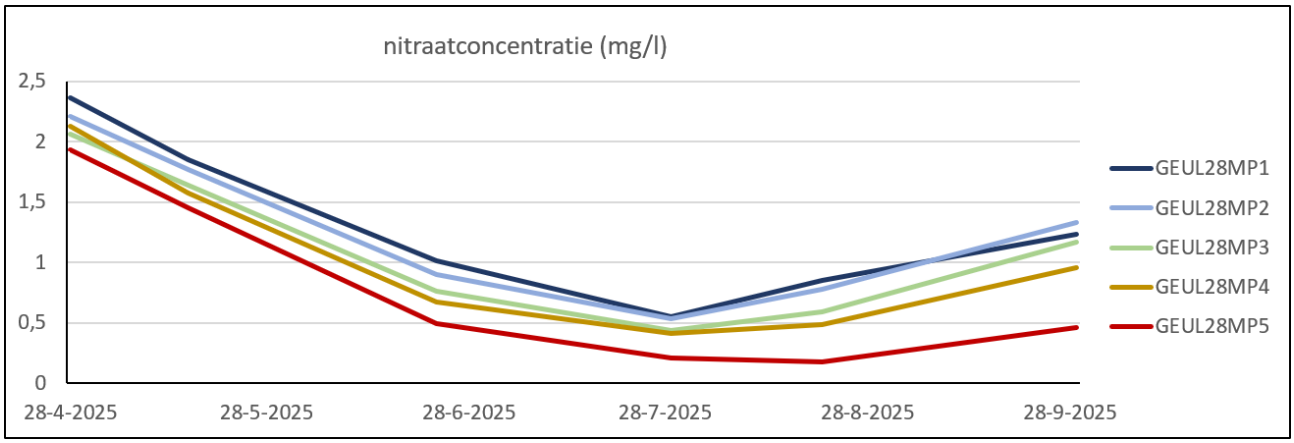
Figuur 15 Gemiddelde waarden van de Shannon biodiversiteitsindex, aantal individuen en aantal soorten macrofauna in de bemonsterde geulen in september 2024 (n=4), april 2025 (n=5) en september 2025 (n=5). Kruis = gemiddelde, balk = interkwartielafstand, foutbalken = minimale/maximale waarden.



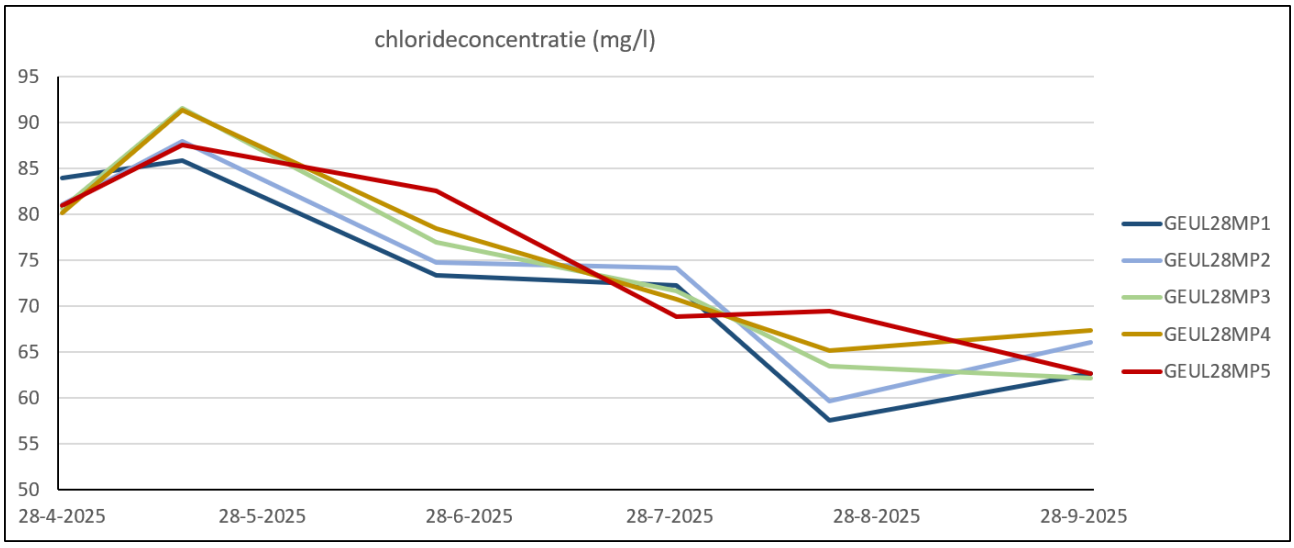
Figuur 16 Gemiddelde kopbreedte (in µm) van twee macrofaunasoorten in de verschillende onderzoeksvakken in april en september 2025.

5.3 Waterkwaliteit

De waterkwaliteit is maandelijks gemeten in elk vak van geul 28 van april t/m september 2025. Voor calcium, bicarbonaat en nitraat (Figuur 17) is te zien dat elke vak een vergelijkbaar patroon vertoont gedurende het seizoen. De concentratie is daarbij het hoogste dicht bij de inlaat in vak 1 en het laagste in vak 5. Hetzelfde geldt voor de EGV, die afneemt door het jaar heen, maar waarbij vak 1 een hogere EGV houdt dan vak 5. Voor chloride is een afwijkend patroon zichtbaar waarbij de concentratie het hoogst is in de vakken met de meeste afkoeling in april, maar al vrij snel sterker afneemt dan in de vakken met minder afkoeling (Figuur 18).



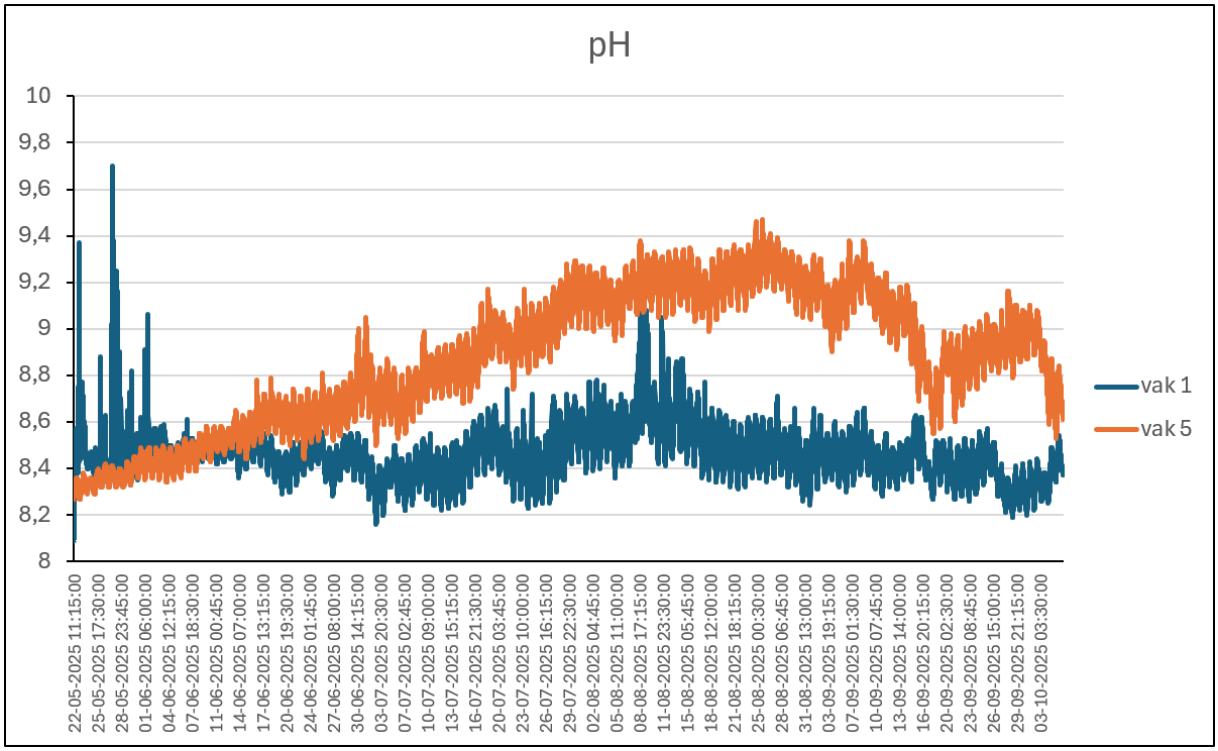
Figuur 17 Verloop van de nitraatconcentratie in de tijd voor elke vak in geul 28.



