

Toepassing van innovatieve meettechnieken voor het slim monitoren van de waterkwaliteit in ruimte en tijd

G.H. van der Lee, N. van Aarle, J. Appels, S. van Eijk, I. van der Laan, M. Moeleker, B. Schaub, & R.C.M. Verdonschot



Toepassing van innovatieve meettechnieken voor het slim monitoren van de waterkwaliteit in ruimte en tijd

G.H. van der Lee¹, N. van Aarle², J. Appels³, S. van Eijk², I. van der Laan⁴, M. Moeleker², B. Schaub⁵, & R.C.M. Verdonschot¹

1 Wageningen Environmental Research

2 AQUON

3 MicroLAN B.V.

4 Waterschap de Dommel

5 Hoogheemraadschap van Rijnland

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek projectnummers BO-60-004-005 en BO-43-123-003/BO-43-222-008.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, februari 2025

Gereviewd door:

Lara Schuijt, Onderzoeker aquatische ecologie

Akkoord voor publicatie:

Karin Andeweg, Teamleider Water en Voedsel

Rapport 3415

ISSN 1566-7197

Van der Lee, G.H., N. van Aarle, J. Appels, S. van Eijk, I. van der Laan, M. Moeleker, B.E.M. Schaub, R.C.M. Verdonshot, 2025. *Toepassing van innovatieve meettechnieken voor het slim monitoren van de waterkwaliteit in ruimte en tijd*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3415. 64 blz.; 33 fig.; 2 tab.; 42 ref.

Trefwoorden: ecosysteem functioneren, hersteleecologie, monitoren, sensoren, macrofauna, ruimte, tijd

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/687022> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan).

Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2025 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3415 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: de Navigator-voerboot in het slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen (Gea van der Lee).

Inhoud

Verantwoording	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Schets kennisbehoefte	11
1.2 Doel en vraagstelling	12
1.3 Leeswijzer	12
2 Gebiedsomschrijving	13
2.1 Beekstelsysteem de Run	13
2.2 Slootstelsysteem in de Nieuwkoopse Plassen	15
3 Materiaal en methode	18
3.1 Beekstelsysteem de Run	19
3.1.1 Biotiek	19
3.1.2 Abiotiek	19
3.2 Slootstelsysteem in de Nieuwkoopse Plassen	20
3.2.1 Biotiek	20
3.2.2 Abiotiek	20
3.3 Data-analyse	21
3.3.1 Macrofauna knelpuntenanalyse	21
3.3.2 Vergelijking gegevens sensoren met steekmonsters	21
3.3.3 Detecteren afvoerpieken (alleen Run)	22
3.3.4 Ordinatie water- en bodemkwaliteit (alleen Nieuwkoop)	22
4 Resultaten & discussie	25
4.1 Beekstelsysteem de Run	25
4.1.1 Effect van het herstelproject op de macrofaunagemeenschap	25
4.1.2 Opname pieken uit de landbouw door de moerasbeek	28
4.2 Slootstelsysteem in de Nieuwkoopse Plassen	33
4.2.1 Verandering in macrofaunagemeenschap langs de verrijgingsgradiënt	33
4.2.2 Mogelijk verklarende stressoren	34
5 Ervaringen en aanbevelingen innovatieve meettechnieken	44
5.1 QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse	44
5.2 Innovatieve sensortechnieken	45
Literatuur	46
Bijlage	48



Verantwoording

Rapport: 3415

Projectnummer: BO-60-004-005 en BO-43-123-003/BO-43-222-008

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker aquatische ecologie

naam: Lara Schuijt

datum: 21-01-2025

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Karin Andeweg

datum: 16-01-2025

Samenvatting

Aanleiding

Hoewel de waterkwaliteit de afgelopen jaren is verbeterd, is de gewenste toestand van veel waterlichamen in Nederland momenteel nog ontoereikend. Voor deze waterlichamen is herstel noodzakelijk om de gestelde waterkwaliteitsdoelen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) te bereiken en om de biodiversiteit op orde te krijgen. Om effectieve maatregelen te kunnen nemen om het gewenste herstel te realiseren, is het belangrijk per waterlichaam de oorzaken van de ontoereikende toestand vast te stellen. Met het huidige meetnet van de waterbeheerders is het diagnosticeren van knelpunten maar beperkt mogelijk.

Een betrouwbare diagnose vraagt namelijk om een fijnmaziger meetnet in ruimte en tijd. Het opschalen van de metingen is met de standaard methoden echter een arbeidsintensieve en daarmee kostbare aangelegenheid. Uitgaande van een gelijkblijvend monitoringsbudget is het daarom van belang eenvoudige en snel uitvoerbare methoden in te zetten voor het verzamelen en verwerken van monsters. Verschillende methoden zijn hiervoor voorgesteld, waaronder de QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse, in combinatie met de inzet van sensortechnieken. Echter moet de praktische toepasbaarheid van deze methoden in het veld nog worden getoetst in samenwerking met gebruikers.

Doel

Het doel is om te onderzoeken hoe de macrofauna-QuickScanmethode in combinatie met innovatieve sensortechnieken kan worden ingezet om inzicht te krijgen in de knelpunten die spelen in een waterlichaam op een schaal die een relevante ruimtelijke en temporele dekking heeft.

Onderzoeksgebied

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van twee casussen. De eerste casus is het beekstelsel de Run in het beheergebied van Waterschap de Dommel, waar in 2021 ter hoogte van Grootoor een moerasbeek is gerealiseerd. Het onderzochte traject omvatte het gedeelte van de beek tussen de provinciale weg N397 bij Eersel stroomopwaarts tot aan de monding in de Dommel bij Veldhoven. Het zwaartepunt van de metingen lag in het herstelde traject.

De tweede casus is het slootstelsel in het laagveengebied de Nieuwkoopse Plassen in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Rijnland, waar als gevolg van het periodiek inlaten van gedefosfateerd gebiedsvreemd water een verrijgingsgradiënt in nutriënten aanwezig is. Het onderzochte traject is langs deze voedingsstoffengradiënt gelegd en bestond uit negen zijsloten langs de Meesloot, gelegen tussen de Zuiderplas en de kern van het gebied.

Materiaal en methode

In beide gebieden is de macrofauna-Quickscanmethode ingezet, waarbij 1,5 m macrofaunanetmonsters zijn genomen die 'op het oog' tot op het laagst zichtbare taxonomische niveau zijn gedetermineerd. Ter vergelijking zijn voor het beekstelsel de Run naast de 28 QuickScanmonsters ook drie lange termijn KRW-monsters meegenomen in de analyse en voor het slootstelsel in de Nieuwkoopse Plassen zijn de 9 QuickScanmonsters ook tot op het praktisch laagst haalbare taxonomische niveau gedetermineerd, meestal het soortniveau. Stressscores zijn bepaald met de macrofaunaknelpunten-analysetool.

Per gebied is ervoor gekozen om gedeeltelijk verschillende innovatieve sensortechnieken in te zetten, omdat op basis van eerdere metingen van de waterschappen wordt verwacht dat de knelpunten in beide systemen anders zijn. In beekstelsel de Run is debiet gemeten en zijn drie meetpalen met nitraatsensoren geplaatst om anderhalf jaar realtime inzicht te krijgen in het verloop van de nutriëntenconcentraties in het water en te kunnen onderzoeken of pieken als gevolg van uit- en afspoeling van landbouwpercelen worden opgenomen door de moerasbeek. De meetpaal in het midden van het herstelde gebied is ook uitgerust met sensoren die geleidbaarheid, zuurstofconcentratie en temperatuur meten. Daarnaast is eenmalig met een Navigator-voerboot langs het herstelde deel van de beek en zijwatergangen gevaren, om een beeld te krijgen van de ruimtelijke patronen in nitraatconcentraties tijdens een moment van piekbelasting. Met loggers zijn op negen meetpunten de temperatuur- en zuurstoffluctuaties gemeten gedurende twee warme zomerdagen.

In het slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen is elke drie maanden met een Navigator-voerboot langs het onderzochte traject en een aantal zijsloten gevaren om een idee te krijgen van de ruimtelijke patronen van verschillende abiotische knelpunten. De voerboot was voorzien de volgende sensoren: zuurgraad, geleidbaarheid met temperatuur en groen- en blauwalgfluorescentie. De verschillen in de temperatuur- en zuurstoffluctuaties zijn gedurende negen warme zomerdagen gemeten met loggers. Daarnaast is een aantal parameters onderzocht in de negen sloten die niet met de beoogde sensortechnieken kunnen worden gemeten, waaronder macrofyten, rivierkreeften en een biogeochemisch water- en bodemonderzoek.

Beekstelsysteem de Run

Effect van het herstelproject op de macrofaunagemeenschap

Uit de macrofauna-knelpuntenanalyse komt naar voren dat het ontbreken van stroming, het optreden van hoge watertemperaturen en organische belasting de grootste stressoren vormen in het beekstelsysteem de Run. Na uitvoering van de herstelmaatregelen is de stressscore voor stroming iets lager in het traject ter hoogte van het natuurgebied Grootgoor, wat duidt op een positief effect van de herstelmaatregelen op de stromingscondities. Er is (nog) geen verandering opgetreden in de stress door een hoge watertemperatuur, maar de beekbegeleidende vegetaties hebben dan ook langere tijd nodig om te ontwikkelen. De stress door organische belasting lijkt sinds 2013 toegenomen.

Opname pieken uit de landbouw door de moerasbeek

Er zijn verschillende afvoerpieken gedetecteerd in de Run. De toename van het debiet valt telkens samen met de momenten waarop de geleidbaarheid tijdelijk afneemt en de nitraatconcentraties in de beek stijgen. De nitraatconcentraties zijn iets lager bij de uitlaat dan bij de inlaat en het midden van het herstelde gebied. Omdat de nitraatconcentraties precies afnemen vanaf het punt waar ijzerrijk kwelwater bij de beek komt, is het aannemelijk dat andere processen dan opname door de moerasbeek hieraan hebben bijgedragen, zoals verdunning met kwelwater dat armer is aan nitraat. In de zomer zorgt de toevoer van kwelwater uit het bos ook voor een verlaging in de watertemperatuur, maar de waarden liggen nog aanzienlijk hoger dan de optimale maximumtemperaturen voor beekorganismen. De fluctuatie in zuurstofverzadiging was gedurende de zomer op alle meetpunten vergelijkbaar.

Slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen

Verandering in macrofaunagemeenschap langs de verrijgingsgradiënt

Tegen de verwachting in nam de macrofaunasoortenrijkdom af in de sloten langs de afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen, d.w.z. hoe lager de voedselrijkdom, des te minder soorten zijn waargenomen. Uit de knelpuntenanalyse komt de afwezigheid van waterplanten in de oever als mogelijke verklaring naar voren. Daarnaast geeft de analyse een toenemende stressscore voor organische belasting aan, ondanks dat er een lagere voedselrijkdom werd verwacht. De stress door de aanwezigheid van giftige stoffen is langs de gehele gradiënt laag.

Mogelijk verklarende stressoren

Overeenkomend met de resultaten van de macrofauna-knelpuntenanalyse zijn in de kern van het gebied geen waterplanten waargenomen. Op de andere locaties domineren emerse en drijfbladvegetatie. Rivierkreeften waren in vergelijkbare dichtheid langs de gradiënt aanwezig en ook waren er geen duidelijke verschillen tussen de sloten in watertemperatuur- en zuurstoffluctuaties die de afname van macrofaunasoorten kunnen verklaren. De geleidbaarheid daarentegen volgt de inlaat- regenwatergradiënt in het voorjaar en de zomer. Dit patroon komt overeen met de water- en bodemkwaliteitsmetingen. Hierbij bevestigen de afnemende fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater de aanwezigheid van de verrijgingsgradiënt. Mogelijke verklaringen voor de afname in macrofaunasoorten en de afwezigheid van macrofyten in de sloten in de kern van het gebied zijn de toename in 'waterige' bodems met een dikke sliblaag en een hoog organisch stofgehalte, en de afname in Fe:S-ratio's onder de norm waar een sterke verslechtering in waterkwaliteit optreedt (bijv. potentiële sulfidotoxiciteit).

Ervaringen en aanbevelingen innovatieve meettechnieken

QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse

Uit de casus van de Run komt naar voren dat met een combinatie van lange termijn KRW-meetpunten en vlakdekkende QuickScanmeetpunten zowel de maatregel-effectiviteit over tijd kan worden aangetoond als een diagnose kan worden gesteld van de ruimtelijke verschillen in het beekstelsel. De casus van de sloten in de Nieuwkoopse Plassen bleek complexer (meer multi-stress) dan verwacht, waardoor voor stilstaande wateren wordt aanbevolen om de methode verder door te ontwikkelen en op aanvullende locaties te valideren. Hoewel de QuickScan-macrofauna vergelijkbare knelpunten toont als de gedetailleerde determinatie, zal het toch iets minder zeggingskracht hebben; daarom wordt aanbevolen in de toekomst DNA-technieken in te zetten. Voor stromende en stilstaande wateren verdient het daarnaast aanbeveling de macrofauna-knelpuntenanalyse uit te breiden met aanvullende stressoren door gebruik te maken van de nieuwe EBEO2.0-database met habitat- en milieupreferenties.

Innovatieve sensortechnieken

Dit project laat zien dat verschillende meetopstellingen met sensoren kunnen worden gebruikt voor verschillende doelen: de meetpalen kunnen worden ingezet voor temporele metingen om processen over een langere periode te begrijpen, de Navigator-voerboot om ruimtelijke patronen in beeld te brengen en de loggers om de fluctuaties op meerdere locaties over een kortere periode te vergelijken. In beide gebieden is door de inzet van deze innovatieve sensortechnieken meer inzicht verkregen in het ecosysteem-functioneren. Het gebruik van sensoren vergt echter aanzienlijk onderhoud en, net als bij eerdere ervaringen met innovatieve sensortechnieken, blijft vooral het meten van nitraat met meetpalen een kostbare aangelegenheid. De inzet van kostbare meetapparatuur zou in de toekomst kunnen worden beperkt door de bemonsteringsfrequentie aan te passen aan het moment dat er ecologisch relevante waarden zijn in het betreffende waterlichaam. Tot slot kunnen (nog) niet alle parameters met innovatieve sensortechnieken worden gemeten. Enerzijds biedt de ontwikkeling van bijvoorbeeld UV/VIS-spectrometers de mogelijkheid om in de toekomst met een enkele optische sensor een groot aantal parameters tegelijk te meten. Anderzijds zijn niet alle parameters met sensoren te vangen en zijn in complexe systemen aanvullende metingen, zoals biogeochemisch bodemonderzoek, nodig om een diagnose van de knelpunten te stellen.

1 Inleiding

1.1 Schets kennisbehoefte

Hoewel de waterkwaliteit de afgelopen jaren is verbeterd, is de gewenste toestand van veel waterlichamen in Nederland momenteel nog ontoereikend (Compendium voor de Leefomgeving, 2019). Voor deze waterlichamen is herstel noodzakelijk om de gestelde waterkwaliteitsdoelen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) te bereiken en om de biodiversiteit op orde te krijgen. Om effectieve maatregelen te kunnen nemen om het gewenste herstel te realiseren, is het belangrijk per waterlichaam de oorzaken van de ontoereikende toestand vast te stellen (Dos Reis Oliveira et al., 2020).

Sinds het invoeren van de KRW bestaat het merendeel van de monitoring in Nederland uit het meten van een voorgeschreven set parameters met standaardmethoden (RWS, 2020). Het zwaartepunt van de monitoring ligt op de biologie (biologische kwaliteitselementen macrofauna, vis, waterplanten, algen) en de fysisch-chemische waterkwaliteit (omschreven in het Handboek Hydrobiologie; Bijkerk, 2014). Deze metingen vinden grotendeels plaats op vaste, door de waterbeheerder geselecteerde meetpunten, die samen het meetnet waterkwaliteit vormen. Op basis van deze monitoring wordt gewoonlijk de toestand van het waterlichaam vastgesteld in kwaliteitsklassen van 'slecht' tot '(zeer) goed' en voor chemische kwaliteit 'voldoet' of 'voldoet niet'.

De huidige beoordelingsmethodiek brengt daarmee echter niet de achterliggende factoren in beeld die bepalen in welke ecologische toestand het water zich bevindt, oftewel er wordt geen diagnose gesteld (Van der Lee et al., 2022). Deze diagnose ligt echter (deels) besloten in de auto-ecologie van de soorten die in een monster worden aangetroffen, de milieu- en habitatpreferenties van organismen. De aan- of afwezigheid van bepaalde indicatorsoorten zegt daarmee iets over het milieu op de monsterlocatie, waarbij dit ook nog eens een integratie is van de omstandigheden over een langere tijdsperiode (Verdonschot & Verdonschot, 2021a).

De biologie kan echter een vertekend beeld geven. Soorten kunnen bijvoorbeeld na systeemherstel niet terugkeren, omdat ze er simpelweg niet meer kunnen komen door het ontbreken van bronpopulaties op een overbrugbare afstand (Verdonschot et al., 2024). Anderzijds kan een situatie ook als te positief beoordeeld worden door bijvoorbeeld uitstralingseffecten vanuit naburige gebieden met grote populaties. Dit kan ervoor zorgen dat soorten opduiken op plekken die op de lange termijn ongeschikt zijn, omdat de draagkracht van het kerngebied overschreden wordt. Het is daarom belangrijk dat naast de biologie ook verklarende abiotische variabelen worden gemeten, zoals fysisch-chemische parameters (Van der Lee et al., 2022).

De huidige monitoring van fysisch-chemische parameters bestaat veelal uit het maandelijks nemen van een steekmonster. De extremen in het bereik van een parameter (pieken en dalen) treden echter incidenteel in tijd op en kunnen van dag tot dag variëren, afhankelijk van bijvoorbeeld de neerslagintensiteit, maar zelfs binnen dagen door de dag-nachtcycli in lichtbeschikbaarheid en temperatuur (Wade et al., 2012). Een eenmalige overschrijding van de tolerantiegrenzen van organismen kan er al voor zorgen dat deze op een locatie verdwijnen. Door fysisch-chemische parameters hoogfrequent te meten kunnen niet alleen de overschrijdingen in gehalten of concentraties volledig in beeld worden gebracht, maar kan ook inzicht worden verkregen in de onderliggende processen die hierop van invloed zijn (Van der Lee & Verdonschot, 2023).

Naast de variatie in de tijd kunnen er ook verschillen zijn in de ruimte. In de huidige meetnetten van waterbeheerders wordt ervan uitgegaan dat één of enkele toestandsmetingen representatief zijn voor het hele waterlichaam. Deze aanname is echter sterk context-afhankelijk. Milieufactoren kunnen immers lokaal een grote negatieve invloed uitoefenen, te denken aan intensief bemeste percelen met een sterke af- en uitspoeling van nutriënten, de aanwezigheid van overstorten en het peilbeheer (Van der Lee et al., 2022). Dit maakt de keuze van de ligging van de monsterpunten sterk bepalend voor het beeld dat wordt gevormd van een systeem. Om deze ruimtelijke variatie te detecteren, is vaak een grotere dekking van monsterpunten binnen een waterlichaam nodig (Van der Lee & Verdonschot, 2023).

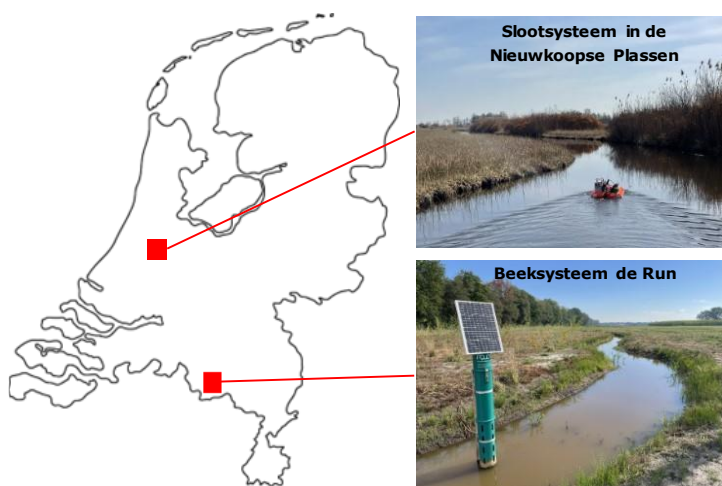
Een betrouwbare diagnose van een waterlichaam vraagt dus een fijnmaziger meetnet in ruimte en tijd. Het opschalen van de metingen met de huidige technieken is echter een arbeidsintensieve en daarmee kostbare aangelegenheid. Uitgaande van een gelijkblijvend monitoringsbudget is het daarom van belang eenvoudige en snel uitvoerbare methoden in te zetten voor het verzamelen en verwerken van monsters. Verschillende methoden zijn hiervoor voorgesteld, waaronder de QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse, in combinatie met de inzet van sensortechnieken (Van der Lee & Verdonschot, 2023). Echter moet de praktische toepasbaarheid van deze methoden in het veld nog worden getoetst in samenwerking met gebruikers.