Figuur 18 Verloop van de chlorideconcentratie in de tijd voor elke vak in geul 28.

In het warmste vak nam de pH in de loop van de tijd toe, terwijl deze in het koudste vak relatief stabiel bleef (Figuur 19). Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de snellere groei van fytoplankton en epifyten bij een hogere temperatuur en daardoor een grotere opname van CO_2 uit het water. Met het softwareprogramma PHREEQC zijn vervolgens berekeningen gedaan om de calcietverzadiging en de potentiële calcietprecipitatie (kalkneerslag) te bepalen. Hiervoor zijn de temperatuur, pH en de concentraties calcium en bicarbonaat gebruikt. De calcietprecipitatie lag gemiddeld 4% hoger in het warmste vak (11.23 ± 1.41 mg/l) dan in het koudste vak (10.78 ± 2.05 mg/l). De hypothese is dat dit veroorzaakt wordt door de grotere fotosynthese en CO_2-opname in het warmste vak en daardoor hogere pH. In water met een hogere pH kan minder kalk oplossen. De verwachting is dat het verschil in kalkneerslag de infiltratiesnelheid negatief beïnvloedt. In het koudste vak treedt minder kalkneerslag op,

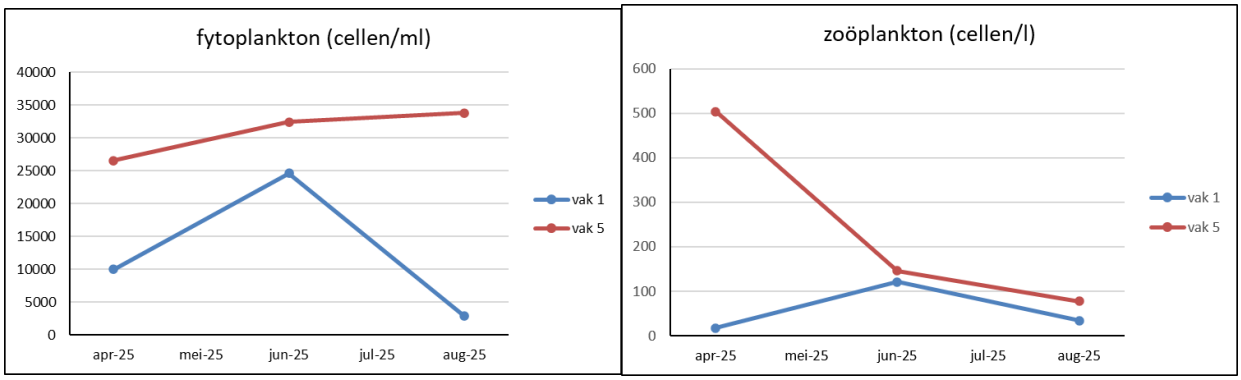
waardoor de waterbodem minder snel dichtslaat. Hoewel het verschil tussen de vakken relatief klein is, is er wel een duidelijke verklaring voor.



Figuur 19 Verloop van de pH in de tijd in vak 1 en 5 in geul 28.

5.4 Fyto- en zoöplankton en diatomeeën

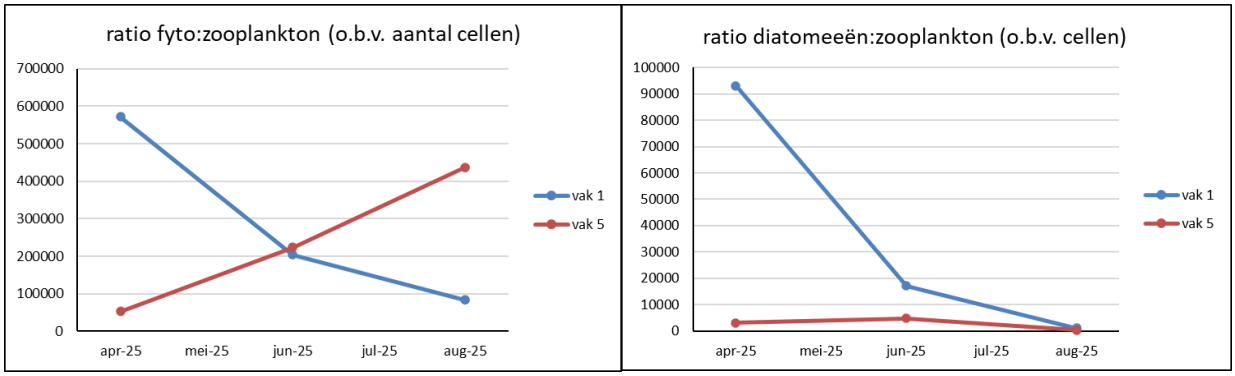
Voor fytoplankton geldt dat er meer cellen/ml aanwezig zijn in vak 5 dan in vak 1. Het aantal cellen en het biovolume (in mm^3/l; Bijlage II) neemt drastisch af in vak 1 in augustus (Figuur 20). In vak 5 neemt het biovolume juist toe in augustus.
Vak 5 heeft al vanaf de nulmeting in april meer soorten zoöplankton, meer individuen (Figuur 20) en meer biovolume (Bijlage II) dan vak 1, maar dit verschil wordt wel kleiner in de zomer. Dit leidt uiteindelijk tot een hogere diversiteitsindex in vak 1 dan in vak 5 in augustus (Bijlage II).



Figuur 20 Het aantal cellen fytoplankton (per ml) en zoöplankton (per l) in vak 1 en 5 gedurende het groeiseizoen van 2025.

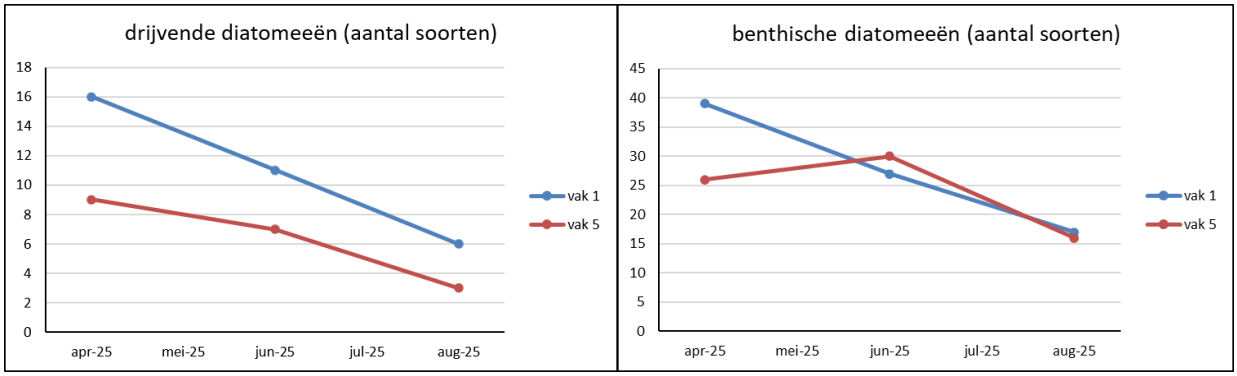
De verhouding tussen de aantallen fyto- en zoöplankton gedurende de zomer daalt sterk in vak 1, terwijl deze verhouding juist sterkt stijgt in vak 5 (Figuur 21). Het lijkt erop dat afkoeling zorgt voor relatief meer begrazing van fytoplankton door zoöplankton en dat dit effect bij warmere temperaturen gemaskeerd wordt door een hogere

fytoplanktongroei. De verhouding tussen vrij in het water zwevende diatomeeën en zoöplankton daalt ook sterk in vak 1, terwijl deze verhouding laag blijft en verder daalt in vak 5.



Figuur 21 De verhouding tussen het aantal cellen fytoplankton en zoöplankton (links) en tussen het aantal cellen drijvende diatomeeën en zoöplankton (rechts).

Het aantal en biovolume drijvende diatomeeën is alleen in juni hoger in vak 1 dan in vak 5 (Bijlage II). Het aantal soorten en de diversiteitsindex is steeds hoger in vak 1, maar nemen in beide vakken af in de tijd (Figuur 22). Het aantal soorten benthische diatomeeën en de diversiteit daarvan verschillen weinig tussen vak 1 en 5, maar nemen in beide vakken af in de tijd (Figuur 22 en Bijlage II). Benthische diatomeeën leven op een substraat (bijvoorbeeld op riet of waterplanten). Vaak reageren ze sterk en snel op veranderingen in de waterchemie en zijn daarom belangrijke indicatoren voor de waterkwaliteit en ecologische toestand van een waterlichaam. Hier zijn alleen kwalitatieve analyses aan gedaan.



Figuur 22 Het aantal soorten drijvende en benthische diatomeeën in vak 1 en 5 gedurende het groeiseizoen van 2025.

In Bijlage III is te zien dat veel soorten benthische diatomeeën, fytoplankton en zoöplankton in zowel vak 1 als vak 5 voorkomen. Voor diatomeeën en fytoplankton geldt echter dat de meeste soorten alleen in vak 1 of in vak 5 voorkomen. Er vindt dus wel degelijk een verschuiving van soorten plaats door het creëren van de temperatuurgradiënt zonder dat dit duidelijke gevolgen heeft voor de biodiversiteit.

5.5 Ecologische Kwaliteitsratio

Er zijn deelscores van de EKR (Ecologische Kwaliteitsratio) berekend voor watertype M23 (Grote ondiepe kalkrijke plassen) binnen de Kaderrichtlijn Water (KRW), voor zover er data beschikbaar was om dit te kunnen doen. Zo is de deelscore voor fytoplankon gebaseerd op algenbloei en niet op chlorofyl-a. Voor macrofauna is de deelscore gebaseerd op soortgroepen. De totale EKR-score bedroeg uiteindelijk 0,65 in vak 1 en 5, en 0,625 in vak 2, 3 en 4. Ondanks deze subtiele verschillen vallen de EKR-scores allemaal binnen de kwaliteitsklasse “goed”.

6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

6.1 Werking en beheer

De opzet van de proef heeft goed uitgepakt: de gecreëerde thermische gradiënt geeft de mogelijkheid om voor verschillende mate van afkoeling te meten wat de ecologische effecten zijn van een bepaalde deltaT.

De mate van afkoeling in het vak 1 varieerde hierbij tussen de 2 en 5 °C (gemiddeld ca. 3 °C in juli en augustus) – in de praktijk werd dit vooral beperkt door de vervuiling van de warmtewisselaar. Een grotere afkoeling zou in theorie mogelijk zijn door meer koud water te verpompen. Dit is echter praktisch niet mogelijk doordat het beschikbare elektrische vermogen van de huidige pomp het maximaal haalbare is. De leverancier van de warmtewisselaar gaf aan dat bijplaatsen van een extra warmtewisselaar (zonder extra koelwater) maar beperkt effect zal hebben. Het verhoogt de operationele kosten wel sterk doordat dan meerdere warmtewisselaarpakketten mechanisch moeten worden gereinigd.

De maximaal te realiseren afkoeling met de proefinstallatie ligt in dezelfde bandbreedte als de afkoeling die te verwachten is bij grootschalige warmtewinning uit de WRK-leiding waarbij het water in de leiding tot 15 °C wordt afgekoeld (zie [1]). Deze bedraagt gemiddeld over de geulen in de meest extreme maand 1,2 °C (maximale afkoeling 4,9 °C). Opgemerkt wordt dat voor het aquathermieproject Nieuw Legmeer (Amstelveen) de gemiddelde afkoeling in de infiltratiegeulen 0,1 °C bedraagt (en maximaal 0,6 °C). Een verschil met de praktijktoepassing en de huidige proef is wel dat bij de praktijktoepassing de afkoeling in de WRK-leiding plaatsvindt, terwijl in de proef de afkoeling direct in de geulen plaatsvindt. Mogelijk vindt er enige afsterving van plankton plaats in de warmtewisselaar in de proef (hoewel er geen filtering plaatsvindt), wat in de praktijkopstelling bij warmtewinning in de WRK-leiding niet te verwachten is (het is voorgezuiverd rivierwater zonder deeltjes).

Er zijn verschillende manieren onderzocht om de warmtewisselaar schoon te houden. Hiervan is mechanisch reinigen het enige dat echt goed werkt. Hier was in de voorbereiding van het project reeds op geanticipeerd door een reserveplatenpakket te huren. Het platenpakket wordt dan gewisseld en het vervuilde platenpakket wordt op een externe locatie schoongespoten. Het terugspoelen heeft mogelijk meer effect als het geautomatiseerd wordt toegepast met een hoge frequentie (enkele keren per dag), al laten resultaten van de aquathermie-proefinstallatie Sloterplas van Waternet/AGV zien dat dit maar in beperkte mate de vervuiling beheerst. Een preventieve maatregel is mogelijk het ontijzeren van het drainwater. Uit opgevraagde informatie bleek echter dat ook dit binnen deze proef niet praktisch uitvoerbaar is (in verband met vereist elektrisch vermogen, ruimte voor zandfilters, en kosten). Opgemerkt wordt dat de ijzervervuiling zeer specifiek is voor de huidige proefopstelling (er wordt immers in de praktijk nooit gebruikt gemaakt van drainwater met colloïdaal ijzer). Het beheersen van deze vervuiling is nuttig voor deze proef, maar heeft geen meerwaarde voor toepassing van aquathermie in Nederland.