1.2 Doel en vraagstelling

Wageningen Environmental Research werkt samen met Waterschap de Dommel, Hoogheemraadschap van Rijnland, waterlaboratorium AQUON en microLAN B.V. aan een methodeontwikkeling voor diagnostische monitoring van de waterkwaliteit. Het doel is om te onderzoeken hoe de macrofauna-QuickScanmethode in combinatie met innovatieve sensortechnieken kan worden ingezet om inzicht te krijgen in de knelpunten die spelen in een waterlichaam op een schaal die een relevante ruimtelijke en temporele dekking heeft.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van twee casussen (Figuur 1.1):

1. Het beekstelsysteem de Run in het beheergebied van Waterschap de Dommel, waar in 2021 ter hoogte van Grootgoor een moerasbeek is gerealiseerd. De volgende vragen stonden hierbij centraal:
 - a. Wat is het effect van het herstelproject op de macrofaunagemeenschap?
 - b. In hoeverre worden nutriëntenpieken afkomstig van uit- en afspoeling uit aanliggende landbouwpercelen in het beekdal opgenomen door de moerasbeek?
2. Het slootsysteem in het laagveengebied de Nieuwkoopse Plassen in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Rijnland, waar als gevolg van het periodiek inlaten van gedefosfateerd gebiedsvreemd water een verrijgingsgradiënt in nutriënten aanwezig is. De volgende vragen stonden hierbij centraal:
 - a. Hoe verandert de macrofaunagemeenschap langs de verrijgingsgradiënt?
 - b. Hoe spelen de effecten van andere stressoren hierdoorheen?



Figuur 1.1 Kaart met de ligging van de twee casusgebieden: het beekstelsysteem de Run en het slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen.

1.3 Leeswijzer

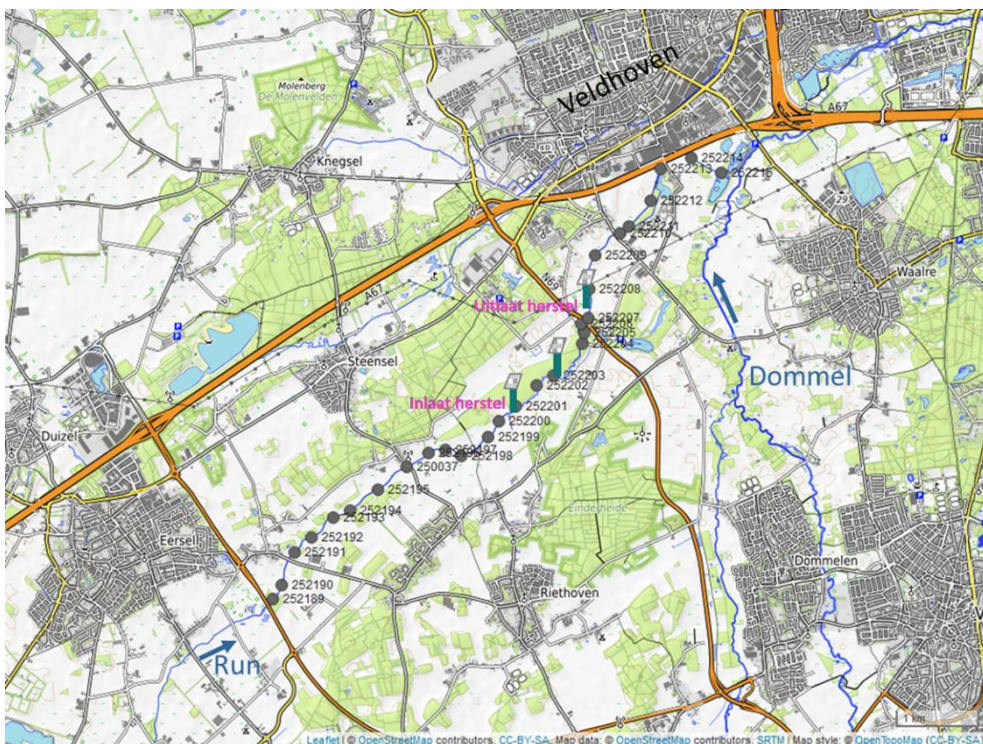
In hoofdstuk 2 wordt een gebiedsomschrijving gegeven van beide casussen. Vervolgens wordt de gebruikte methode toegelicht in hoofdstuk 3. De resultaten zijn vervolgens uitgewerkt in hoofdstuk 4. Tot slot wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de praktische toepasbaarheid van de gebruikte methoden om inzicht te krijgen in de ruimtelijke en temporele aspecten van de knelpunten die spelen in een waterlichaam.

2 Gebiedsomschrijving

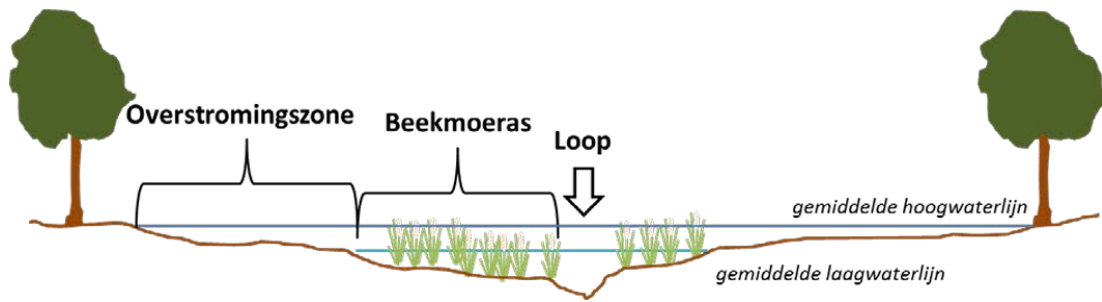
2.1 Beekstelsysteem de Run

Het beekstelsysteem de Run ligt in het zuidoosten van de provincie Noord-Brabant en mondt ter hoogte van Veldhoven uit in de rivier de Dommel (Figuur 2.1). De beek is in het verleden sterk veranderd: het oorspronkelijke doorstroommoeras-moerasbeekstelsysteem is vergraven tot een overgedimensioneerde, genormaliseerde en gekanaliseerde landbouwwatergang met stuwen om het waterpeil te reguleren. Dit heeft geleid tot een sterk gewijzigde afvoercharacteristiek, variërend van ongeveer 400 l/s in de winter tot 100 l/s in de zomer, met waarden onder de 50 l/s tijdens perioden van langdurige droogte (Duursma, 2017). Daarnaast leidde intensivering van de landbouw op de omliggende beekdalgronden tot een sterke toename van de belasting met nutriënten en andere stoffen, zoals bestrijdingsmiddelen. De veranderingen in en rond de beek hebben de kwaliteit van het water aanzienlijk verslechterd. Om de ecologische waterkwaliteit te verbeteren en het beekdal 'klimaatrobuust' te maken, heeft Waterschap de Dommel tussen maart 2021 en juli 2022 ruim 3 km beek bij natuurgebied Grootgoor hersteld door een moerasbeek aan te leggen (Figuur 2.2). De Run is smaller en ondieper gemaakt en kronkelt weer als vanouds door het landschap. Ook is er meer ruimte gemaakt voor de beek door overstromingszones te realiseren in het beekdal, waardoor afvoerpieken bij hevige regenval kunnen worden geborgen in de overstromingsvlaktes, waarna dit water langzaam naar benedenstrooms kan worden afgegeven en eventueel kan infiltreren in de bodem.

Figuur 2.3 geeft een overzicht van hoe de beek eruitzag, enkele maanden na het afronden van de herstelmaatregelen. De vegetatie heeft zich vervolgens in de overstromingsvlakte ontwikkeld (Figuur 2.4). Het onderzochte traject was 10 km lang en omvatte het gedeelte van de beek tussen de provinciale weg N397 bij Eersel stroomopwaarts (RD-coördinaten: 151928, 373792) tot aan de monding in de Dommel bij Veldhoven (RD-coördinaten: 157327, 378904) (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Kaart met de ligging van de meetpunten (grijze bolletjes) in het beekstelsysteem de Run. In roze tekst is aangegeven waar het begin (inlaatwerk herstel) en eind (uitlaatwerk herstel) van hersteltraject ligt.



Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede van een moerasbeek met zones met een verschillend hydrologisch regime (Verdonschot et al., 2016).

A) bovenstrooms herstelproject



B) herstel Run bij Grootgoor



C) houtinbreng



D) kwelafstroom vanuit Grootgoor



E) oude meander in bos



F) benedenstrooms herstel



Figuur 2.3 Foto's van de Run van boven naar benedenstrooms genomen februari 2022, enkele maanden na het afronden van de herstelmaatregelen. A) bovenstrooms herstelproject, B) herstel Run bij Grootgoor, C) houtinbreng, D) kwelafstroom vanuit Grootgoor, E) oude meander in bos en F) benedenstrooms herstel.

A) maart 2022



B) september 2022



C) maart 2023



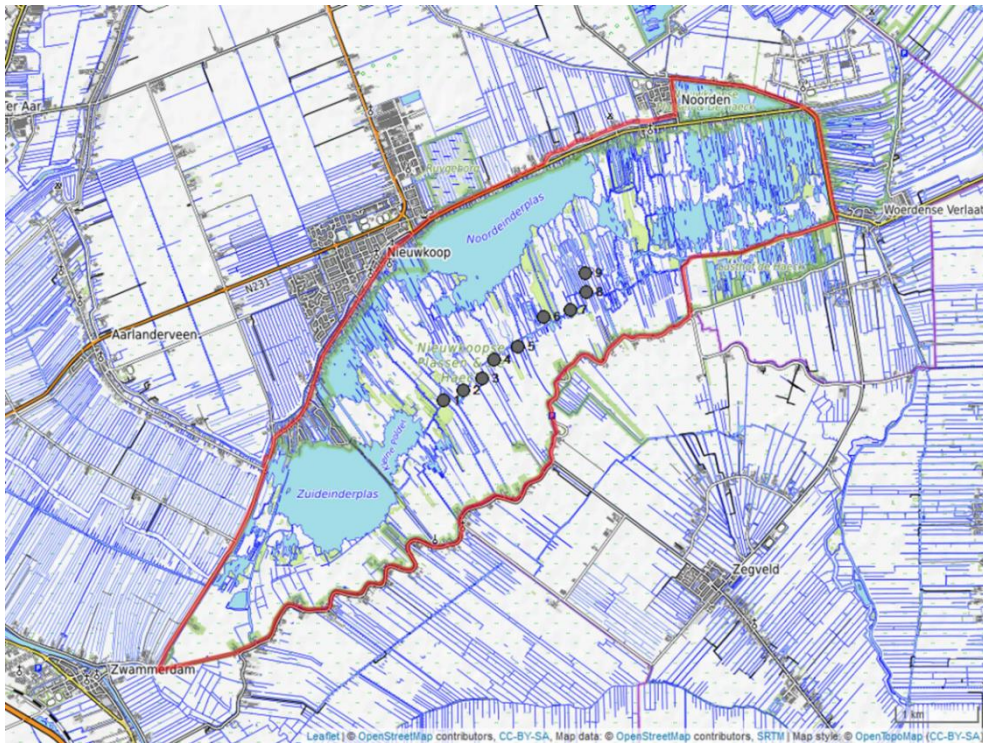
D) oktober 2023



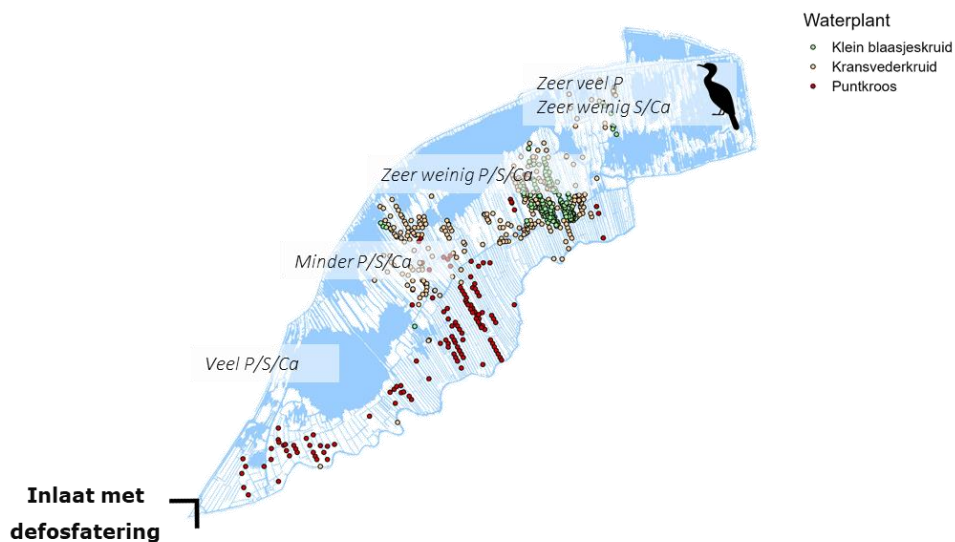
Figuur 2.4 Dronebeelden van de Run laten de ontwikkeling door de tijd zien op meetpunt 252201 op A) maart 2022, B) september 2022, C) maart 2023 en D) oktober 2023 (beelden: Matthijs de Vos).

2.2 Slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen

De Nieuwkoopse Plassen is een natuurgebied van 1400 ha en ligt in het noordoosten van de provincie Zuid-Holland, nabij het dorp Zegveld (Figuur 2.5). Tot ongeveer de 10^e eeuw maakte het gebied onderdeel uit van een uitgestrekt hoogveenlandschap, waarna het op grote schaal werd ontgonnen door sloten en afwatering te graven. Vanaf de 14^e eeuw tot ongeveer 1850 is veen in het gebied gewonnen. Door de vervening ontstonden grote watervlakten. De omliggende polders zijn vanaf het begin van de 19^e eeuw drooggelegd en omgezet in landbouwgebied. Hierdoor liggen de Nieuwkoopse Plassen tegenwoordig hoger dan de omliggende polders en verliest het gebied water naar de omgeving. Om verdroging tegen te gaan, wordt er in de zomer gebiedsvreemd water vanuit de Oude Rijn ingelaten. Om de inlaat van fosfaat terug te dringen, wordt het inlaatwater sinds 1985 gedefosfateerd (Provincie Zuid-Holland, 2017). Door vermindering van de waterinlaat en defosfatering is de waterkwaliteit van de Nieuwkoopse plassen geleidelijk verbeterd (Van Schaik & Vuister, 2000; Van Schie 2020). Het gedefosfateerde inlaatwater bevat mogelijk nog wel wat fosfaat en grote hoeveelheden sulfaat. Doordat het water op hetzelfde punt in het Zuideinde (Ziende) wordt in- en uitgelaten, vormt zich ruimtelijk gezien een regenwatergradiënt en daarmee ook een voedingsstoffengradiënt van de kern naar de rand van het gebied (Figuur 2.6; Van Schie, 2020). De betere waterkwaliteit in de gebiedskern was in 2019 te herkennen aan het voorkomen van waterplanten met een preferentie voor voedselarmere water, zoals klein blaasjeskruid (Figuur 2.6; data van Vereniging Natuurmonumenten, 2019). Deze gradiënt in afnemende voedselrijkdom was in 2023 ook zichtbaar in de samenstelling van de oevervegetatie (Figuur 2.7). Het onderzochte traject is langs deze voedingsstoffengradiënt gelegd en bestond uit negen meetpunten in zijsloten langs 4 km van de Meesloot, gelegen tussen de Zuiderplas (RD-coördinaten: 114017, 460933) en de kern van het gebied (RD-coördinaten: 115893, 462200) (Figuur 2.5).



Figuur 2.5 Kaart met de ligging van de meetpunten (grijze bolletjes) in het sluitsysteem van het Nieuwkoopse Plassengebied (rood omlijnd).



Figuur 2.6 Regenwater- en voedingsstoffengradiënt in relatie tot de inlaat met defosfatering (Van Schie, 2020) en SNL-kartering van drie soorten waterplanten (© Vereniging Natuurmonumenten, 2019) met toenemende preferentie voor voedselrijkdom: klein blaasjeskruid, kransvederkruid en puntkroos.

A) Ruig



B) Moerasvarens



C) Veenmos



Figuur 2.7 Foto's van de oeervegetatie langs de zijsloten sloten van de Meesloot gelegen tussen de Zuiderplas en de kern van het Nieuwkoopse Plassengebied met afnemende voedselrijkdom: A) ruig (meetpunt 2), B) moerasvarens (meetpunt 6) en C) veenmos (meetpunt 8).

3 Materiaal en methode

In het project is de macrofauna-Quickscanmethode in combinatie met innovatieve sensortechnieken ingezet om inzicht te krijgen in de knelpunten die spelen in ruimte en tijd in beide gebieden (Figuur 3.1). De metingen zijn in 2022 uitgevoerd in het beekstelsel van de Run (overzicht in Tabel 2.1) en in 2023 in het slootsysteem van de Nieuwkoopse Plassen (overzicht in Tabel 2.2). Op basis van eerdere metingen van de waterschappen wordt verwacht dat de knelpunten in beide systemen anders zijn. Daarom is ervoor gekozen om per gebied gedeeltelijk verschillende innovatieve sensortechnieken in te zetten. In opdracht van Waterschap de Dommel zijn in de Run tevens de macrofauna-QuickScanbemonsteringen in de opvolgende jaren herhaald om meer inzicht te krijgen in de lange(re)termijneffecten van de genomen maatregelen. Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft aan een aantal adviesbureaus opdracht gegeven voor het meten van aanvullende parameters, om zo meer inzicht te krijgen in knelpunten die mogelijk spelen, maar die niet met de beoogde sensortechnieken kunnen worden gemeten. Hieronder volgt een omschrijving van de metingen die per gebied zijn uitgevoerd.

A) Meetpaal voor realtime metingen



B) Loggers voor meerdere temporele metingen



C) Navigator-voerboot voor ruimtelijke metingen



D) Macrofauna-QuickScanbemonstering



Figuur 3.1 Foto's van de inzet van innovatieve meettechnieken: A) Meetpaal voor realtime metingen B) Loggers voor meerdere temporele metingen C) Navigator-voerboot voor ruimtelijke metingen D) Macrofauna-QuickScanbemonstering. Foto's A en B zijn genomen in het beekstelsel van de Run en foto's C en D in het slootsysteem van de Nieuwkoopse Plassen.

3.1 Beeksysteem de Run

In de Run zijn de abiotische en biotische metingen op verschillende meetpunten langs het onderzochte traject uitgevoerd, met het zwaartepunt van de metingen in het herstelde traject (Figuur 2.1, Tabel 3.1).

3.1.1 Biotiek

Macrofauna

De macrofaunagemeenschap wordt sinds 2013 in het herstelde traject bemonsterd door AQUON volgens de standaard KRW-methode. De bemonstering vindt elke drie jaar plaats in de periode april tot en met mei. Daarnaast ligt er ter vergelijking een KRW-meetpunt bovenstrooms (elke drie jaar) en benedenstrooms (elk jaar) van het hersteltraject die in augustus t/m oktober worden bemonsterd. Doordat er ook voor het uitvoeren van de herstelmaatregelen is bemonsterd, is er sprake van een voor-na-controle-impact(maatregel)-ontwerp (het 'BACI-design', wat staat voor before-after-control-impact-design').

Daarnaast zijn sinds 2021 elk halfjaar op 28 locaties bemonsteringen uitgevoerd volgens de macrofauna-QuickScanmethode om tot een grotere ruimtelijke dekking van het beeksysteem te komen. De metingen zijn genomen in april tot en met juni en in november, waarbij er geen meting is uitgevoerd in november 2021 omdat toen de herstelmaatregelen werden uitgevoerd. Bij de macrofauna-QuickScanmethode worden 1,5 m macrofaunanetmonsters genomen, waarbij de scheppen van 0,5 m worden verdeeld over de drie dominantste habitats. De dieren in het monster worden vervolgens 'op het oog' tot op het laagst zichtbare taxonomische niveau gedetermineerd (haften, kokerjuffers en steenvliegen op genus; mijten en wormen op orde; en de rest op familieniveau). Bij twijfel zijn exemplaren onder de binoculair gecontroleerd.