In 2026 wordt het platenpakket daarom weer mechanisch gereinigd met een vaste frequentie (iedere twee weken). Om meer inzicht te krijgen in ecologische effecten, ligt het voor de hand om monstername enkele dagen na reiniging plaats te laten vinden, liefst in relatief warme perioden, zodat de afkoeling maximaal is. Verder worden de volgende aanpassingen gedaan:

- De bypass verlengen (zodat deze in vak 5 uitkomt), en
- De duiker beter afsluiten, zodat lekkage in vak 1 voorkomen wordt.

6.2 Waterkwaliteit en aquatische ecologie

De aanvoer van koud water uit de warmtewisselaar zorgde binnen vijf maanden voor meetbare verschillen tussen de verschillende vakken van de infiltratiegeul. Deze verschillen zijn relatief klein gezien de extreme situatie die in proefopzet wordt gebruikt: al het water wordt immers door de warmtewisselaar geleid. De verschillen leidden dan ook niet duidelijk tot een betere of slechtere ecologische kwaliteit. Voor warmtewinning bij aquathermiesystemen in oppervlaktewater (TEO) geldt dat altijd maar een deel van het doorstromende water door de warmtewisselaar wordt geleid en niet 100% van het water. Daarom is het de verwachting dat bij TEO-systemen, waarbij bijvoorbeeld maar 10% van het doorstromende water door de warmtewisselaar gaat, de effecten nog kleiner zullen zijn. Van de andere kant is een infiltratiegeul heel anders dan een ander soort oppervlaktewater (zoals een plas of rivier).

De grootste verschillen werden gevonden in de waterkwaliteit. In de koudere vakken namen de concentraties nitraat, calcium en bicarbonaat minder sterk af in de tijd dan in de warmere vakken. Ook was de zuurgraad (pH) hoger in het warmste vak en veelal hoger dan 9. Dit kan zorgen voor fysiologische stress bij aquatische organismen, zeker in combinatie met hogere temperaturen. Daarnaast kwam er in het koudste vak minder fytoplankton voor dan in het warmste vak, wat als een positief effect van de koudelozing gezien kan worden (minder kans op algenbloei). Bovendien daalde de verhouding tussen fyto- en zoöplankton in het koudste vak, terwijl deze verhouding steeg in het warmste vak. De kans op algenbloei neemt daardoor toe in het warmste vak. Dit wijst erop dat biologische processen anders en mogelijk langzamer verlopen door de lagere temperatuur. Het aantal soorten diatomeeën wordt niet (negatief) beïnvloed door de temperatuurgradiënt.

Berekeningen lieten zien dat er in het warmste vak 4% meer kalk (calciet) neersloeg door de hogere pH, wat een negatief effect heeft op de infiltratiesnelheid. Afkoeling zorgt dus voor minder kalkneerslag en een betere infiltratie. Voor macrofyten en macrofauna waren de effecten beperkt en verschillend per soortgroep. Wat kranswieren betreft verschilde alleen de dominantie van soorten over de gradiënt. Verwachte verschillen in de samenstelling van macrofauna werden niet gevonden. De macrofaunagemeenschappen vertoonden wel ruimtelijke variatie, maar de verschillen in soortensamenstelling werden niet groter naarmate de temperatuurverschillen toenamen.

Er zijn enkele aanwijzingen dat de ontwikkeling van insecten anders verliep in het koudste dan in het warmste vak, maar over het geheel beschouwd bleef de Ecologische Kwaliteitsratio in alle vakken vergelijkbaar en binnen dezelfde kwaliteitsklasse (goed). Wel moet hierbij worden aangemerkt dat er gegevens ontbreken om alle deelscores goed te kunnen berekenen, zoals chlorofyl-a. Deze parameter wordt daarom wel gemeten in 2026. Bovendien zijn deze scores bedoeld om relatief grote veranderingen in ecologische waterkwaliteit te detecteren en niet kleine veranderingen in veldexperimenten.

Omdat de temperatuurverschillen samenvielen met de ligging van de vakken in de geul (in serie achter elkaar), kan niet met zekerheid worden vastgesteld dat de gevonden verschillen daadwerkelijk door de temperatuur zijn veroorzaakt. De resultaten laten wel verbanden zien, maar bewijzen geen direct oorzakelijk verband. Verschillen kunnen dus ook veroorzaakt worden door de ligging: het feit dat het aangevoerde water pas later in het laatste vak komt na passage van de andere vakken.

De aanvoer van koud water had vooral invloed op de waterchemie en mogelijk op de snelheid van biologische processen. Er werden echter geen duidelijke negatieve of positieve effecten op de ecologische kwaliteit gevonden in de verschillende vakken van de infiltratiegeul.

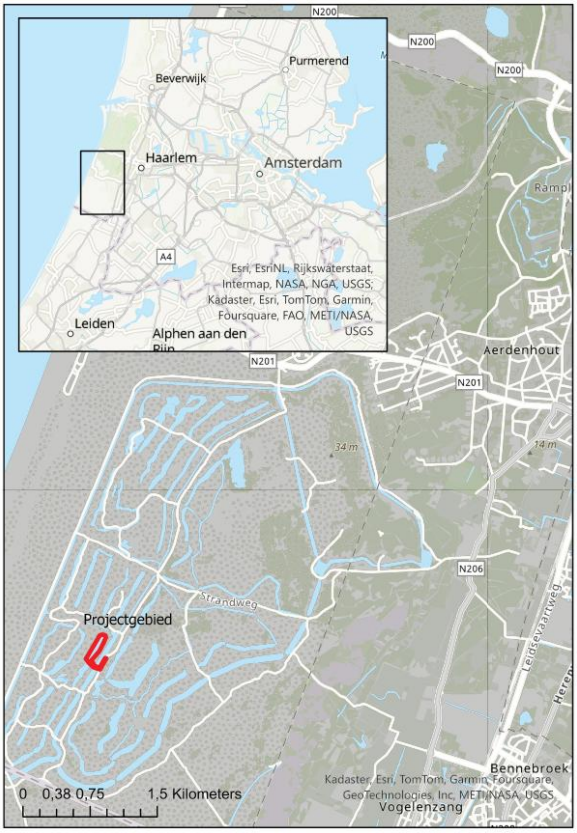
7 Referenties

1. Wachtendonk, A. V., Westenend, J. & Bonte, M. Effect van warmtewinning uit watertransportleidingen op de Amsterdamse Waterleidingduinen. *Stromingen* https://nhv.nu/kennis/stromingen/effect-van-warmtewinning-uit-watertransportleidingen-op-de-amsterdamse-waterleidingduinen/ (2025).
2. Rietveld, M. *Kaders Voor Warmtewinning WRK Leidingen Vanuit PWN* (2025).
3. Frassl, M. & Zavarsky, A. *Ontwikkeling van de Temperatuur van Het Rijnwater van 1978 t/m 2023*. https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/NL/rp_Nl_0301.pdf.
4. Boderie, P., Bergfeld-Wiedemann, T., Frassl, M. & Livrozet, N. *Simulation of the Effects of Climate Change Scenarios on Future Rhine Water Temperature Development – Update IPCC AR5 –*. https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_DeFrNlEn_0302.pdf (2025).
5. Bonte, M., Van Selm, M., Scholten, S., Clevers, S. & Rietveld, M. *Technisch Onderzoeksplan Experimentele Koudelozing Amsterdamse Waterleidingduinen* (2025).
6. Clevers, S. & Geurts, J. (2025). *Monitoringsplan Ecologisch Onderzoek Effecten Warmtewinning Uit De WRK*. KWR rapport 2024.077.
7. Bonacina, L., Fasano, F., Mezzanotte, V., & Fornaroli, R. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: A systematic review. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 98(1), 191–221. https://doi.org/10.1111/brv.12903
8. Verberk, W. C. E. P., Atkinson, D., Hoefnagel, K. N., Hirst, A. G., Horne, C. R., & Siepel, H. (2021). Shrinking body sizes in response to warming: Explanations for the temperature–size rule with special emphasis on the role of oxygen. Biological Reviews, 96(1), 247–268. https://doi.org/10.1111/brv.12653