3.1.2 Abiotiek

Debiet

Bij de hoogwaterstuw (0416:RN1-st15) wordt door Waterschap de Dommel het debiet gemeten met een akoestische debietmeter (ADM). De metingen worden elke 30 minuten uitgevoerd. Voor de verdere analyse is het gemiddelde debiet per dag bepaald.

Meetpalen

Om inzicht te krijgen in het verloop van de nutriëntenconcentraties in het water en te kunnen onderzoeken of pieken als gevolg van uit- en afspoeling van landbouwpercelen worden opgenomen door de moerasbeek, heeft AQUON tussen 15 juni 2022 en 31 december 2023 op drie locaties meetpalen geplaatst (Figuur 3.1A). Eén meetpaal is geplaatst bij het begin van het herstelde traject (inlaatwerk), één paal in het midden en één paal aan het einde (uitlaatwerk) van het herstelde traject. Op deze locaties is iedere 15 minuten realtime nitraat ($\text{NO}_3\text{-N}$) gemeten, omdat het meten van deze nutriënt op dit moment mogelijk is met sensoren (hoogfrequent fosfaat meten kan voor nu alleen met grote en dure nat-chemische apparatuur; Van der Lee & Verdonschot, 2023). Nitraat is gemeten met TriOS NICO UV-sensoren, waarbij de padlengte is ingesteld op 2 mm (ruimte tussen de lenzen waardoor het licht wordt verstuurd en opgevangen). Hiervoor geldt een meetrange tot 30 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ met een precisie van 0,075 mg/l, een detectielimiet van 0,25 mg/l en een aantoonbaarheidslimiet van 0,75 mg/l (TriOS 2017). De middelste meetpaal is naast een nitraatsensor ook uitgerust met een YSI EXO 1 probe met sensoren die geleidbaarheid (EGV), zuurstofconcentratie en temperatuur meten. De meetpalen zijn maandelijks bezocht voor beheer en onderhoud. Tijdens deze bezoeken zijn veldmetingen gedaan en zijn watermonsters genomen. Deze monsters zijn geanalyseerd in het laboratorium volgens het volgens 'NEN 6600-2 Water – Monsterneming – Deel 2: Oppervlaktewater' om de sensorwaarden te valideren. Gegevens zijn opgeslagen via het dataplatform Blockbax (<https://blockbax.com/>). Voor de verdere analyse van de meetpaalgegevens zijn de gemiddelde concentraties per dag bepaald.

Navigator voerboot

Naast de inzet van meetpalen is op 31 januari 2023 eenmalig door AQUON met een Navigator-voerboot langs het herstelde deel van de beek en zijwatergangen gevaren, om een beeld te krijgen van de ruimtelijke patronen in nitraatconcentraties tijdens een moment van piekbelasting. De voerboot was voorzien van een

OMC048 logger met gps van Observator Instruments en dezelfde TriOS NICO UV-sensor als in de meetpalen is geplaatst. Metingen waarbij de Navigator-voerboot uit het water was, zijn verwijderd op basis van tijd.

Loggers

Ook is onderzocht wat het effect is van de aanleg van de moerasbeek op de fluctuaties in watertemperatuur en de hoeveelheid opgeloste zuurstof in het water. Hiervoor zijn door WENR tussen 15 en 16 juli 2022 negen U26-001 Hobo zuurstofloggers met U26-GUARD-2 antifouling guard in de beek geplaatst, waarvan zeven in het herstelde traject en één ter vergelijking zowel boven- als benedenstrooms van het herstelde traject (Figuur 3.1B). De metingen zijn iedere 15 minuten gedaan op 10 cm onder het wateroppervlak. De metingen zijn uitgevoerd gedurende twee warme zomerdagen, omdat de zuurstoffluctuaties dan het grootst zijn (Van der Lee et al., 2018). Het percentage zuurstofverzadiging is vervolgens berekend op basis van de zuurstofconcentratie en temperatuur met behulp van de DOTABLES ontwikkeld door de U.S. Geological Survey (2011), uitgaande van een zoutgehalte van 0‰ en een barometrische druk van 1 atm.

3.2 Slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen

In het slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen zijn de biotische en abiotische metingen in elk van de negen sloten langs het onderzochte traject uitgevoerd (Figuur 2.5, Tabel 3.2).

3.2.1 Biotiek

Macrofauna

Op 18 april 2023 heeft AQUON op iedere locatie tweemaal een macrofauna-QuickScan (QS) monster genomen (1,5 m macrofaunanetmonster van de drie dominantste habitats). Het eerste monster is door AQUON tot 'op het oog' zichtbare taxonomische niveau gedetermineerd (haften, kokerjuffers, steenvliegen, kevers, slakken en bloedzuigers op genus; mijten en wormen op orde; en de rest op familieniveau). Het tweede monster is door Bureau Biota tot op het praktisch laagst haalbare taxonomische niveau gedetermineerd, meestal het soortniveau. Voor deze rapportage zijn de gegevens gebruikt die gedetermineerd zijn tot op soortniveau. Ter vergelijking zijn deze waar nodig teruggezet op QuickScan-determinatieniveau.

Macrofyten

Op 22 augustus 2023 heeft AQUON de macrofytenbedekking van de sloten per groeivorm visueel ingeschat volgens het Macrofyten KRW 50m-protocol.

Rivierkreeften

Tussen 19 en 22 juni 2023 heeft Adviesbureau ATKB in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland de rivierkreeften bemonsterd volgens Janssen (2020). Er is hiervoor gebruikgemaakt van 12 LiNi®-6 kreeftenkorven met Halibut-pellets van 20 mm als aas die geplaatst zijn over een traject van 50 m per locatie. Omdat de korven zijn voorzien van een ontsnappingsring van 25 mm, is de vangstefficiëntie voor de kleinste kreeften gering. De korven zijn 24 uur na de plaatsing gelicht, waarbij het aantal kreeften per soort is genoteerd.

3.2.2 Abiotiek

Navigator-voerboot

Om een idee te krijgen van de ruimtelijke patronen van verschillende abiotische knelpunten is elke drie maanden door AQUON met een Navigator-voerboot langs het onderzochte traject gevaren (5 april 2023, 31 augustus 2023, 25 oktober 2023 en 25 januari 2024). Aanvullend is een aantal zijsloten meegenomen in de vaarroute. De voerboot was voorzien van een OMC048-logger met gps van Observator Instruments en een YSI EXO 1 probe met de volgende sensoren: zuurgraad (pH), geleidbaarheid (EGV) met temperatuur en fluorescentie van groen- en blauwalgen. Tijdens deze bezoeken zijn op dertien locaties veldmetingen gedaan en zijn watermonsters genomen die zijn geanalyseerd in het laboratorium volgens 'NEN 6600-2 Water – Monsterneming – Deel 2: Oppervlaktewater' om de sensorwaarden te valideren (Bijlage 1 voor coördinaten).

Om van relatieve fluorescentie-eenheden (RFU) tot de concentratie ($\mu\text{g/l}$) aan chlorofyl blauw- en groenalg te komen zijn, respectievelijk, de volgende formules toegepast: blauwalg $\text{RFU} * 12.667 + 2.286$ en chlorofyl $\text{RFU} * 5.5056 + 0.411$.

Loggers

Analoog aan de metingen in de Run zijn de verschillen in de temperatuur- en zuurstoffluctuaties gedurende de zomer onderzocht door tussen 13 en 21 juni 2023 Hobo-zuurstofloggers te plaatsen. De metingen zijn iedere 15 minuten uitgevoerd op 10 cm onder het wateroppervlak. Er is gekozen voor het meten gedurende warme zomerdagen, omdat de zuurstoffluctuaties dan het grootst zijn (Van der Lee et al., 2018). De berekening voor zuurstofverzadiging was vergelijkbaar met de aanpak voor de Run.

Water- en bodemmonsters

Op 29 augustus 2023 heeft onderzoekscentrum B-WARE in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland een biogeochemisch water- en bodemonderzoek uitgevoerd. Per locatie is in het veld de slibdikte bepaald en is er een monster genomen van het oppervlaktewater en van de bovenste 10 cm van de waterbodem. Vervolgens zijn chemische analyses uitgevoerd volgens Van Diggelen & Smolders (2024). In dit onderzoek zijn de bodemstructuur (dichtheid bodem, organisch stofgehalte, slibdikte en vochtgehalte), oppervlaktewaterringingen (concentraties Al, Ca, Cl, CO_2 , Fe, HCO_3 , K, Mg, Mn, Na, NH_4 , NO_3 , P, PO_4 , S, Si en Zn en daarnaast EGV, pH turbiditeit en alkaliniteit) en de totale concentraties in het drooggewicht van het bodemmateriaal gebruikt (Al, Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si en Zn).

3.3 Data-analyse

Voor zowel het beekstelsel van de Run als het slootstelsel in de Nieuwkoopse plassen is eerst een macrofauna-knelpuntenanalyse uitgevoerd (paragraaf 3.3.1). De data-analyse (paragraaf 3.3.2-3.3.4) is vervolgens uitgevoerd in R versie 4.2.1 (R Core Team, 2022).

3.3.1 Macrofauna knelpuntenanalyse

Voor de KRW- en QS-meetpunten is de macrofaunarijckdom bepaald als, respectievelijk, het aantal soorten en het aantal taxa. Vervolgens zijn de stresscores bepaald met de macrofauna-knelpuntenanalysetool (<https://knelpuntanalyse.containers.wur.nl/>):

- Droogval gevoelig voor droogte
- Oever gevoelig voor de afwezigheid van waterplanten in oever
- Saprobie gevoelig voor organische belasting
- Stroming gevoelig voor het ontbreken van stroming
- Temperatuur gevoelig voor het optreden van hoge watertemperaturen
- Toxiciteit gevoelig voor de aanwezigheid van gifstoffen

Voor de Run zijn de stresscores van het voor- en najaar gemiddeld per jaar. De knelpunten stroming, temperatuur en droogval zijn op milieu- en habitatpreferenties van stromende wateren gebaseerd en zijn daarom voor de sloten niet meegenomen.

3.3.2 Vergelijking gegevens sensoren met steekmonsters

De gegevens van de sensoren zijn vergeleken met steekmonsters door middel van een lineaire regressie ('lm' functie in stats-package R Core Team 2022). De regressiecoëfficiënt geeft aan in welke mate het verband tussen de sensoren en steekmonsters afwijkt van de 1:1-lijn, de R^2 -waarde geeft een mate van de hoeveelheid in variabiliteit en de p-waarde geeft de waarschijnlijkheid dat de relatie niet op toeval berust. Voor de meetpalen is het steekmonster vergeleken met de gemiddelde waarde van dezelfde dag. Voor de Navigator-voerboot is het steekmonster vergeleken met de gemiddelde waarde in een buffer van 20 m rondom het meetpunt. Voor pH zijn de metingen voor het middelen omgezet naar H^+ -ionen in de oplossing.

3.3.3 Detecteren afvoerpieken (alleen Run)

Om te detecteren of én wanneer er afvoerpieken in de Run zijn geweest, is een change-point-analyse uitgevoerd op het gemiddelde debiet ('breakpoints' functie in strucchange-package; Zeileis et al., 2002; 2003). Het optimale aantal breekpunten is bepaald op basis van de resterende som van de kwadraten (Vanoni et al., 2016). Het minimale aantal dagen tussen de breakpunten was gezet op 10. Het optreden van afvoerpieken is vergeleken met de nitraatfluctuaties. Vervolgens is ook gekeken naar het verschil in nitraatconcentraties op het inlaat- en het middelste meetpunt ten opzichte van het benedenstroomse uitlaatmeetpunt.

3.3.4 Ordinatie water- en bodemkwaliteit (alleen Nieuwkoop)

De water- en bodemkwaliteitsmetingen van de sloten in de Nieuwkoopse Plassen zijn geanalyseerd met ordinatietechnieken om de grote hoeveelheid gegevens samen te vatten en patronen te ontdekken. De gegevens zijn eerst gestandaardiseerd om de variabelen met verschillende eenheden vergelijkbaar te maken ('scale' functie in base package). Vervolgens is een lineaire ordinatiemethode 'Principale Componenten Analyse' uitgevoerd op zowel de water- als bodemkwaliteitsmetingen (PCA; 'rda' functie in vegan package; Oksanen et al., 2013). Met een 999-permutatie is bepaald welke parameters significant bijdragen aan de ordinatie ('envfit' functie in vegan package).

Tabel 3.1 Overzicht van de biotische en abiotische metingen, uitgevoerd in het beekstelsysteem de Run. Voor de meetpaal bij het meetpunt met x* zijn naast nitraat ook temperatuur (temp), opgelost zuurstof (DO) en geleidbaarheid (EGV) gemeten. De metingen van de meetpaal zijn gevalideerd met maandelijkse watermonsters. De metingen zijn uitgevoerd door het waterlaboratorium Aquon, met uitzondering van de loggermetingen die zijn uitgevoerd door WENR.

Meetpunt	Omschrijving	RD X	RD Y	Biotiek		Abiotiek				
				Meting	Macrofauna (KRW)	Macrofauna (QS)	Debiet	Meetpaal (nitraat*)	Navigator (nitraat)	Loggers (Temp, DO)
				Start	2013	2021	16/06/22	15/06/22	31/01/23	15/07/22
				Eind	2022	2023	31/12/23	31/12/23		16/07/22
Frequentie	1-3 jaar	6 maanden	30 min	15 min	Eenmalig	15 min				
252189	bovenstrooms	151928	373792		x					
252190	bovenstrooms	152032	373960		x					
252191	bovenstrooms	152194	374349		x					
252192	bovenstrooms	152391	374537		x					
252193	bovenstrooms	152662	374770		x					
252194	bovenstrooms	152862	374853		x					
252195	bovenstrooms	153194	375108		x					
250037	bovenstrooms	153549	375379	x	x					
252196	bovenstrooms	153808	375552		x					
252197	bovenstrooms	154009	375583		x					
252198	bovenstrooms	154206	375509		x				x	
252199	bovenstrooms	154523	375731		x			x		
252200	bovenstrooms	154657	375932		x			x		
Run_inlaat	herstel	154773	376033				x	x		
252201	herstel	154856	376102		x			x	x	
252202	herstel	155115	376352		x			x	x	
252203/251039	herstel	155310	376476	x	x		x*	x	x	
252204	herstel	155656	376858		x			x	x	
252205	herstel - kwel	155679	376991		x			x	x	
Run_debiet	herstel	155671	377048			x		x		
252206	herstel	155650	377095		x			x	x	
252207	herstel	155733	377170		x			x	x	
Run_uitlaat	benedenstrooms	155756	377275				x	x		
252208	benedenstrooms	155739	377509		x			x	x	
252209	benedenstrooms	155815	377923		x					

Meetpunt	Omschrijving	RD X	RD Y	Biotiek			Abiotiek			
				Meting	Macrofauna (KRW)	Macrofauna (QS)	Debiet	Meetpaal (nitraat*)	Navigator (nitraat)	Loggers (Temp, DO)
				Start	2013	2021	16/06/22	15/06/22	31/01/23	15/07/22
				Eind	2022	2023	31/12/23	31/12/23		16/07/22
				Frequentie	1-3 jaar	6 maanden	30 min	15 min	Eenmalig	15 min
250035	benedenstrooms	155995	378140	x						
252210	benedenstrooms	156117	378178		x					
252211	benedenstrooms	156226	378265		x					
252212	benedenstrooms	156483	378569		x					
252213	benedenstrooms	156600	378960		x					
252214	benedenstrooms	156977	379086		x					
252215	benedenstrooms	157327	378904		x					

Tabel 3.2 Overzicht van de abiotische en biotische metingen, uitgevoerd in het slootsysteem van het Nieuwkoopse Plassengebied. De metingen zijn door verschillende instanties uitgevoerd: macrofauna- en macrofytenbemonstering door het waterlaboratorium Aquon, waarbij de macrofauna tot op soort is gedetermineerd door Bureau Biota; de rivierkreeftenbemonstering door Adviesbureau ATKB; de Navigatormetingen door het waterlaboratorium Aquon; de loggermetingen door WENR; de water- en bodemmetingen door onderzoekscentrum B-WARE. n/a geeft aan dat een meting niet is gelukt voor deze locatie.

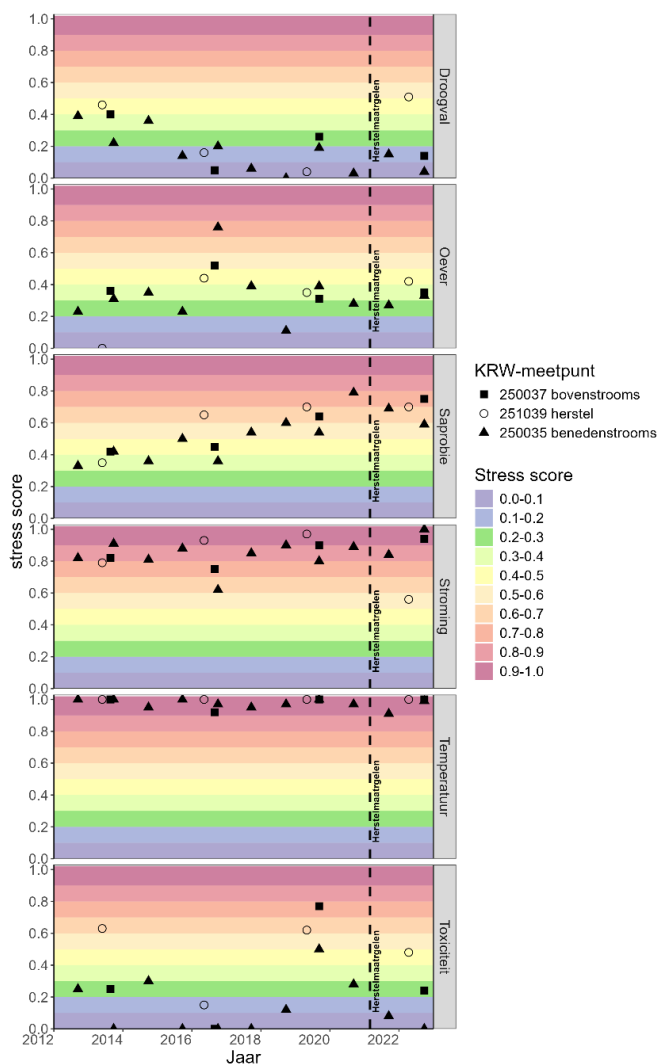
Meetpunt	Omschrijving	RD X	RD Y	Biotiek			Abiotiek		Water en bodem		
				Meting	Macrofauna (QS, soort)	Macrofyten	Rivier-kreeften	Navigator (EGV, pH, algen)		Loggers (DO, temp)	
				Start	18/04/23	22/08/23	19/06/23	05/04/23		13/06/23	29/08/23
				Eind			22/06/23	25/01/24		21/06/23	
Frequentie	Eenmalig	Eenmalig	Eenmalig	3 maanden	15 min	Eenmalig					
ROP094121	Nieuwkoop 1	114071	460969	x	x	x	x	x	x		
ROP094122	Nieuwkoop 2	114308	461083	x	x	x	x	x	x		
ROP094123	Nieuwkoop 3	114526	461400	x	x	x	x	n/a	x		
ROP094124	Nieuwkoop 4	114674	461437	x	x	x	x	x	x		
ROP094125	Nieuwkoop 5	114956	461595	x	x	n/a	x	x	x		
ROP094126	Nieuwkoop 6	115267	461946	x	x	x	x	x	x		
ROP094120	Nieuwkoop 7	115587	462020	x	x	x	x	x	x		
ROP094127	Nieuwkoop 8	115774	462226	x	x	x	x	x	x		
ROP094128	Nieuwkoop 9	115762	462458	x	x	x	x	x	x		

4 Resultaten & discussie

4.1 Beekstelsysteem de Run

4.1.1 Effect van het herstelproject op de macrofaunagemeenschap

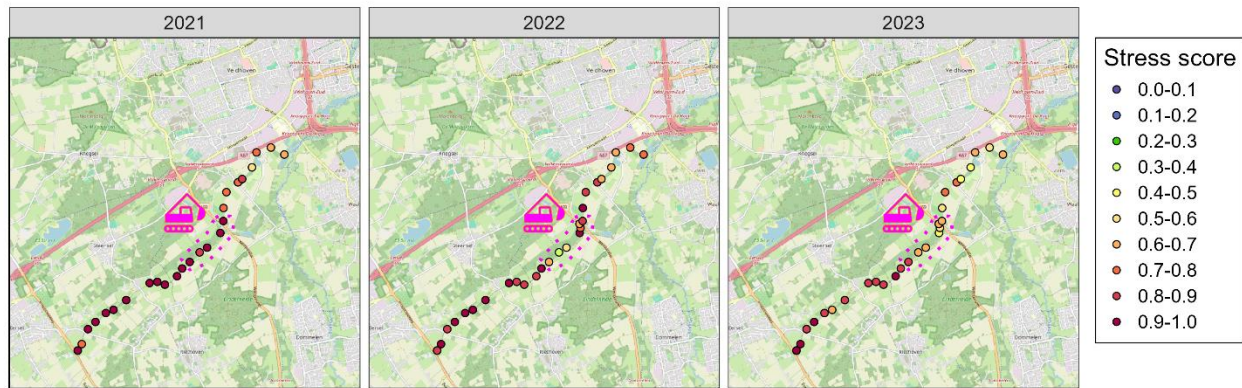
Uit zowel de macrofauna-knelpuntenanalyse van de KRW-meetpunten (Figuur 4.1) als de QuickScan-meetpunten (Figuur 4.2) komt naar voren dat het ontbreken van stroming, het optreden van hoge watertemperaturen en organische belasting de grootste stressoren vormen in het beekstelsysteem de Run. Voor het uitvoeren van de herstelmaatregelen was de stress door de afwezigheid van stroming iets lager in het meest benedenstroomse deel van de Run (Figuur 4.2A, met uitzondering van waar het benedenstroomse KRW-meetpunt ligt). Na uitvoering van de herstelmaatregelen is de stressscore voor stroming ook iets lager in het traject ter hoogte van het natuurgebied Grootgoor, wat duidt op een positief effect van de herstelmaatregelen op de stromingscondities. Om verdere verbetering te realiseren, is het essentieel om de herstelmaatregelen verder op te schalen naar de rest van het stroomgebied (Verdonschot & Verdonschot, 2020). Hiermee kunnen uiteindelijk traject-overstijgende stressoren worden weggenomen.