I Opzet Praktijkproef Koudelozing – Amsterdamse Waterleidingduinen

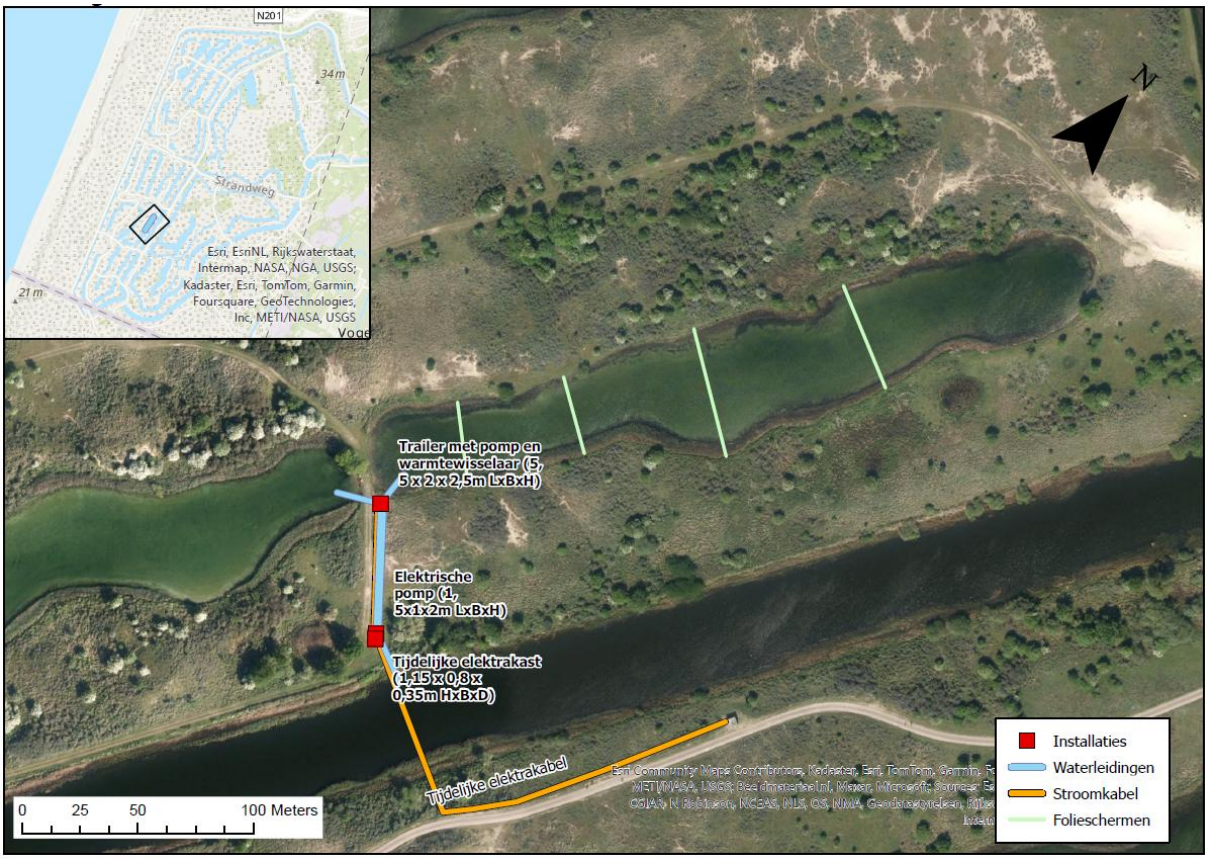
I.I Inleiding

Om de ecologische effecten van aquathermie beter te begrijpen, wil Waternet een onderzoek doen waarbij in een praktijkproef wordt gemeten wat de effecten zijn van een koudelozing op de waterkwaliteit en de aquatische ecologie. Hiervoor zal rond geul 28 in de AWD een tijdelijke installatie worden geplaatst. De installatie bestaat grofweg uit leidingen, pompen, warmtewisselaars en folieschermen (om proefvakken te scheiden). Figuur I.1 geeft een overzicht van waar de installaties naar verwachting geplaatst zullen worden.



Figuur I.1 - Overzichtskaart van de 'kop' van geul 28 waar de werkzaamheden zullen plaatsvinden.

Het doel van de installaties is om water uit de zuidelijke geul te pompen, dit water af te koelen met een warmtewisselaar en koelwater uit een put (U11), en het gekoelde water in te brengen in de noordelijke geul. Om verschillende proefvakken te creëren worden vier slibschermen geplaatst over de volle waterdiepte. Figuur I.2 geeft een beeld van waar leidingen, slibschermen en installaties zullen komen. Deze bijlage geeft een overzicht van wat de verschillende componenten inhouden en wat er naar verwachting nodig is om ze te plaatsen en verwijderen.



Figuur I.2 - Overzicht van geplande installaties.

I.II Waterleidingen

In totaal wordt circa 160-180 aan waterleidingen (100 mm DN) gelegd (afhankelijk van het tracé, wat in het veld onder begeleiding van een ecoloog geoptimaliseerd kan worden). De leidingen worden zo dicht bij de locatie als mogelijk geleverd door een vrachtwagen. De leiding komt op het maaiveld te liggen. Installatie en verwijdering zijn handwerk (de leidingen kunnen getild worden en worden met snelkoppelingen aan elkaar verbonden). Ter plaatse van het zandpad tussen geul 28 noord en zuid wordt de leiding ingegraven.



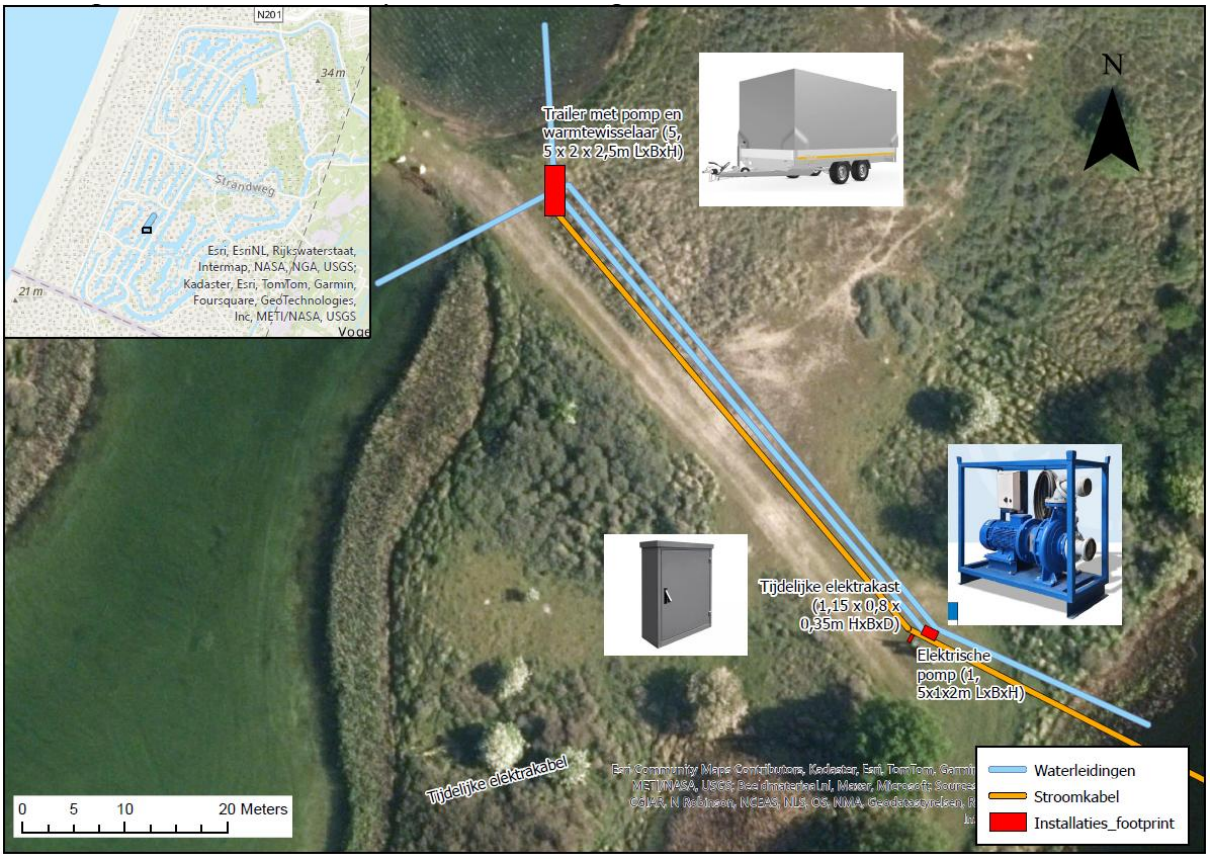
Voorbeeld 100 mm DN PE buis

I.III Elektriciteitsleiding

Vanuit transformatorhuis E32 aan de overzijde van het Rechte Schusterkanaal wordt een tijdelijke elektriciteitskabel aangelegd. Deze ligt op de bodem van het kanaal. Op land ligt de kabel op maaiveld (eventueel beschermd met een gevlochten beschermingssleeve). Nabij de U-bak wordt een tijdelijke buitenkast geplaatst.

I.IV Installaties: pompen en warmtewisselaar

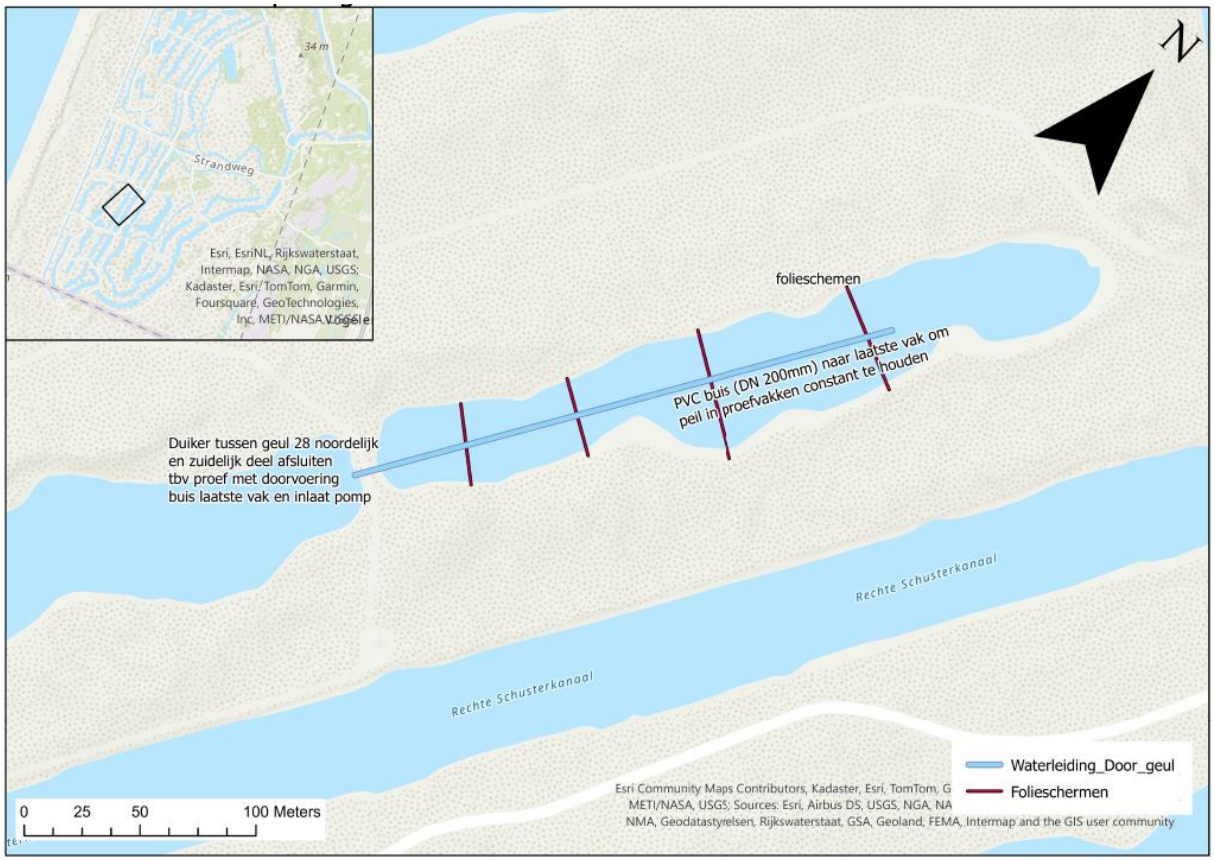
Er worden twee pompen geplaatst, beide elektrisch: één pomp om water te onttrekken in de U-bak (dit is een verzamelbak van drains die als koudebron fungeert) en één pomp om water te onttrekken vanuit de geul. Het geulwater wordt afgekoeld met een warmtewisselaar met het water dat uit de U-bak komt en geloosd in het eerste proefvak. De warmtewisselaar en één pomp worden in een trailer geplaatst. De andere pomp komt naast een betonnen U-bak geplaatst.
De pompen zullen nagenoeg continu draaien in de periode mei t/m september. Daarbij betrekken ze netstroom uit de nabijgelegen aansluiting. Er wordt tijdens die periode koud water geloosd op <5% van het totale areaal van het waterlichaam. Het bevoegd gezag voor dit waterlichaam, het Hoogheemraadschap van Rijnland, heeft aangegeven hier geen bezwaar tegen te hebben.



Figuur I.3 – Overzichtskaart met footprint installaties en foto's. Foto's zijn om grootte en soort installatie aan te geven. Uiteindelijke installatie kan afwijken.