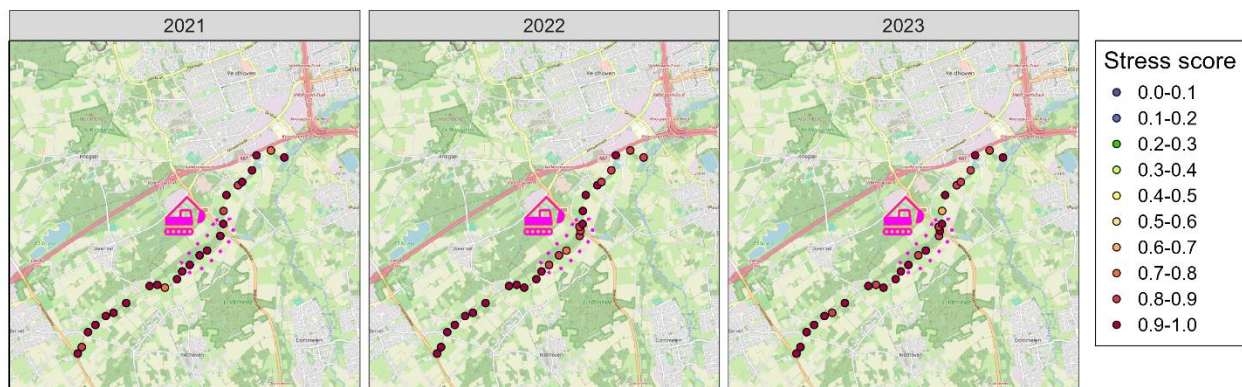
Figuur 4.1 Temporele veranderingen in knelpunten op de KRW-meetpunten in de Run over tijd sinds 2013. Moment dat herstelmaatregelen zijn genomen bij natuurgebied Grootgoor is aangegeven met een onderbroken lijn. Zie Bijlage Figuur B1 voor aantal soorten.

Er is (nog) geen verandering opgetreden in de stress door een hoge watertemperatuur (Figuur 4.2B), maar de beekbegeleidende vegetaties hebben dan ook langere tijd nodig om te ontwikkelen (Verdonschot & Verdonschot, 2021b). De stress door organische belasting lijkt sinds 2013 toegenomen (Figuur 4.1). Deze trend is echter niet te verklaren met de routinematige chemische metingen van biologisch zuurstofgebruik door het waterschap. Hoewel de ruimtelijke verschillen in organische belasting beperkt zijn, zijn er enkele meetpunten te onderscheiden met een iets lagere stressscore, waaronder 252194, 252202-252203 (ook voor het herstel) en 252211-252212, die alle naast een bomenrij liggen (Figuur 4.2C), waarbij de beschaduwing mogelijk zorgt voor lagere respiratie.

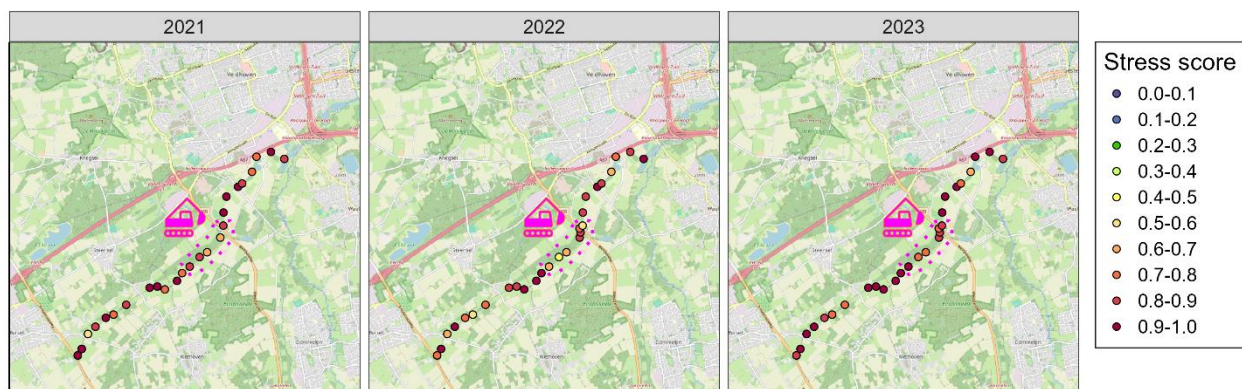
A) *Stroming: het ontbreken van stroming*



B) *Temperatuur: het optreden van hoge watertemperatuur*



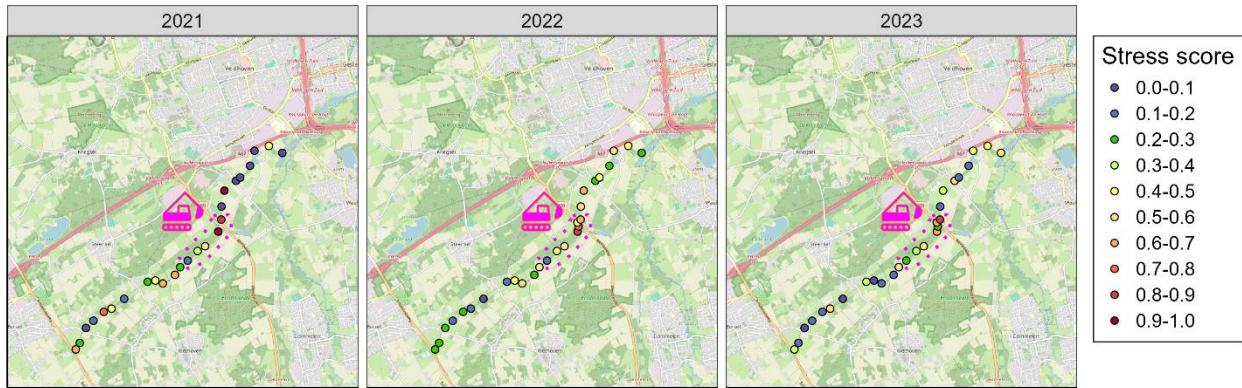
C) *Saprobie: de aanwezigheid van organische belasting*



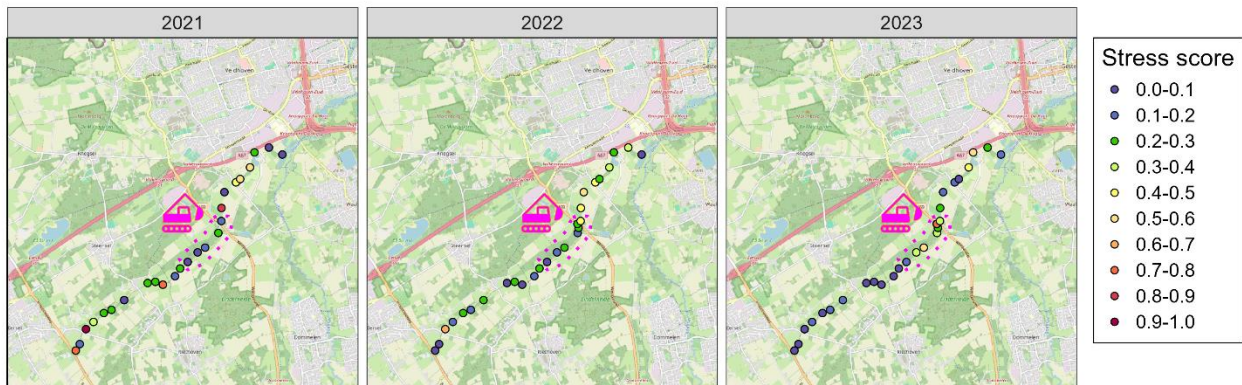
Figuur 4.2 Ruimtelijke patronen in stress door het optreden van verschillende knelpunten bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScanmeetpunten in de Run tussen 2021-2023. Roze stippellijn en een graafmachine geven het deel van de beek bij Grootgoor aan waar in 2021 herstelmaatregelen zijn gerealiseerd. De stresscores zijn gemiddeld over de voorjaars- en najaarsmetingen en berekend met de macrofauna-knelpuntenanalysetool. Zie Bijlage Figuur B2 voor aantal taxa en Figuur B3 voor resultaten per seizoen.

De stress door de aanwezigheid van giftige stoffen is over het algemeen beperkt. Een uitzondering hierop is de eenmalig hogere waarde op alle KRW-meetpunten in 2019 (Figuur 4.1), wat tevens een droog jaar was. Daarnaast laten de QuickScanmeetpunten een hogere stressscore voor toxiciteit zien tussen meetpunten 252204 en 252207, mogelijk in relatie tot opkwellen van ijzerrijk grondwater of de effecten van de N69 West-parallelweg (Figuur 4.2D). Er treedt vrijwel geen stress door droogval op (Figuur 4.2E). Een groot deel van de Run heeft een sterke vegetatieontwikkeling en de stress voor de factor oever (afwezigheid van oeverplanten) is beperkt (Figuur 4.2F). Deze stressscore lijkt alleen tijdelijk direct na het nemen van de herstelmaatregelen iets verhoogd op het herstelde traject. Dit is niet verwonderlijk, aangezien er direct na uitvoering vrijwel geen vegetatie meer aanwezig is (Figuur 2.4).

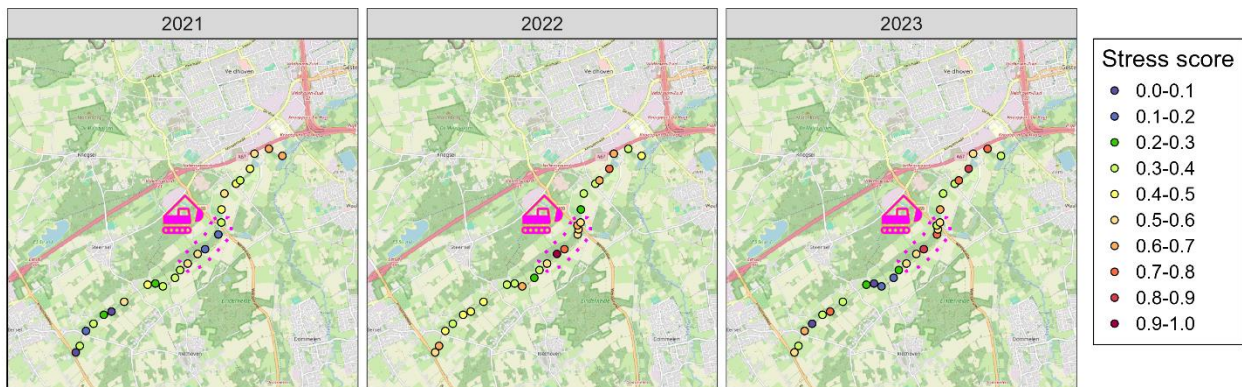
D) Toxiciteit: de aanwezigheid van giftige stoffen



E) Droogval: het optreden van droogte



F) Oever: de afwezigheid van waterplanten in de oever

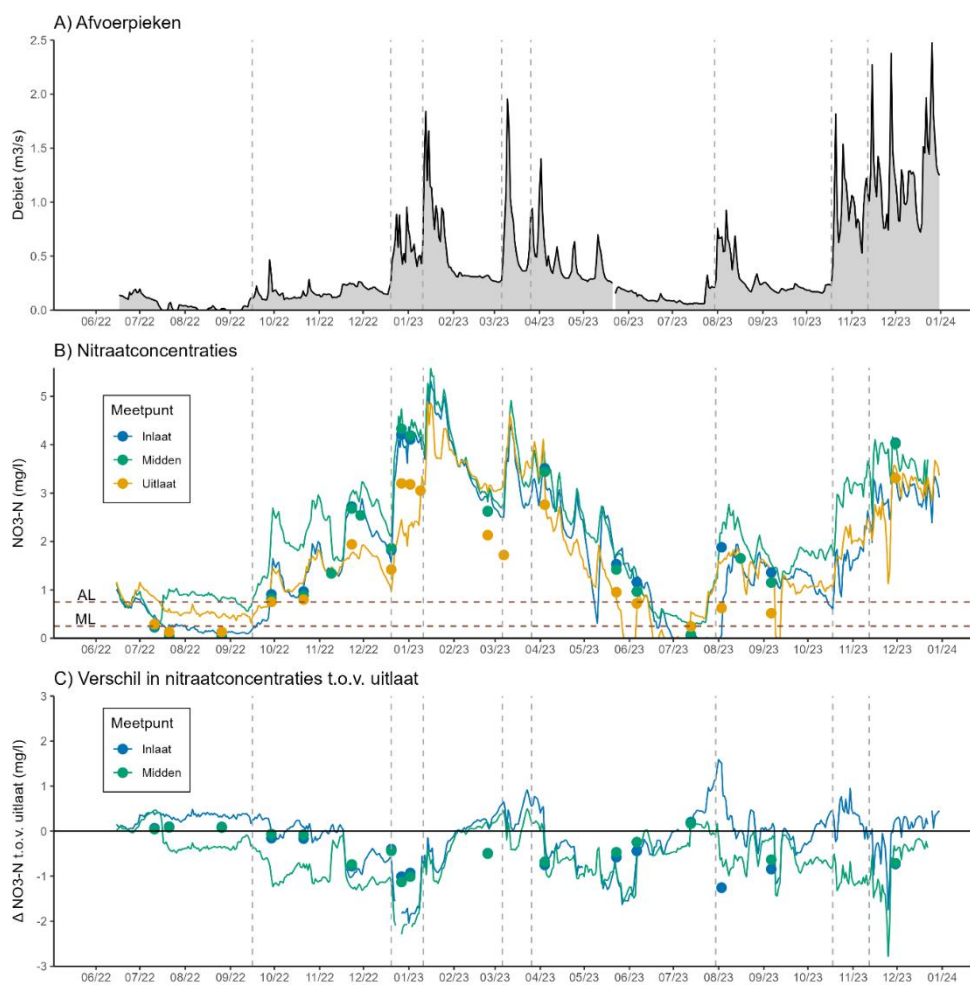


Figuur 4.2 (vervolg) Ruimtelijke patronen in stress door het optreden van verschillende knelpunten bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScanmeetpunten in de Run tussen 2021-2023. Roze stippellijn en een graafmachine geven het deel van de beek bij Grootgoor aan waar in 2021 herstelmaatregelen zijn gerealiseerd. De stresscores zijn gemiddeld over de voorjaars- en najaarsmetingen en berekend met de macrofauna- knelpuntenanalysetool. Zie Bijlage Figuur B2 voor aantal taxa en Figuur B3 voor resultaten per seizoen.

4.1.2 Opname pieken uit de landbouw door de moerasbeek

Nitraat

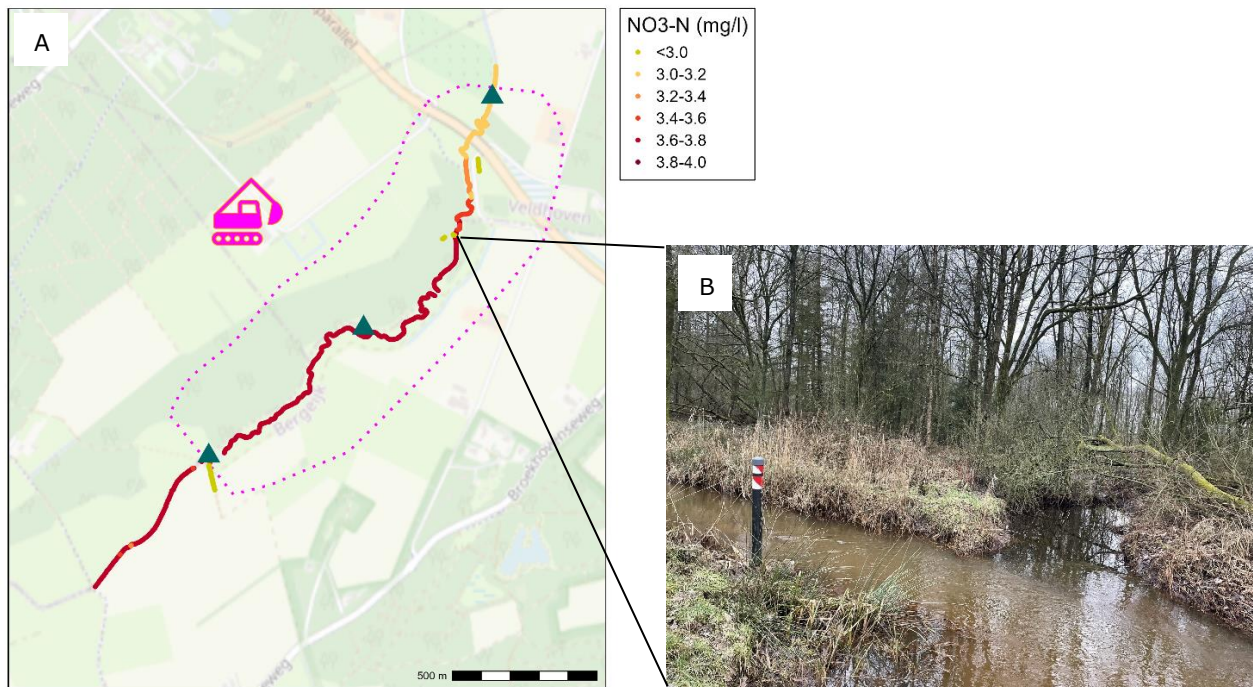
Tussen juni 2022 en december 2023 zijn het debiet en de nitraatconcentraties gemeten in de Run. Er zijn in deze periode verschillende afvoerpieken gedetecteerd (Figuur 4.3A, grijze stippellijn). Nitraat is gemeten met meetpalen en aan de hand van steekmonsters. Deze metingen zijn over het algemeen vergelijkbaar ($p < 0.001$), waarbij de overeenkomst het minst sterk is bij de uitlaat (Bijlage Figuur B4; R^2 inlaat = 0,88; midden = 0,93; en uitlaat = 0,74). Deze afwijking is met name opgetreden tussen 27/12/22 en 07/03/23 (Figuur 4.3B). Mogelijk is er een beschadiging op de lens ontstaan door het ijzersediment in de beek, alsook de padlengte door de lage concentraties. Daarnaast liggen de metingen van de meetpalen iets hoger dan het daadwerkelijke gehalte aan nitraat als de gemeten waarden onder de aantoonbaarheidslimiet liggen. De metingen met de meetpalen laten zien dat een toename van het debiet telkens samenvalt met de momenten waarop de nitraatconcentratie in de beek stijgt (Figuur 4.3B). Dit overlappende patroon in nitraat- en afvoerpieken verkregen met de continumetingen wordt echter niet weergegeven door de periodieke steekmonsters; deze laten alleen zien dat de nitraatconcentraties toenemen vanaf het najaar en afnemen in het voorjaar (Figuur 4.3C).



Figuur 4.3 Temporele patronen in A) afvoerpieken, B) nitraatconcentraties en C) verschil in nitraatconcentraties ten opzichte van het uitlaatpunt in de Run. Debietmetingen zijn uitgevoerd bij de hoogwaterstuw. Grijze verticale stippellijnen geven aan wanneer afvoerpieken zijn opgetreden (16/09/22, 20/12/22, 11/01/23, 06/03/23, 26/03/23, 30/07/23, 18/10/23 en 12/11/23). Nitraatmetingen zijn uitgevoerd bij de inlaat, het midden en de uitlaat van het hersteltraject. De stippen geven de nitraatmetingen op basis van de steekmonsters weer en de lijnen de metingen afkomstig van de meetpalen. Bruine horizontale stippellijnen geven de aantoonbaarheidslimiet (AL = 0,75 mg/l) en de meetlimiet (ML = 0,25 mg/l) van de meetpalen weer.

Om inzicht te krijgen in de mogelijke opname van nitraat door de moerasbeek hebben we de concentraties bij de inlaat en het midden van het gebied vergeleken met die gemeten bij de uitlaat (Figuur 4.3C). Uit de steekmonsters blijkt dat de nitraatconcentraties in de zomer vergelijkbaar waren op alle meetpunten. Van het najaar tot het voorjaar waren de concentraties ongeveer 0,4-1,3 mg/l NO₃-N lager bij de uitlaat dan bij de inlaat en in het midden van het traject. Door de tijdelijke afwijking in de meetpaalgegevens bij de uitlaat is dit patroon minder duidelijk zichtbaar in de continue metingen en is het precieze moment waarop de verschillen in nitraatconcentraties zijn opgetreden, niet te onderscheiden.

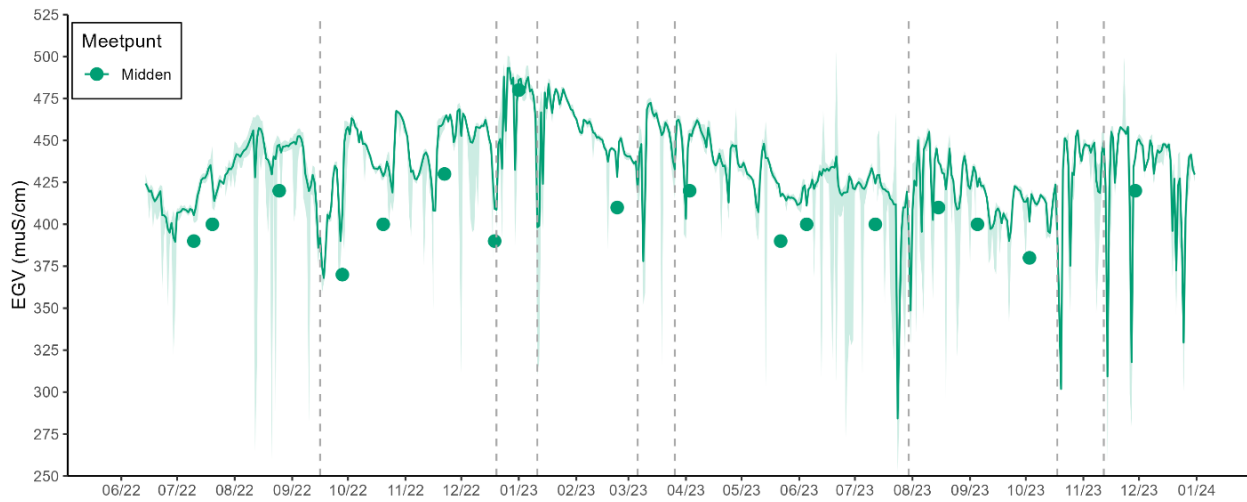
De lagere nitraatconcentraties vallen samen met de periode dat het debiet in de Run hoger was en de beek buiten haar oevers kon treden. Echter is het opvallend dat de nitraatconcentraties in het midden van het herstelde gebied nauwelijks verschillen van de inlaat. Om een beter beeld te krijgen waar de nitraatconcentraties precies afnemen, hebben we eenmalig in de winter met de Navigator-voerboot langs de beek en de zijwatergangen gevaren (Figuur 4.4A). Hieruit komt naar voren dat de nitraatconcentraties in de winter lager zijn in de zijwatergangen (NO₃-N in de drie zijwatergangen van boven- naar benedenstrooms gemiddeld: 1,2 mg/l; 1,7 mg/l en 0.7 mg/l) dan in de Run (NO₃-N in de Run ligt tussen 3,8 en 3,2 mg/l). De nitraatconcentraties nemen af vanaf het punt waar de beek de Feldbissbreuk doorkruist en ijzerrijk kwelwater bij de beek komt (Figuur 4.4B, tweede zijwatergang). Het is daarom aannemelijk dat andere processen dan opname door de moerasbeek hebben bijgedragen aan de lagere nitraatconcentraties bij de uitlaat, zoals verdunning met kwelwater dat armer aan nitraat is.



Figuur 4.4 A) Ruimtelijke patronen in nitraatconcentraties in de Run. Roze stippellijn met graafmachine geeft het herstelde deel van de beek bij Grootgoor aan. Groene driehoeken geven locaties van meetpalen weer. B) Foto van de plek waarbij de nitraatconcentraties afnemen.

Geleidbaarheid (EGV)

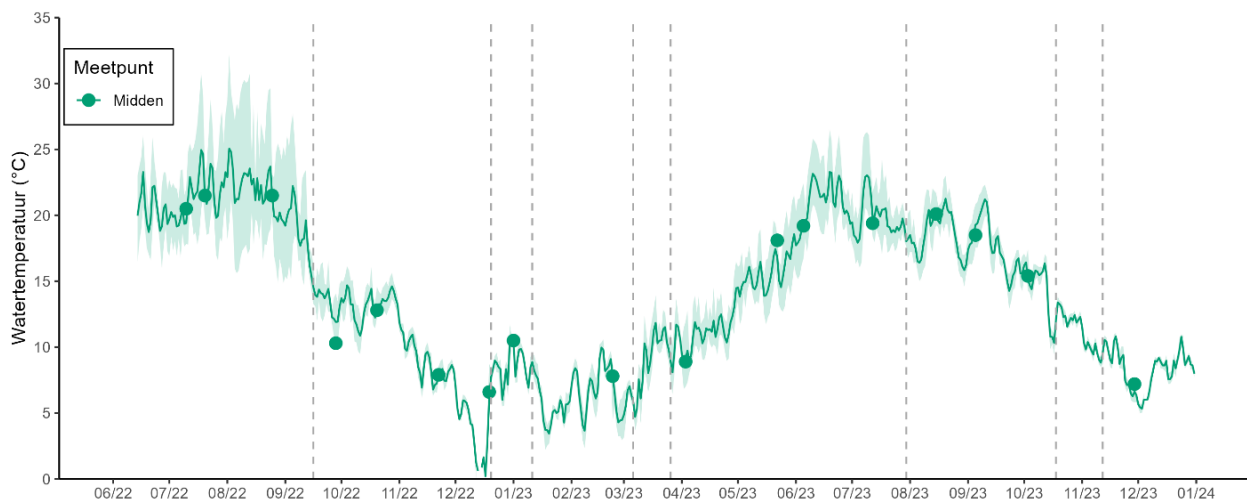
De metingen van geleidbaarheid zijn vergelijkbaar tussen de meetpaal en de steekmonsters ($p < 0,001$; $R^2 = 0,89$), waarbij de sensormetingen wel consequent hoger zijn dan de steekmonsters (ongeveer 73 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Bijlage Figuur B5). De geleidbaarheid in de Run is vrij constant door de tijd met tijdelijke afnames bij hoge piekafvoeren (Figuur 4.5).



Figuur 4.5 Temporele patronen in geleidbaarheid (EGV) in de Run op de meetpaallocatie in het midden van het herstelde gebied bij Grootgoor. Grize verticale stippellijnen geven aan wanneer afvoerpieken zijn opgetreden. De stippen geven de metingen met steekmonsters weer. De lijn geeft de gemiddelde metingen weer per dag, waarbij de band het dagminimum en -maximum aangeeft.

Watertemperatuur

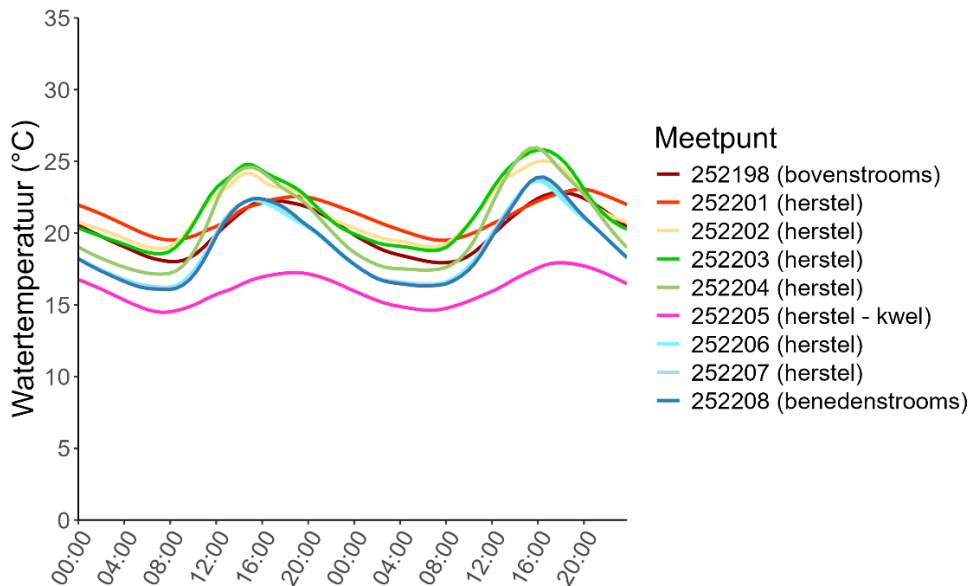
De metingen van de watertemperatuur zijn vergelijkbaar tussen de meetpaal en de steekmonsters ($p < 0,001$; $R^2 = 0,89$; Bijlage Figuur B6). De watertemperatuur fluctueert sterk gedurende het jaar (Figuur 4.6). Gemiddeld was de watertemperatuur 21°C in de zomer (juni-augustus), 13°C in het najaar (september-november), 7°C in de winter (december-februari) en 12°C in het voorjaar (maart-mei). Met name in de zomermaanden is er ook een grote fluctuatie gedurende de dag (zie bandbreedte Figuur 4.6). De maximale watertemperatuur gemeten door de meetpaal in het midden van het hersteltraject is 32°C.



Figuur 4.6 Temporele patronen in de watertemperatuur van de Run, gemeten in het midden van het herstelde gebied bij Grootgoor. Grize verticale stippellijnen geven aan wanneer afvoerpieken zijn opgetreden. De stippen geven de metingen met steekmonsters weer. De lijn geeft de gemiddelde metingen per dag weer, de band de minimum- en maximumwaarden.

Om te onderzoeken wat het effect van de aanleg van de moerasbeek is op de fluctuaties in watertemperatuur, is de watertemperatuur gedurende twee warme zomerdagen op meerdere meetpunten in de beek gemeten. Er zijn grofweg vier fluctuatiepatronen te onderscheiden (Figuur 4.7). Bovenstrooms (252198) en bij het begin van het hersteltraject (252201) was de gemiddelde watertemperatuur hoog (21°C), maar zijn de fluctuaties gedempt (18-23°C). In het eerste deel van het hersteltraject (252202-252204) is de gemiddelde watertemperatuur vergelijkbaar, maar is de fluctuatie groter (17-26 °C).

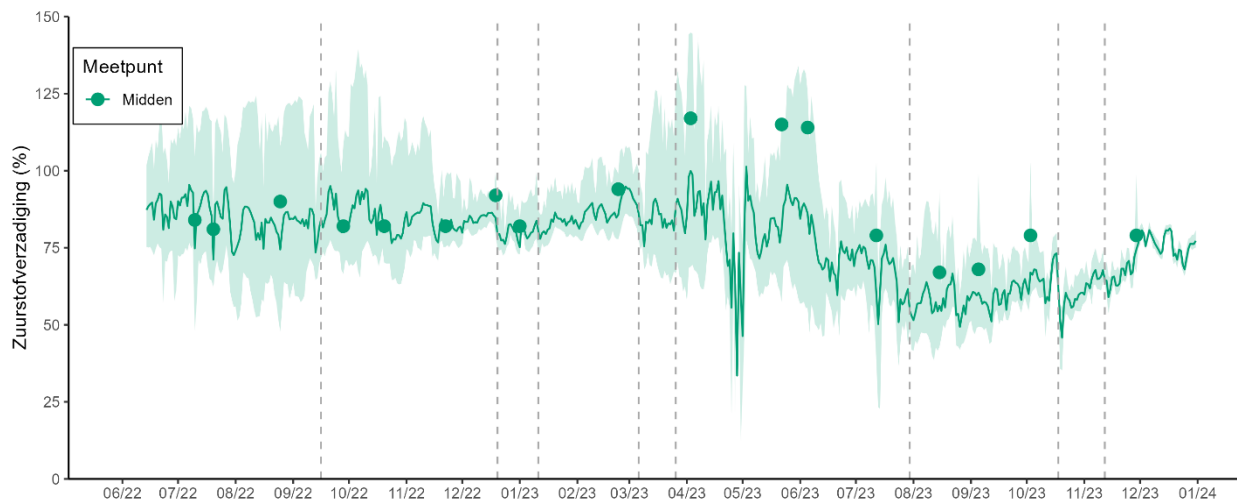
Bij meetpunt 252205 stond de logger op een plek waar een zijwatergang op de Run uitmondt die kwel vanuit het bos van het Gootgoor afvoert. De watertemperatuur is daar aanzienlijk lager en fluctueert tussen 14-18°C. Benedenstrooms van deze locatie (252206-252208) is de watertemperatuur ongeveer 2°C lager dan in het eerste deel van hersteltraject, maar de fluctuatie blijft groot (16-24 °C). De gemeten waarden liggen nog aanzienlijk hoger dan de optimale maximumtemperaturen voor beekorganismen (16°C voor koele bovenlopen en 18°C voor midden- en benedenlopen; Verdonschot & Verdonschot, 2021c) en verklaart daarmee de hoge stressscore voor temperatuur op de macrofaunagemeenschap (zie paragraaf 4.1.1). Net als voor nitraat lijkt met name de toevoer van kwelwater uit het bos van invloed te zijn op de watertemperatuur in de Run.



Figuur 4.7 Fluctuatie in watertemperatuur gedurende twee warme zomerdagen (15/7/22-16/7/22) op verschillende meetpunten in de Run. Lijnen geven 15-minutenmetingen over tijd weer, gesmoothed met een LOESS-regressie (span-waarde = 0.1).

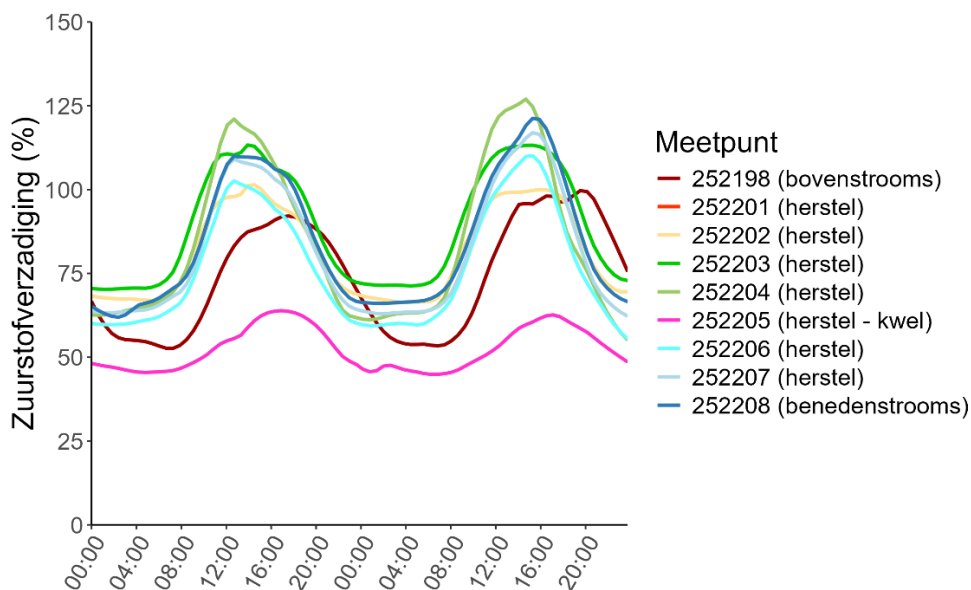
Zuurstofverzadiging

Door de grote fluctuatie in zuurstofverzadiging tijdens een dag zijn de gemiddelde waarden van de meetpalen op een dag niet goed te vergelijken met de steekmonsters ($p < 0,001$; $R^2 = 0,62$; Bijlage Figuur B7), maar vallen wel binnen de minimum- en maximumwaarden gemeten op een dag (zie bandbreedte Figuur 4.8). De gemiddelde zuurstofverzadiging was vergelijkbaar tussen de seizoenen (73-84%), maar lijkt lager te zijn in de zomer van 2023 dan van 2022. De grootste fluctuatie in zuurstofverzadiging treedt op in het voorjaar en in de zomer.



Figuur 4.8 Temporele patronen in zuurstofverzadiging in de Run, gemeten in het midden van het herstelde gebied bij Grootgoor. Grize verticale stippellijnen geven aan wanneer afvoerpieken zijn opgetreden. De stippen geven de metingen met steekmonsters weer, de lijn de gemiddelde metingen per dag en de band de minimum- en maximumwaarden.

Gedurende de twee warme zomerdagen was de fluctuatie in zuurstofverzadiging op alle meetpunten in de Run vergelijkbaar (52-128%), met uitzondering van meetpunt 252205 (Figuur 4.9). Op dit meetpunt stond de logger op een plek waar een zijwatergang op de Run uitmondt die kwel vanuit het bos van het Grootgoor afvoert. Hier was de zuurstofverzadiging lager (43-64%). In tegenstelling tot de watertemperatuur en nitraatconcentratie lijkt er geen invloed benedenstrooms op te treden.

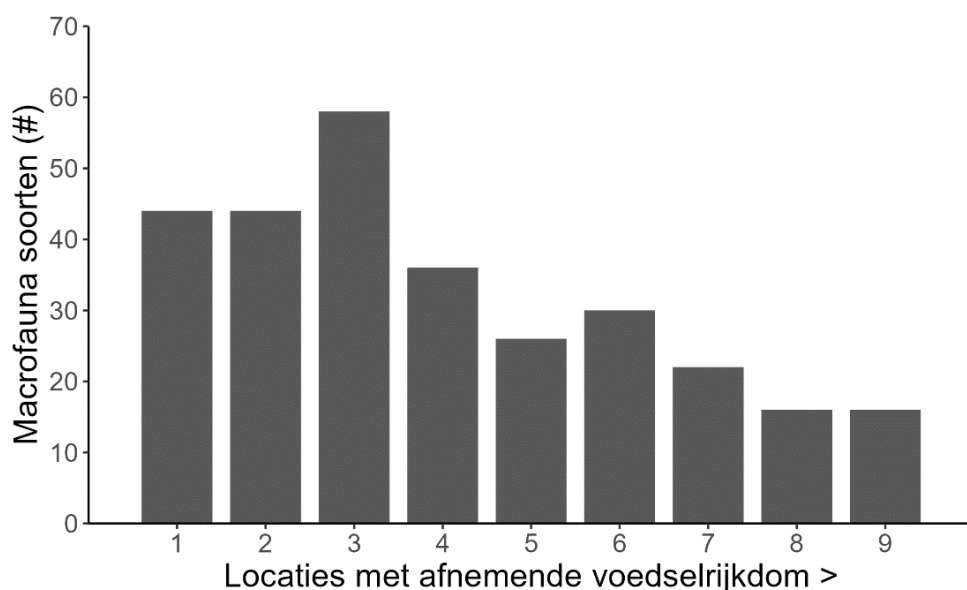


Figuur 4.9 Fluctuatie in zuurstofverzadiging gedurende twee warme zomerdagen (15/7/22-16/7/22) op verschillende meetpunten in de Run. Lijnen geven 15-minutenmetingen over tijd weer, gesmootherd met een LOESS-regressie (span-waarde = 0.1). Zuurstofmetingen op 252201 zijn niet gelukt.