I.V Werkzaamheden in de geul: folieschermen en bypass

De folieschermen worden geplaatst om proefvakken te maken en bestaan naar verwachting uit polyestertextiel met een PVC/nitriel- en UV-werende coating. Ze worden geleverd per vrachtwagen. Plaatsing en verwijdering zijn handmatig, waarbij een aantal personen in het water werken of vanuit een boot werken (diepte circa 0,8m).
De duiker tussen het noordelijk deel en zuidelijk deel van geul 28 wordt afgesloten, zodat het eerste proefvak alleen water via de pomp krijgt.
Onder de folieschermen wordt een pvc-buis gelegd vanaf de duiker naar het laatste vak. Hiermee wordt het waterniveau in het laatste vak op peil gehouden. Dit zorgt tevens dat het waterniveau op peil blijft ingeval de pomp uitvalt.



Figuur I.4 – Plaatsing folieschermen, afsluiten duiker en bypass naar laatste vak.

Overige uitgangspunten

- Werkzaamheden voor installatie apparatuur gebeuren alleen overdag
- Intrusieve en/of potentieel verstorende werkzaamheden (graven/plaatsen slibschermen) vinden plaats buiten broedseizoen. Locaties waar gewerkt gaat worden, worden eerst geïnspecteerd door een ecoloog en indien noodzakelijk aangepast indien er verblijfplaatsen van dieren voorkomen.
- De koude wordt geloosd in zomermaanden, wanneer de oppervlaktewatertemperatuur boven de 15°C komt
- Duur van de proef: zomer 2025 en 2026, eventuele uitloop 2027
- In de periode waarin de proef niet draait worden pompen en leidingen verwijderd.

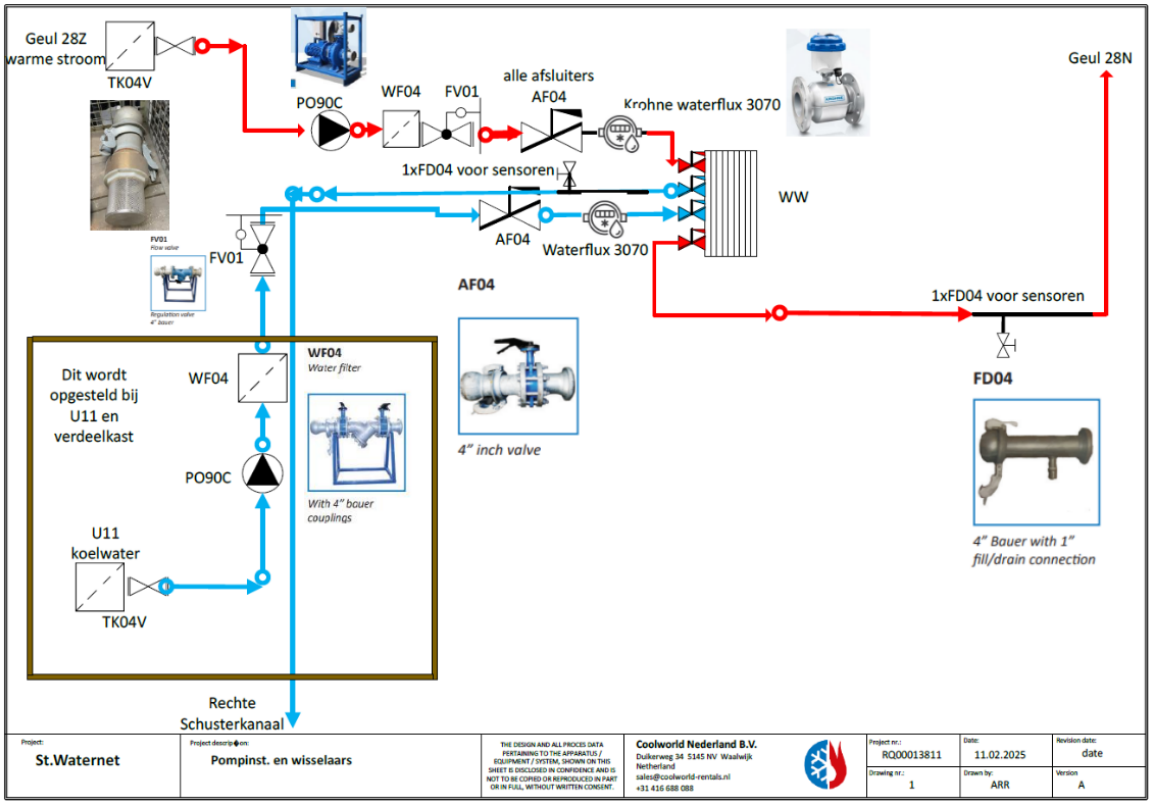

Geul 28Z
warme stroom
TK04V
PO90C
WF04
FV01
alle afsluiters
AF04
Krohne waterflux 3070
Geul 28N
1xFD04 voor sensoren
WW
AF04
Waterflux 3070
FV01
AF04
4" inch valve
1xFD04 voor sensoren
FD04
4" Bauer with 1" fill/drain connection
Dit wordt opgesteld bij U11 en verdeelkast
WF04
Water filter
With 4" bauer couplings
PO90C
U11 koelwater
TK04V
Rechte Schusterkanaal
St.Waternet
Pompinst. en wisselaars
Coolworld Nederland B.V.
Dukerweg 34 5145 NV Waalwijk
Netherland
sales@coolworld-rentals.nl
+31 416 688 088
RQ00013811
11.02.2025
date
1
ARR
A

Plate Heat Exchanger Specification

Model : **TSG100D-185**
Item :

Date : 13-2-2025

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m³	998.1	998.9
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.19	4.20
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.599	0.594
Viscosity.inlet	cP	1.01	1.24
Viscosity.outlet	cP	1.14	1.09
Volume flow rate	m³/h	90.0	90.0
Inlet temperature	°C	20.0	12.0
Outlet temperature	°C	15.0	17.0
Pressure drop	kPa	74.0	74.2
Heat exchanged	kW	522.9	
L.M.T.D.	K	3.0	
O.H.T.C clean conditions	W/(m²*K)	5347	
O.H.T.C service	W/(m²*K)	4313	
Heat transfer area	m²	40.3	
Fouling resistance * 10000	m²*K/W	0.45	
Duty margin	%	24.0	
Rel. directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		185	
Effective plates		183	
Number of passes		2	2
Plate material / thickness		Titanium / 0.50 mm	
Sealing material			
Connection size		DN100	DN100
Design/Test pressure	barg	10	10
Design temperature	°C	20.0	20.0

Performance is conditioned on the accuracy of customer's data and customer's ability to supply equipment and products in conformity therewith.