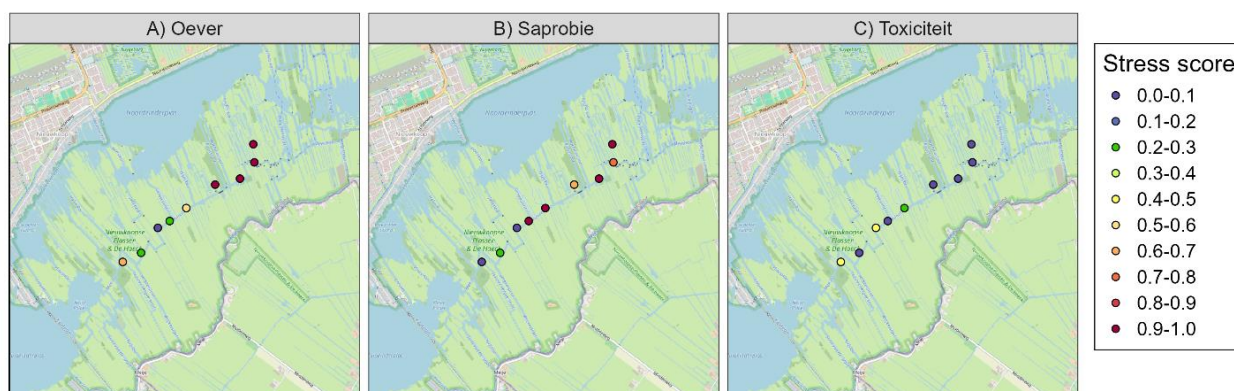
4.2 Slootsysteem in de Nieuwkoopse Plassen

4.2.1 Verandering in macrofaunagemeenschap langs de verrijgingsgradiënt

De macrofaunasoortenrijkdom neemt af in de sloten langs de afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen, d.w.z. hoe lager de voedselrijkdom, des te minder soorten er in een monster zijn waargenomen (Figuur 4.10). Een vergelijkbaar patroon is zichtbaar als de monsters op QuickScan-niveau zouden zijn gedetermineerd (Bijlage Figuur B8 en B9). Deze verandering is echter in tegenspraak met de verwachting dat sloten met een lagere voedselrijkdom meer macrofaunasoorten zouden bevatten (Verdonschot, 2012). Uit de macrofauna-knelpuntenanalyse komt naar voren dat een mogelijke verklaring is dat er afwezigheid is van waterplanten in de oever op de laatste vier meetpunten (Figuur 4.11A). Daarnaast geeft de analyse een hoge stressscore voor organische belasting aan vanaf het vierde meetpunt, ondanks dat dit de meetpunten zijn waarop er een lagere voedselrijkdom werd verwacht (Figuur 4.11B). De stress door de aanwezigheid van giftige stoffen is langs de gehele gradiënt laag (Figuur 4.11C). De uitkomsten op QuickScan-niveau komen met deze resultaten overeen (Bijlage Figuur B10).



Figuur 4.10 Macrofauna-soortenrijkdom in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Het betreft 1,5 m netmonster van de drie dominantste habitats, gedetermineerd op soortniveau.

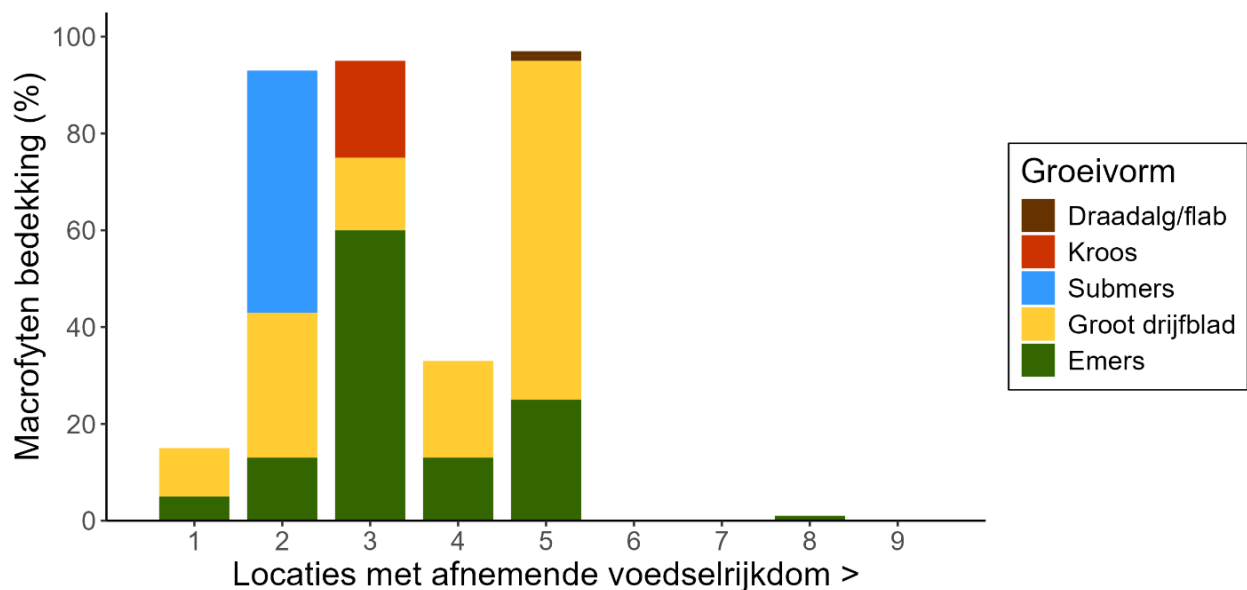


Figuur 4.11 Ruimtelijke patronen in stress door het optreden van verschillende knelpunten, bepaald op basis van de macrofauna op soortniveau waarbij A) Oever: de afwezigheid van waterplanten in de oever is, B) Saprobie: de aanwezigheid van organische belasting en C) Toxiciteit: de aanwezigheid van giftige stoffen. Zie Bijlage Figuur B10 voor resultaten op QuickScan-niveau.

4.2.2 Mogelijk verklarende stressoren

Macrofyten

De macrofytenbedekking laat een tweedeling zien tussen de sloten (Figuur 4.12). Op de eerste vijf locaties domineren emerse en drijfbladvegetatie, terwijl op de laatste vier locaties vrijwel geen waterplanten staan. Dit komt overeen met de resultaten van de macrofauna knelpuntenanalyse (Figuur 4.11A). Submerse vegetatie is uitsluitend waargenomen in de tweede sloot (Figuur 4.12). Dit is opvallend, aangezien de SNL-kartering van Natuurmonumenten laat zien dat in 2019 in de kern van het gebied nog uitgebreide vegetaties met submerse waterplanten, zoals klein blaasjeskruid en kransvederkruid, voorkwamen (Figuur 2.6). De afwezigheid van macrofyten zou een verklarende factor kunnen zijn voor de lagere macrofauna-soortenrijkdom in de sloten langs de verrijgingsgradiënt, omdat ze een essentiële habitat vormen gedurende verschillende levensstadia (bijvoorbeeld als hechtingsplaats voor voedselbronnen, als schuilplaats voor predatoren, als plek voor eiafzetting en uitsluiting; Whatley et al., 2014).

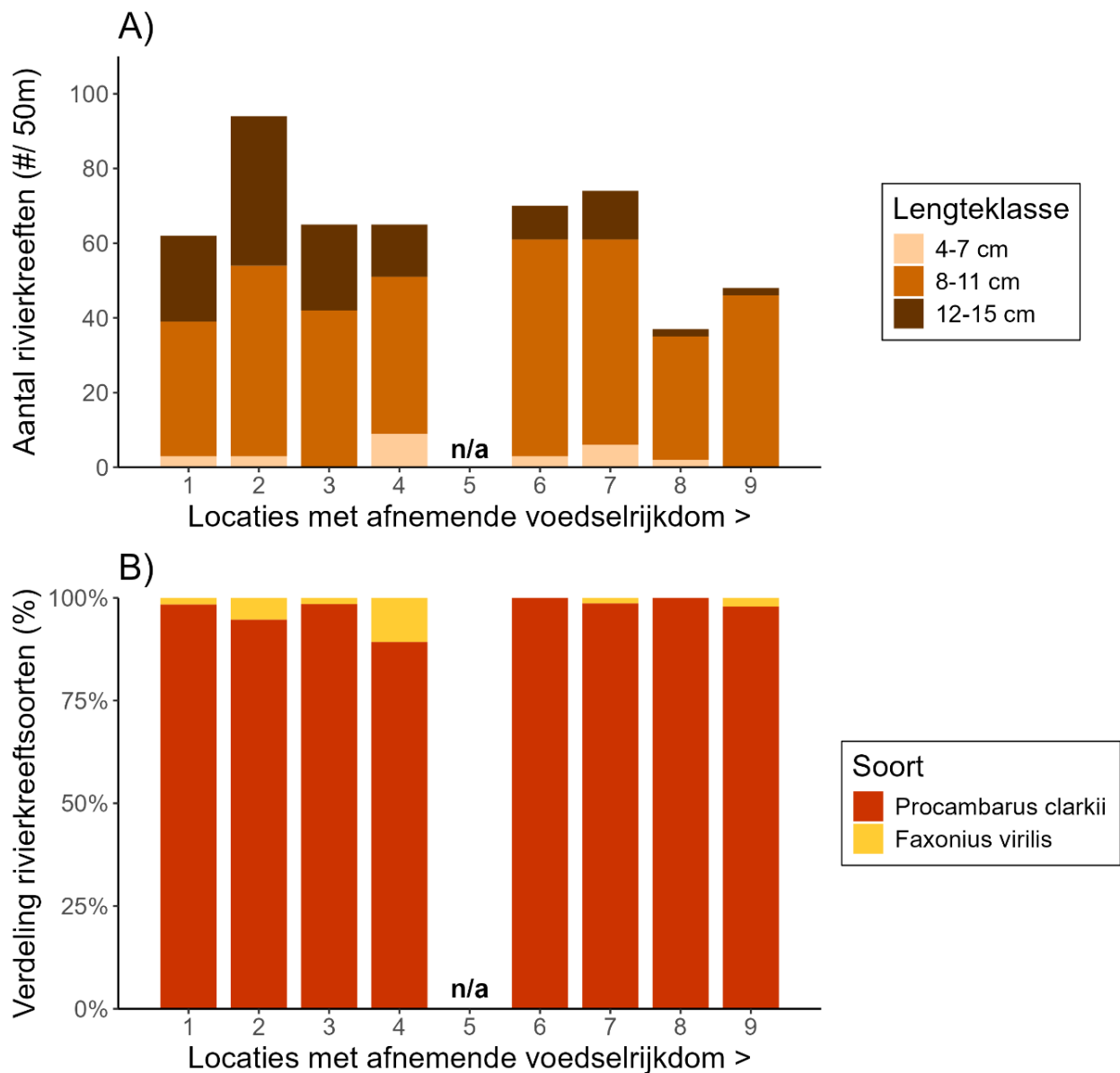


Figuur 4.12 Macrofytenbedekking per groeivorm in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen.

Rivierkreeften

Er zijn in de sloten langs de verrijgingsgradiënt gemiddeld (\pm sd) 64 ± 17 kreeften/50m gevangen (Figuur 4.13A). Het hoogste aantal kreeften is gevangen op de tweede locatie (94 kreeften/50m) en het laagste aantal op de achtste locatie (37 kreeften/50m). Dit komt neer op 3-8 kreeften per korf, wat een hoge dichtheid is vergeleken met eerdere metingen (Cusell et al., 2020). De vangst bestond voornamelijk uit lengteklasse 8-11 cm, gevolgd door 12-15 cm. De vangstefficiëntie voor de kleinste kreeften met korven is gering. Er zijn met name rode Amerikaanse rivierkreeften (*Procambarus clarkii*) gevangen en een enkele geknobbelde Amerikaanse rivierkreeft (*Faxonius virilis*) (Figuur 4.13B).

Invasieve rivierkreeften kunnen een negatief effect hebben op de groei van submerse waterplanten door bijvoorbeeld begrazing en bioturbatie (Van der Wal et al., 2013; Roessink et al., 2017). Het is daarom opvallend dat de hoogste dichtheid rivierkreeften is gevangen in de enige sloot met nog submerse waterplanten langs de gradiënt. Een enclosure-experiment zou verder inzicht kunnen geven in de rol van de rivierkreeften in de afwezigheid van submerse waterplanten in relatie tot de andere aanwezige stressoren. Er kunnen daarnaast ook interacties optreden tussen de macrofauna en de rivierkreeften (predatie, concurrentie), wat mogelijk invloed heeft op de gevonden macrofauna-aantallen. Tot slot zijn reeds gestreste ecosystemen over het algemeen ook kwetsbaarder voor invasies met exoten (Strayer, 2010); andere stressoren kunnen de hoge dichtheden van exotische rivierkreeften dus mogelijk in de hand werken.



Figuur 4.13 Rivierkreeften in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen met A) het aantal rivierkreeften per lengteklasse en B) verdeling van de soorten. De kreeften zijn gevangen in korven over een 50m-traject, waarbij de vangstefficiëntie voor de kleinste kreeften gering is. N/a geeft aan dat een meting niet is gelukt voor deze locatie.

Geleidbaarheid (EGV)

De metingen van geleidbaarheid van het water zijn vergelijkbaar tussen de sensor op de Navigator-voerboot en de steekmonsters ($p < 0,001$; $R^2 = 0,98$; Bijlage Figuur B11). Uit de Navigatorvoerboot-metingen komen duidelijk verschillende patronen tussen de seizoenen naar voren (Figuur 4.13), welke moeilijk te onderscheiden zijn op basis van de steekmonsters (Bijlage B12). In het voorjaar was de variatie in geleidbaarheid het grootst (90%-percentielinterval: 400-590 $\mu\text{S}/\text{cm}$), waarbij het patroon de inlaat-regenwatergradiënt volgt (Figuur 4.14A). In de zomer was de geleidbaarheid het hoogst (90%-percentielinterval: 490-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Hoewel de inlaat-regenwatergradiënt nog zichtbaar is, is deze minder duidelijk dan in het voorjaar (Figuur 4.14B). In het najaar is de geleidbaarheid niet alleen hoger aan de inlaatzijde, maar ook in de sloot die in verbinding staat met de Noordeinderplas (90%-percentielinterval: 380-496 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Figuur 4.14D). In de winter was de geleidbaarheid het laagst en was er weinig variatie in het gebied (90%-percentielinterval: 320-380 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Figuur 4.14D).



Figuur 4.14 Ruimtelijke patronen in geleidbaarheid (EGV) in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met de Navigator-voerboot gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) winter 24-01-24.

Zuurgraad

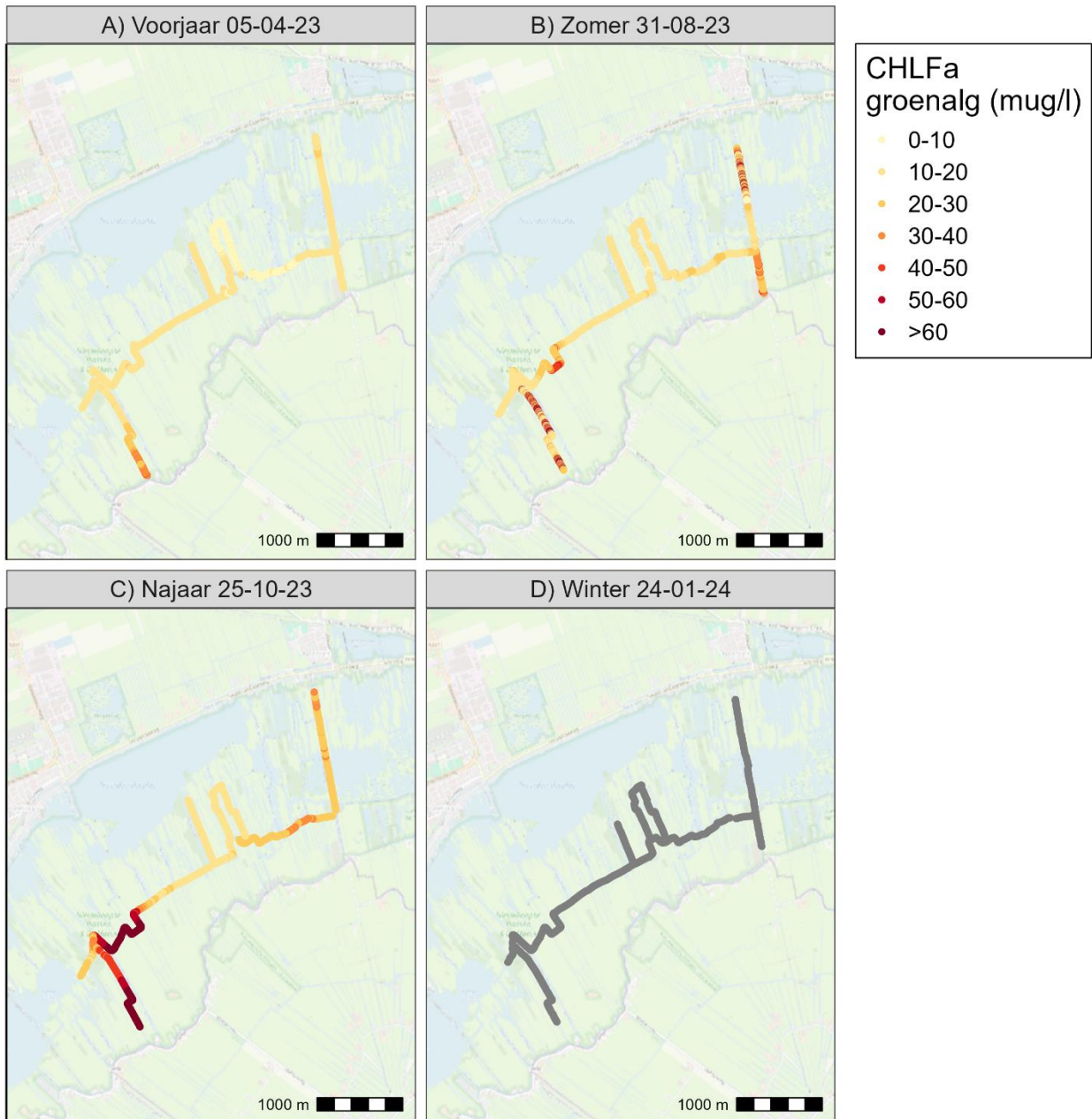
De metingen van pH van de Navigator-voerboot metingen en de steekmonsters zijn aan elkaar gerelateerd ($p < 0,001$; $R^2 = 0,87$), maar de sensormetingen zijn consequent iets lager dan de steekmonsters (ongeveer 0.8; Bijlage Figuur B13). De pH is het hoogst in het voorjaar (90%-percentielinterval: 7.5-8.2; Figuur 4.15A), waarna deze afneemt in de zomer (90%-percentielinterval: 7.3-7.8; Figuur 4.15B) en het najaar (90%-percentielinterval: 6.9-7.6; Figuur 4.15C). In de winter neemt de pH vervolgens weer wat toe (90%-percentielinterval: 7.5-7.8; Figuur 4.15D). De patronen zijn enigszins vergelijkbaar tussen de seizoenen, waarbij telkens een hogere pH is gemeten in de Vlietsloot (meest oostelijke zijsloten van de vaarroute) waar deze verbonden is met de Wijde van de Vliet, en de sloten die verbonden zijn met de Noordeinderplas (behalve winter) en de Zuideinderplas (behalve najaar) (Figuur 4.15). Meren hebben over het algemeen een stabielere en hogere pH dan sloten (Verdonschot et al., 2011). Net als voor geleidbaarheid geldt dat deze patronen moeilijk te onderscheiden zijn met de steekmonsters (Bijlage B14).



Figuur 4.15 Ruimtelijke patronen in zuurgraad in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met de Navigator gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) winter 24-01-24.

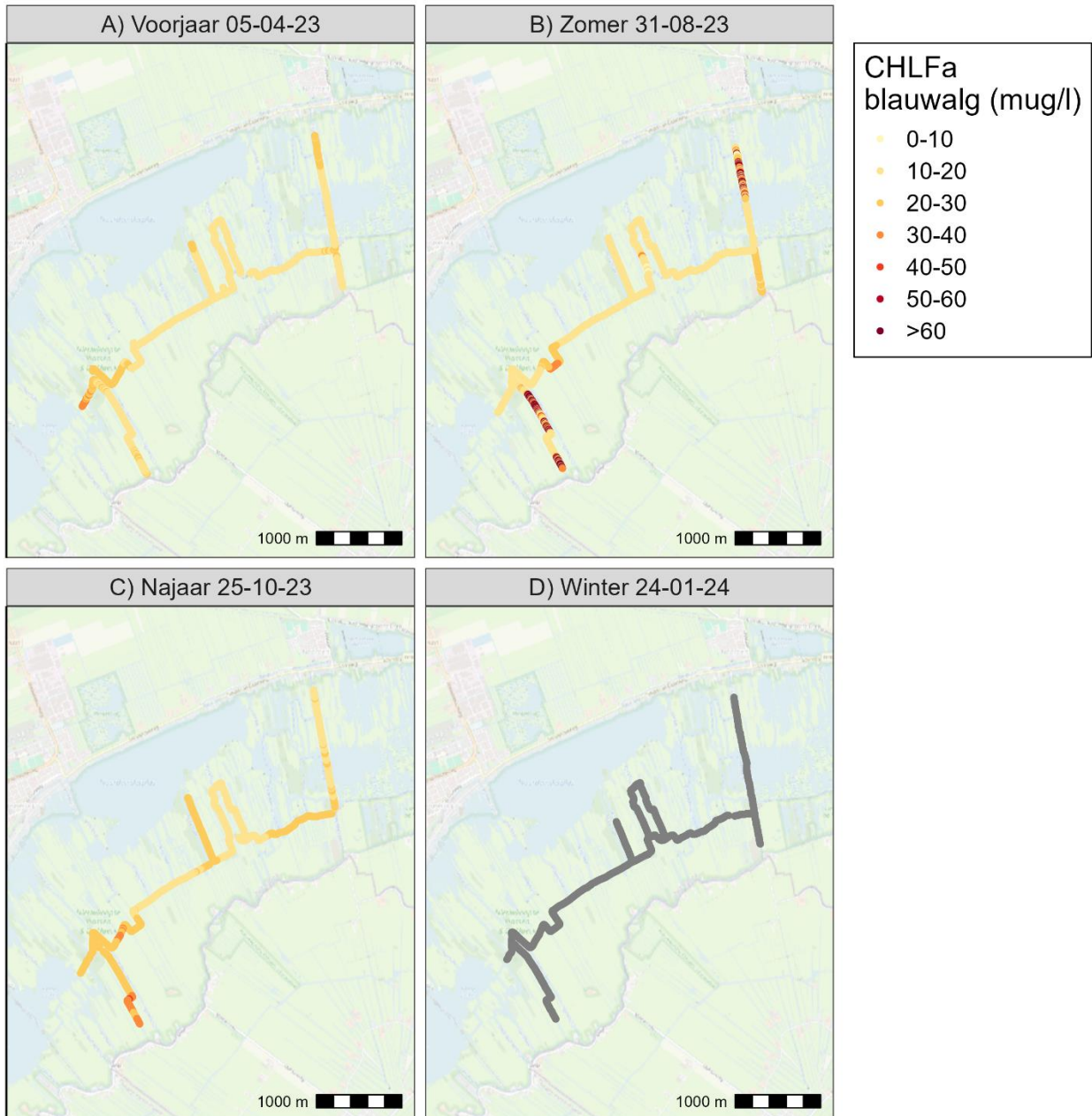
Chlorofyl-a groen- en blauwalgen

De metingen van chlorofyl-a groenalgen van de Navigator-voerboot en de steekmonsters zijn slechts beperkt aan elkaar gerelateerd ($p < 0,001$; $R^2 = 0,28$; Bijlage Figuur B15). De concentratie chlorofyl-a groenalgen is hoog in de zomer in de Vlietsloot (meest oostelijke zijsloten van de vaarroute), maar dit patroon komt duidelijker naar voren in de steekmonsters (Bijlage Figuur B16) dan in de sensormetingen (Figuur 4.16). Daarnaast is de concentratie in zowel de zomer als het najaar hoog in de Nieuwe Vergeersloot (meest zuidwestelijke zijslot van de vaarroute) en een kort deel ten oosten hiervan in de Meesloot (Figuur 4.16; Bijlage Figuur B16).



Figuur 4.16 Ruimtelijke patronen in chlorofyl-a groenalgconcentraties in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met de Navigator gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) wintermetingen zijn niet gelukt (de vaarroute is aangegeven in grijs).

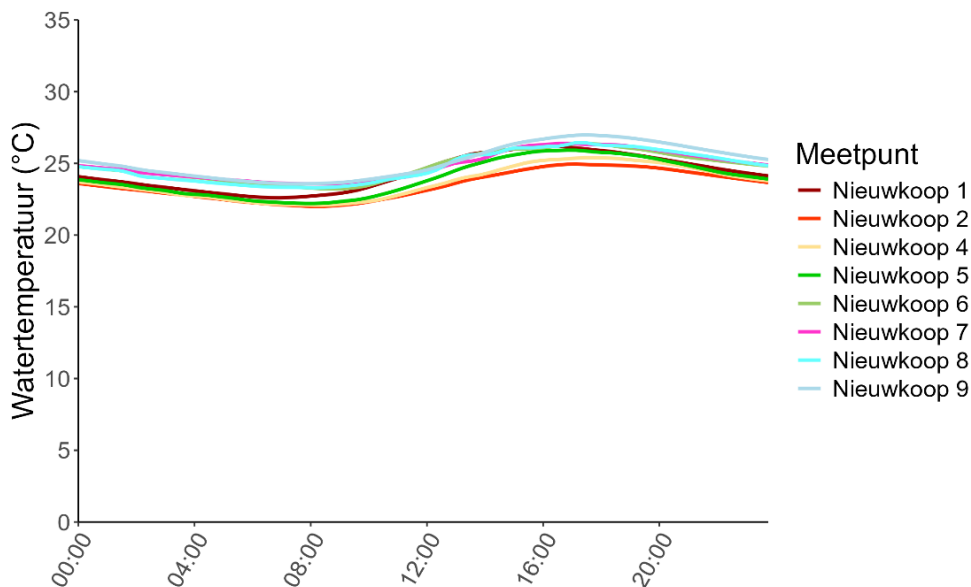
De metingen van chlorofyl-a blauwalgen van de Navigator-voerboot metingen en de steekmonsters zijn niet aan elkaar gerelateerd ($p = 0,3$; $R^2 = 0,03$; Bijlage Figuur B17). De hoogste chlorofyl-a blauwalgenconcentraties zijn waargenomen in de winter, met name in de Vlietsloot en de sloten nabij de Noordeinderplas (Bijlage Figuur B18), maar in deze vaarroute zijn de fluorescentie-sensormetingen niet gelukt (Figuur 4.17). In het slootensysteem van de Nieuwkoopse Plassen heeft de aanwezigheid van humuszuren waarschijnlijk een grote invloed op de blauwalgmetingen van zowel de Navigator-voerboot als de steekmonsters, waardoor deze metingen minder betrouwbaar zijn.



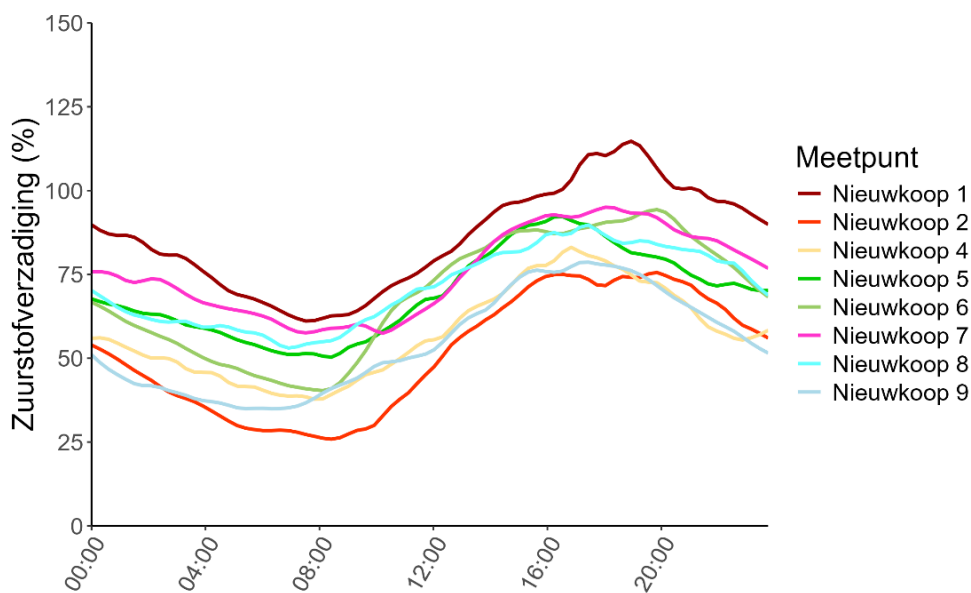
Figuur 4.17 Ruimtelijke patronen in chlorofyl-a blauwalgconcentraties in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met de Navigator gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) wintermetingen zijn niet gelukt (de vaarroute is aangegeven in grijs).

Watertemperatuur en zuurstofverzadiging

De watertemperatuur was in alle sloten vergelijkbaar en fluctueert gedurende de negen warme zomerdagen tussen de 22-27°C (Figuur 4.18). Ook de zuurstofverzadiging is vergelijkbaar tussen de sloten en komt met uitzondering van het eerste meetpunt gedurende de negen zomerdagen niet boven de 100% uit (Figuur 4.19). Op dit meetpunt fluctueert de zuurstofverzadiging tussen 60 en 115%. De laagste waarden worden waargenomen bij het tweede meetpunt, waar de zuurstofverzadiging schommelt tussen 25 en 76%. Dit is tevens de enige sloot met submerse vegetatie (Figuur 4.12). De zuurstoffluctuaties duiden op een hoge respiratie en microbiële afbraak van organisch materiaal in de sloten (Van der Lee et al., 2018). Doordat er geen duidelijke verschillen zijn tussen de sloten, lijken watertemperatuur en zuurstofverzadiging niet direct de gradiënt in de afname van macrofaunasoorten te verklaren.



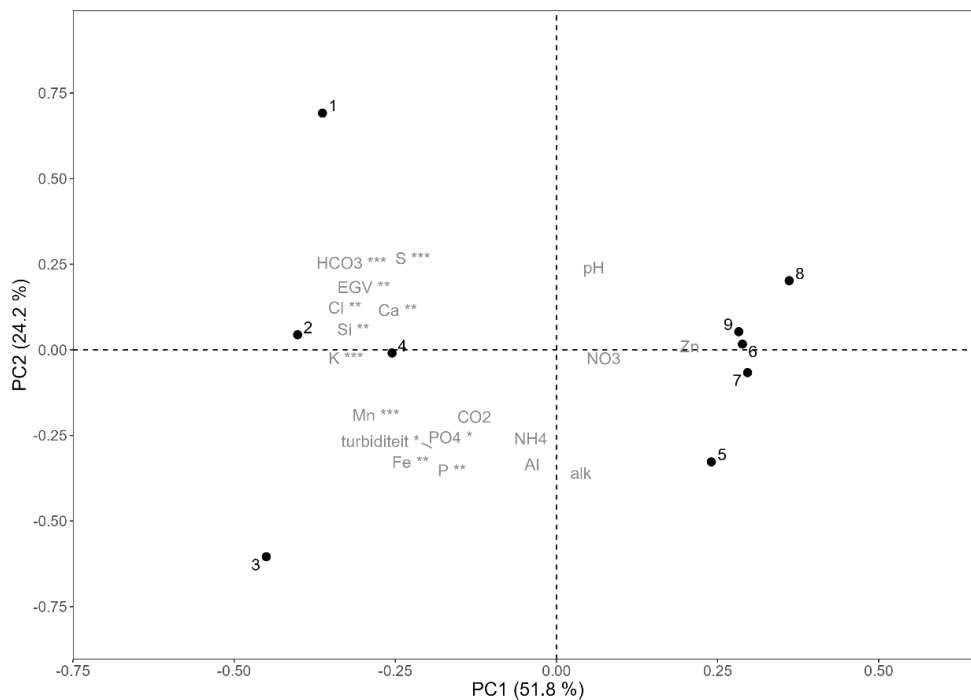
Figuur 4.18 Fluctuatie in watertemperatuur gedurende een dag gemiddeld over negen warme zomerdagen (13/6/23-21/6/23) in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Lijnen geven 15-minutenmetingen over tijd weer, gesmoothed met een LOESS-regressie (span-waarde = 0.1). Metingen op meetpunt 3 zijn niet gelukt.



Figuur 4.19 Fluctuatie in zuurstofverzadiging gedurende een dag, gemiddeld over negen warme zomerdagen (13/6/23-21/6/23) in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Lijnen geven 15-minutenmetingen over tijd weer, gesmoothed met een LOESS-regressie (span-waarde = 0.1). Metingen op meetpunt 3 zijn niet gelukt.

Water- en bodemkwaliteit

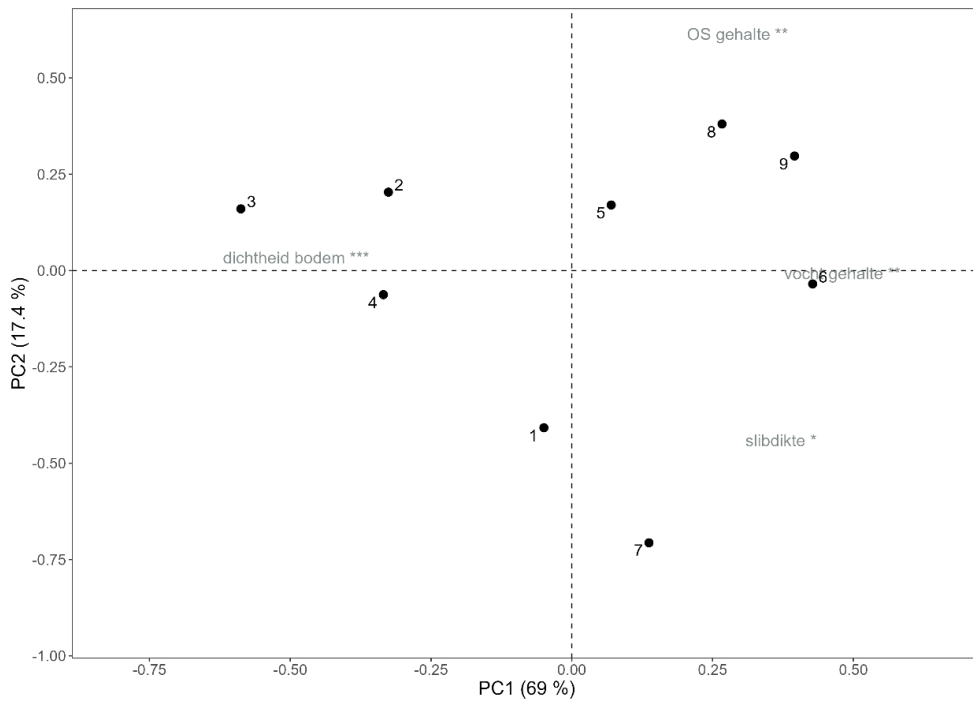
Om de patronen in water- en bodemkwaliteitsmetingen in de negen sloten te bepalen, zijn ordinarieplots gemaakt (Figuur 4.20-4.22). Hoe dichter meetpunten bij elkaar staan, hoe meer de water- of bodemkwaliteit op deze meetpunten op elkaar lijkt. De oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen laten een tweedeling in de meetpunten zien, waarbij de concentraties van verschillende stoffen (onder andere HCO_3 , S, K, Mn) op de eerste vier meetpunten relatief hoger zijn dan op de laatste vijf meetpunten (Figuur 4.17). Hierbij bevestigen de afnemende fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater de aanwezigheid van de verrijgingsgradiënt (Bijlage Figuur B19). Op alle meetpunten is de gemeten concentratie CO_2 en HCO_3 hoger dan respectievelijk $100 \mu\text{mol/l}$ en $1800 \mu\text{mol/l}$, die nodig is voor waterplanten om (goed) te kunnen groeien (Smolders et al., 2024). Het betreft echter wel een momentopname.



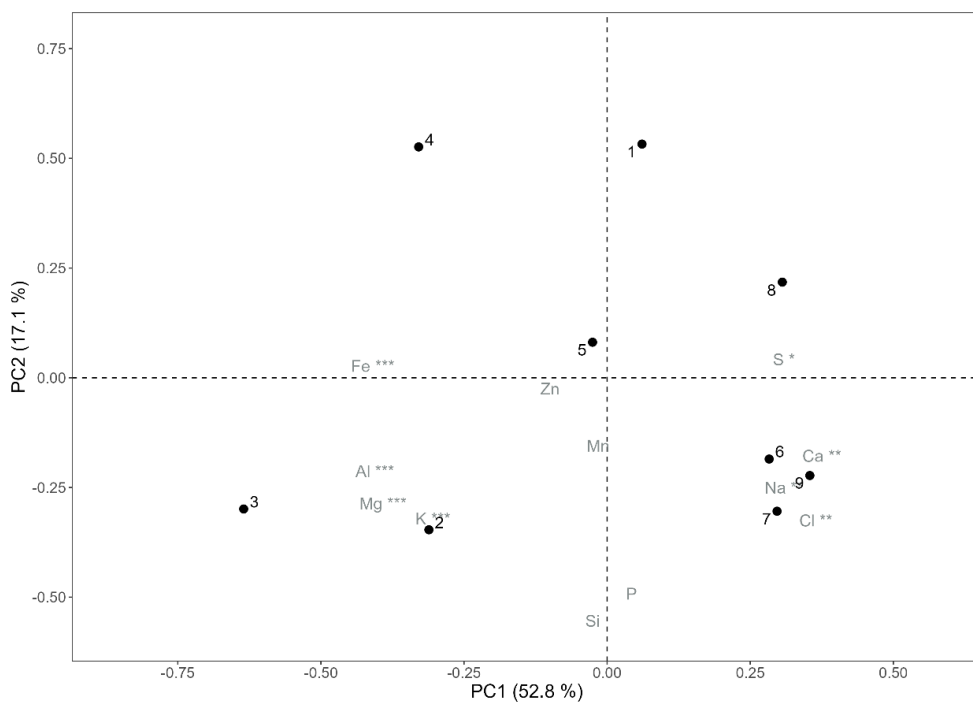
Figuur 4.20 Ordinate (PCA) van de oppervlaktewaterkwaliteit in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Sterretjes achter parameters geven aan of de parameter significant bijdraagt aan de ordinatie, waarbij *** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$ en * = $p < 0.05$.

De bodemstructuur laat een meer graduele overgang zien langs de afnemende verrijgingsgradiënt, waarbij de bodemdichtheid afneemt en het vochtgehalte, de slibdikte en het organisch stofgehalte toenemen (Figuur 4.21). De sloten waar geen macrofyten groeien en het aantal macrofaunasoorten laag is, worden gekenmerkt door 'waterige' bodems met een dikke sliblaag en een hoog organisch stofgehalte. Een slibbodem kan negatieve effecten hebben op de ecologie in ondiepe stilstaande wateren (Van Geest, 2022). Mogelijk verklaart dit ook de hoge stressscore voor organische belasting volgens de macrofauna-knelpuntenanalyse op deze meetpunten (Figuur 4.11B).