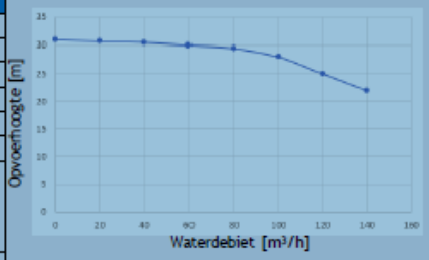
TECHNISCHE SPECIFICATIES

Randapparatuur

Pompen PO90C

Afmetingen						
Afmetingen [mm]	Lengte	1200	Breedte	475	Hoogte	900
Leeggewicht	170 kg					
Wateraansluiting	DN100		Opvoerhoogte (max.)[m]			31

Pomp specificaties	
Waterdebiet [m³/h]	Opvoerhoogte [m]
0	31
20	30,7
40	30,5
60	30
80	29,5
100	28
120	25
140	22



Elektrische specificaties						
Stroomvoorziening	Spanning	400 V	Frequentie	50	Fasen	3
Elektrische aansluiting[A]	63 A CEE		Stroom (nominaal)			22
Opgenomen vermogen kW	15		Aanbevolen zekeringen		32	A
Startwijze					Ster driehoek	

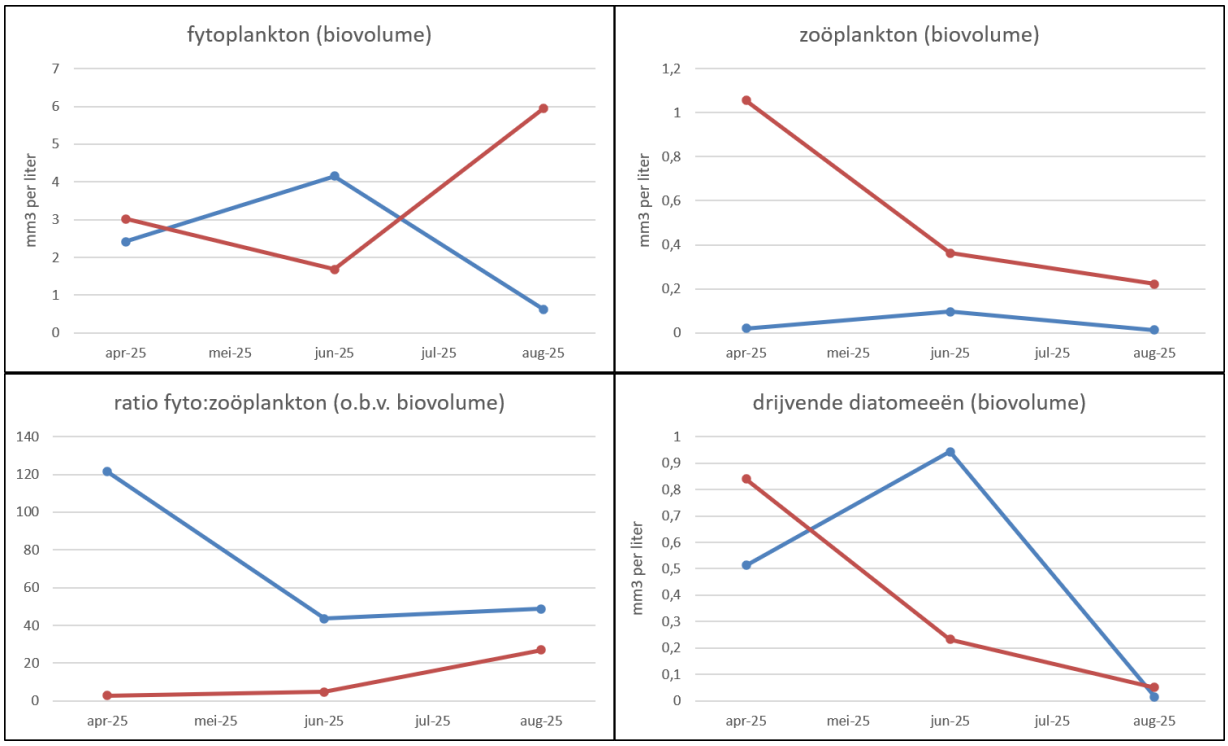
Inlaatkorf

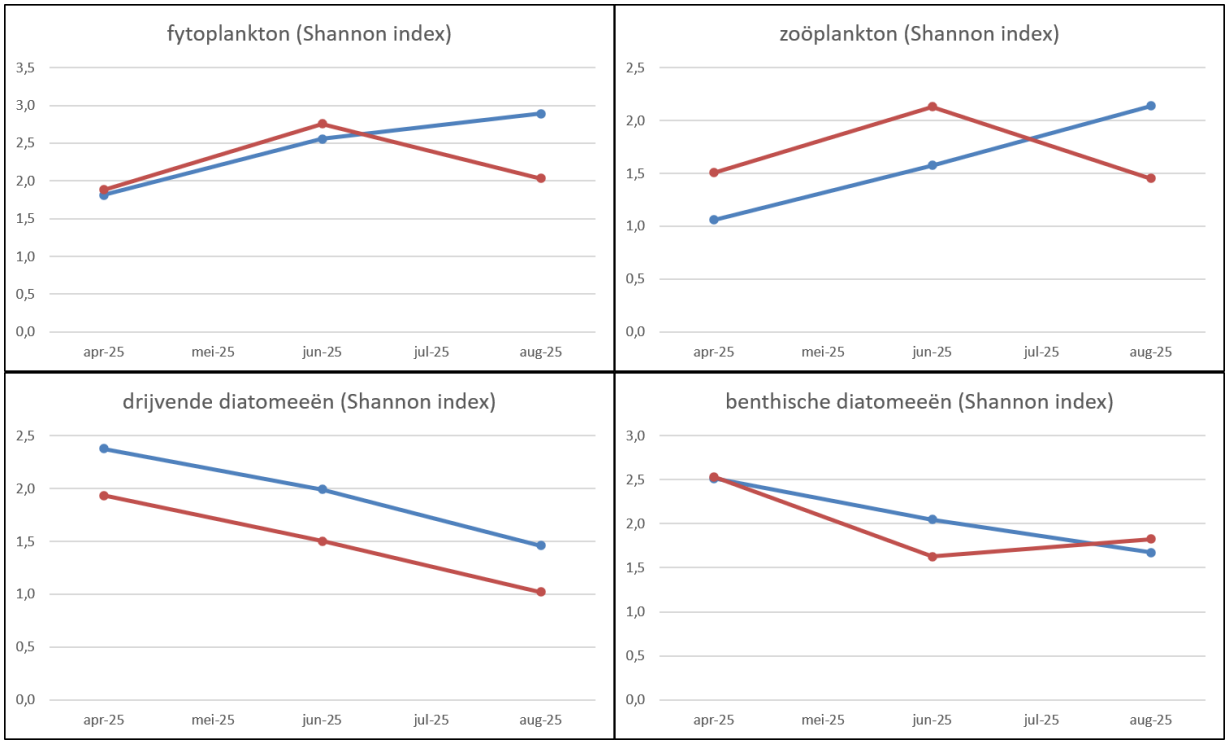


Beschrijving

Type	TSS-4	TSS-8
Flens aansluiting	DN150	DN200
Screen maatvoering	405×500	624×600
Nominale capaciteit leiding< 1m/s	65 m/3/uur	110 m/3/uur
min. Oppervlakte voor 0,1 m/sec	0,18 m/2	0,31 m/2
Open filtratie oppervlakte	0,25 m/2	0,47 m/2
Backwash capaciteit	8 m3/h @ 4-5 bar	10 m3/h @ 4-5 bar

II Biovolume en Shannon diversiteitsindex van fyto- en zoöplankton en diatomeeën





III Aantal soorten benthische diatomeeën, fyto- en zoöplankton in het koudste en warmste vak