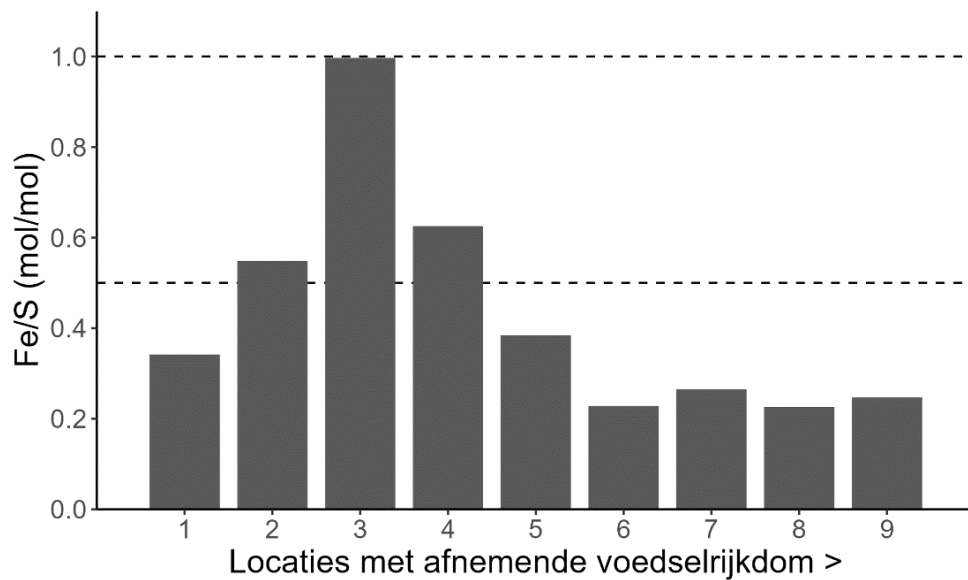
De bodemkwaliteitsmetingen als drooggewicht van de bovenste 10 cm slib hebben eenzelfde patroon als de bodemstructuur (Figuur 4.22). Opvallend is dat ijzer (Fe) afneemt langs de gradiënt en zwavel (S) toeneemt. Wanneer er een onbalans ontstaat in de verhouding tussen Fe en S in de waterbodem kan dit tot potentiële sulfidotoxiciteit leiden (Vermaat et al., 2012). Onder een Fe:S-ratio in de bodem van 0.5-1 mol/mol treedt sterke verslechtering in waterkwaliteit op. Langs de afnemende verrijgingsgradiënt neemt deze verhouding af en komt onder de 0.5 mol/mol (Figuur 4.23). Hoewel de aanwezigheid van toxische stoffen niet naar voren komt uit de macrofauna-knelpuntenanalyse (Figuur 4.11C), leveren de metingen van de bodemkwaliteit wel een mogelijke verklaring voor de afname in macrofaunasoorten in de sloten richting de kern van het gebied.



Figuur 4.21 Ordinatie (PCA) van de bodemstructuur in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Sterretjes achter parameters geven aan of de parameter significant bijdraagt aan de ordinatie, waarbij *** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$ en * = $p < 0.05$. OS-gehalte = organisch stofgehalte.



Figuur 4.22 Ordinatie (PCA) van de bodemkwaliteit met stoffen als drooggewicht van de bovenste 10 cm slib in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Sterretjes achter parameters geven aan of de parameter significant bijdraagt aan de ordinatie, waarbij *** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$ en * = $p < 0.05$.



Figuur 4.23 Fe:S-ratio van de bovenste 10 cm slib in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. De Fe:S-ratio in de bodem van 0.5-1 mol/mol waaronder een sterke verslechtering in waterkwaliteit optreedt, is aangegeven met een stippellijn.

5 Ervaringen en aanbevelingen innovatieve meettechnieken

In het project is de praktische toepasbaarheid van de QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse en innovatieve sensortechnieken voor diagnostische monitoring gestaafd aan de hand van een casus in stromende wateren (beekstelsysteem de Run) en in stilstaande wateren (slotensysteem in de Nieuwkoopse Plassen). Hieronder volgt een overzicht van de ervaringen die zijn opgedaan met deze innovatieve meettechnieken en worden aanbevelingen voor doorontwikkeling gedaan.

5.1 QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse

Uit de casus van de Run komt naar voren dat met een combinatie van lange termijn KRW-meetpunten en vlakdekkende QuickScanmeetpunten een diagnose kan worden gesteld van zowel de temporele veranderingen als de ruimtelijke verschillen in het beekstelsysteem. Hoewel de meetreeks na het uitvoeren van de herstelmaatregelen nog kort is, geeft de macrofauna-knelpuntenanalyse al wel een indicatie dat er een positief effect is van de maatregelen op de stromingscondities. Daarnaast geeft de analyse een beeld van de knelpunten die nog aanwezig zijn. Deze inzichten kunnen worden ingezet om te laten zien wat de effectiviteit van de uitgevoerde maatregelen is geweest en geeft tevens richting aan het nemen van aanvullende maatregelen.

De casus van de sloten in de Nieuwkoopse Plassen bleek complexer (meer multi-stress) dan verwacht, omdat het aantal macrofaunasoorten afnam langs de gradiënt van afnemende voedselrijkdom. In de kern van het gebied ontbraken bovendien waterplanten, wat in lijn was met de bevindingen van de macrofauna-knelpuntenanalyse. Het vervolgonderzoek richtte zich op het identificeren van de stressoren die deze problematiek konden verklaren. Hierdoor was deze casus echter minder geschikt om de validiteit van de QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse voor stilstaande wateren te onderbouwen. De analyse is in deze studie gebruikt voor planten oeverstructuur, organische belasting en toxiciteit. Het wordt aanbevolen de methode verder te testen op locaties waar meer bekend is over de aanwezige stressoren. Daarnaast is een aantal milieu- en habitatpreferenties waarop de knelpuntenanalyse is gebaseerd meer gericht op stromende watersoorten; het knelpunt temperatuur is bijvoorbeeld gebaseerd op de preferentie voor 'zeer ondiep (bron)'. Het is daarom noodzakelijk de tool door te ontwikkelen, zodat dit knelpunt ook voor stilstaande wateren kan worden meegenomen. Ook kunnen knelpunten worden toegevoegd die specifiek voor sloten relevant zijn, zoals salinisatie en verlanding.

De QuickScanmethode gaf in beide projecten een vergelijkbaar beeld van de aanwezige knelpunten als de tot op soort gedetermineerde monsters. Toch zal het gebruik van minder taxonomisch detail iets minder zeggingskracht hebben. Hier staat tegenover dat er meer monsters in de ruimte of tijd kunnen worden genomen. Een aanvullend onderzoek heeft aangetoond dat een alternatief is om in de toekomst bij de QuickScan-macrofauna-knelpuntenanalyse DNA-technieken in te zetten, zodat de macrofauna kosteneffectief tot op soortniveau kan worden gedetermineerd (Van der Lee et al., 2024).

Voor zowel stromende als stilstaande wateren verdient het aanbeveling de macrofauna-knelpuntenanalyse door te ontwikkelen voor aanvullende stressoren, zoals het effect van landschapsdegradatie, productiviteit waterbodembodem, eutrofiering, verslibbing etc. De ontwikkeling van de nieuwe EBEO2.0-database met milieu- en habitatpreferenties kan hierbij helpen (ILOW, 2024).

5.2 Innovatieve sensortechnieken

Om innovatieve sensortechnieken effectief in te zetten, is het belangrijk om vooraf te bepalen wat het meetdoel is, welke knelpunten er mogelijk spelen en in welke tijdsspanne de relevante processen verlopen (Van der Lee & Verdonshot, 2023). Dit project laat zien dat verschillende meetopstellingen met sensoren kunnen worden gebruikt voor verschillende doelen: de meetpalen kunnen worden ingezet voor temporele metingen om processen over een langere periode te begrijpen, de Navigator-voerboot om ruimtelijke patronen in beeld te brengen en de loggers om de fluctuaties op meerdere locaties over een kortere periode van enkele dagen te vergelijken.

In beide gebieden is door de inzet van deze innovatieve sensortechnieken meer inzicht gekregen in het ecosysteem-functioneren. In de Run is bijvoorbeeld met de meetpalen de relatie tussen afvoerpieken en nitraatconcentraties aangetoond, terwijl de inzet van de Navigator-voerboot en loggers de invloed van de kwelstroom uit het bos op de nitraatconcentraties en temperatuurfluctuatie in kaart hebben gebracht. De inzet van de Navigator-voerboot in het slootsysteem van de Nieuwkoopse Plassen heeft bijvoorbeeld met geleidbaarheid de patronen in de inlaat-regenwatergradiënt tijdens verschillende seizoenen laten zien.

Het gebruik van sensoren vergt echter aanzienlijk onderhoud en, net als bij eerdere ervaringen met innovatieve sensortechnieken, blijft vooral het meten van nitraat met meetpalen een kostbare aangelegenheid (Van Herpen et al., 2022). Het ijzersediment rijke water in de Run heeft er bijvoorbeeld voor gezorgd dat de lens van de nitraatsensor beschadigd is geraakt, waardoor de gemeten concentraties abrupt verhoogd zijn. Ook is er regelmatig drijfvuil vastgeraakt aan de meetpalen. Een belangrijk voordeel van de realtime datastroom naar de database is dat dergelijke problemen met de meetopstelling snel kunnen worden gedetecteerd en opgelost. De inzet van kostbare meetapparatuur zou in de toekomst kunnen worden beperkt door de bemonsteringsfrequentie aan te passen aan het moment dat er ecologisch relevante waarden zijn in het betreffende waterlichaam (Blaen et al., 2016). In het geval van de Run zou dit bijvoorbeeld betekenen dat alleen in de perioden dat afvoerpieken optreden hoogfrequent nitraat zou zijn gemeten en dat in de andere perioden het nemen van steekmonsters zou volstaan.

De validatie met steekmonsters laat daarnaast zien dat de prestaties van sensoren variëren. De resultaten van de sensormetingen van geleidbaarheid (meetpaal en navigator), watertemperatuur (meetpaal), nitraat (meetpaal), zuurstofverzadiging (meetpaal) en pH (navigator) waren over het algemeen goed gerelateerd aan de steekmonsters. De sensormetingen van chlorofyl-a groenalgen waren echter beperkt gerelateerd aan de steekmonsters en de chlorofyl-a blauwalgen helemaal niet (beide navigator). Mogelijk heeft de aanwezigheid van humuszuren een rol gespeeld bij de betrouwbaarheid van blauwalgmetingen. Ook de vergelijking tussen steekmonsters en sensoren op een meetpaal is eenduidiger dat bij de routing van een navigator. Voor de chlorofylmetingen is verdere interkalibratie met de huidige technieken nodig. Tot slot kunnen (nog) niet alle parameters met innovatieve sensortechnieken worden gemeten. Enerzijds biedt de ontwikkeling van bijvoorbeeld UV/VIS-spectrometers de mogelijkheid om in de toekomst met een enkele optische sensor een groot aantal parameters tegelijk te meten, anderzijds laat het voorbeeld van de Nieuwkoopse Plassen zien dat mogelijk niet alle parameters met sensoren te vangen zijn en dat bij complexe systemen aanvullende metingen, zoals biogeochemisch bodemonderzoek, nodig zijn om een diagnose van de knelpunten te stellen.

Literatuur

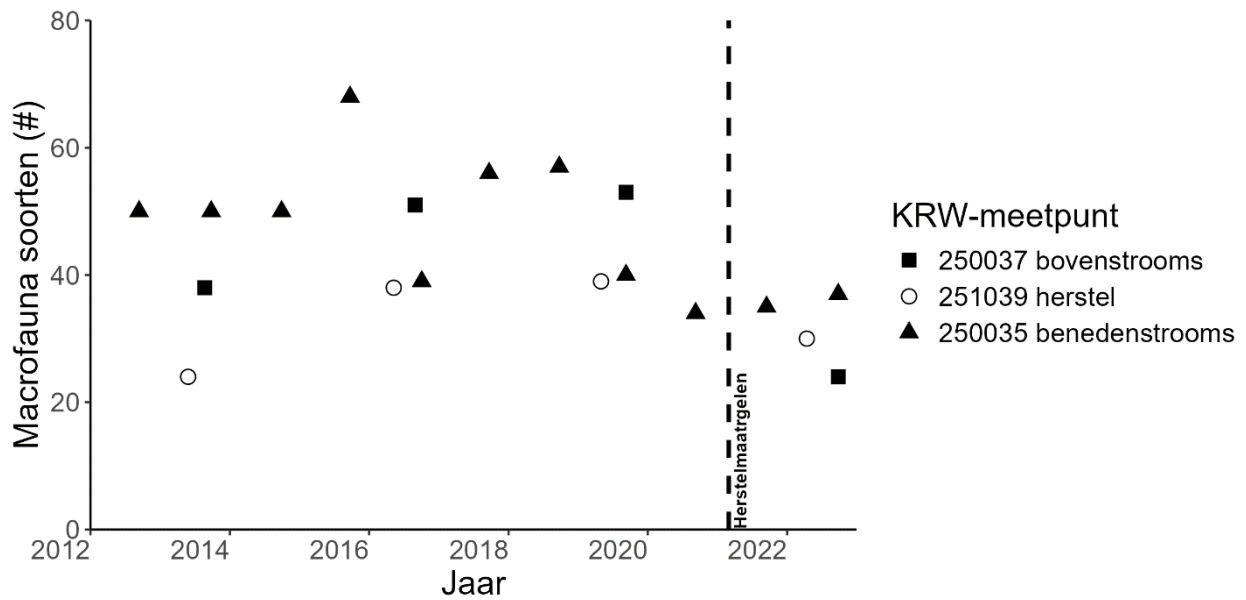
- Blaen, P. J., Khamis, K., Lloyd, C. E., Bradley, C., Hannah, D., & Krause, S. (2016). Realtime monitoring of nutrients and dissolved organic matter in rivers: Capturing event dynamics, technological opportunities and future directions. *Science of the Total Environment*, 569, 647-660.
- Bijkerk, R. (red.) (2014). *Handboek Hydrobiologie*. STOWA rapport 2014-02. STOWA, Amersfoort.
- Compendium voor de leefomgeving (2019). *Beoordeling kwaliteit oppervlaktewater volgens Kaderrichtlijn Water*. www.clo.nl/nl143808.
- Cusell, C., Brederveld, B., Doef, L., Jnas, M., Lammers, D., Tangerman, M., ... & van de Craats, A. (2020). Rode Amerikaanse rivierkreeften in Nederland: relaties met milieu-en omgevingsfactoren. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Dos Reis Oliveira, P. C., van der Geest, H. G., Kraak, M. H., Westveer, J. J., Verdonschot, R. C., Verdonschot, P. F. 2020. Over forty years of lowland stream restoration: Lessons learned? *Journal of environmental management*, 264, 110417.
- Duursma, S. (2017). *Projectplan Run Grootoor*. HaskoningDHV.
- ILOW. (2024). *EBEO2.0 Database Ecologische Beoordeling*. STOWA.
- Janssen, Y. (2020). *Bemonsteringsprotocol Gebiedsdekkende kreeftenmonitoring beheergebied HHSK. ATKB rapport*.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., ... & Oksanen, M. J. (2013). Package 'vegan'. *Community ecology package*, version, 2(9), 1-295.
- Provincie Zuid-Holland. (2017). *PAS Gebiedsanalyse Nieuwkoopse Plassen & De Haec: PAS periode 2015-2021*.
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Roessink, I., Gylstra, R., Heuts, P. G., Specken, B., & Ottburg, F. (2017). Impact of invasive crayfish on water quality and aquatic macrophytes in the Netherlands. *Aquatic Invasions*, 12(3).
- RWS (2020). *Protocol monitoring en toestandsbeoordeling oppervlaktewaterlichamen KRW*.
- Smolders, F., Van Diggelen, J., Poelen, M., & Van Dijk, G. (2024). *Waterbodems en waterkwaliteit Nieuwkoopse plassen. B-WARE rapport. Concept*.
- Strayer, D. L. (2010). Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater biology*, 55, 152-174.
- TriOS (2017). *D01-062en201810 NICO Manual*.
- U.S. Geological Survey. (2011). *Change to Solubility Equations for Oxygen in Water*. Office of Water Quality Technical Memorandum 2011.03.
- Van der Lee, G. H., & Verdonschot, R. C. M., (2023). *Inventarisatie van nieuwe monitoringstechnieken in het waterbeheer*. Wageningen UR, Wageningen.
- Van der Lee, G. H., Polling, M., van der Laan, I., Kodde, L., & Verdonschot, R. C. (2024). From DNA to diagnostics: A case study using macroinvertebrate metabarcoding to assess the effectiveness of restoration measures in a Dutch stream. *Science of the Total Environment*, 923, 171413.
- Van der Lee, G. H., Verdonschot, R. C. M., Verdonschot, P. F. M. (2022). *Advies voor het monitoren van de ecologische waterkwaliteit*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Van der Lee, G. H., Verdonschot, R. C., Kraak, M. H., & Verdonschot, P. F. (2018). Dissolved oxygen dynamics in drainage ditches along a eutrophication gradient. *Limnologica*, 72, 28-31.
- van der Wal, J. E., Dorenbosch, M., Immers, A. K., Vidal Forteza, C., Geurts, J. J., Peeters, E. T., ... & Bakker, E. S. (2013). Invasive crayfish threaten the development of submerged macrophytes in lake restoration. *PloS one*, 8(10), e78579.
- Van Diggelen, J., & Smolders, F. (2024). *Aanvullende monitoring lange termijneffecten bijzering Kwaliteit waterbodems Nieuwkoopse plassen. B-WARE rapport. Concept*.
- Van Geest, G. (2022). *Rol van slibbodem in ondiepe stilstaande wateren*. Factsheet KIWK.
- Van Herpen, F. Van Aarle, N., Rozemeijer, J., Hooijboer, A., Oudenhoven, J. (2022). *Praktijkervaringen met nitraatsensoren in oppervlaktewater*. H2O online.

-
- Van Schaik, F.H., Vuister, L.W.M. (2000) Evaluatie eutrofiëringsbestrijdingsproject Nieuwkoopse plassen. Rapportage Hoogheemraadschap van Rijland.
- Van Schie, M. (2020) Nieuwkoopse Plassen; waterkwaliteit, incl. acute waterkwaliteitsproblemen en relatie N2000-stikstofgevoelige natuur.
- Vanoni, M., Bugmann, H., Nötzli, M., & Bigler, C. (2016). Quantifying the effects of drought on abrupt growth decreases of major tree species in Switzerland. *Ecology and evolution*, 6(11), 3555-3570.
- Verdonschot P. F. M., & Verdonschot, R. C. M. (2021a). Indicatiewaarden van aquatische organismen. Kennisdocument Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot, P. F. M., & Verdonschot, R. C. M (2020). Factsheet KIWK: Stroming en waterbeweging. Wageningen Environmental Research.
- Verdonschot, P. F. M., & Verdonschot, R. C. M. (2021b). Tijdvertraging (time-lags) in regionale wateren. Wageningen Environmental Research.
- Verdonschot, P. F. M., & Verdonschot, R. C. M. (2021c). Stroomgebiedsbrede Ecologische SysteemAnalyse (SESA). Wageningen Environmental Research.
- Verdonschot, R. C. M. (2012). Drainage ditches, biodiversity hotspots for aquatic invertebrates: defining and assessing the ecological status of a man-made ecosystem based on macroinvertebrates. Wageningen University and Research.
- Verdonschot, R. C. M., Keizer-vlek, H. E., & Verdonschot, P. F. M. (2011). Biodiversity value of agricultural drainage ditches: a comparative analysis of the aquatic invertebrate fauna of ditches and small lakes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(7), 715-727.
- Verdonschot, R. C. M., Runhaar, J., Buijse, A. D., Bijkerk, R., Verdonschot, P. F. M. (2016) Doorstroommoerassen en moerasbeken; typebeschrijvingen en ontwikkeling maatlaten voor de biologische kwaliteitselementen. Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot, R. C. M., van der Lee, G. H., Schuijt, L. M., van der Meer, T. V. (2024). Verkenning herintroductie macrofauna Noord-Brabant. Rapport 3392 Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Vereniging Natuurmonumenten (2019) Florawaarnemingen SNL-kartering Nieuwkoopse Plassen, Amersfoort.
- Vermaat, J., Harmsen, J., Hellmann, F., van der Geest, H., de Klein, J. J. M., Kosten, S., ... & Verhoeven, J. (2012). Zwavedynamiek in het West-Nederlandse laagveengebied: met het oog op klimaatverandering. Vrije Universiteit.
- Wade, A. J., Palmer-Felgate, E. J., Halliday, S. J., Skeffington, R. A., Loewenthal, M., Jarvie, H. P., ... Newman, J. R. (2012). Hydrochemical processes in lowland rivers: insights from in situ, high-resolution monitoring. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4323-4342.
- Whatley, M. H., van Loon, E. E., van Dam, H., Vonk, J. A., van der Geest, H. G., & Admiraal, W. (2014). Macrophyte loss drives decadal change in benthic invertebrates in peatland drainage ditches. *Freshwater Biology*, 59(1), 114-126.
- Zeileis, A., Kleiber, C., Krämer, W., & Hornik, K. (2003). Testing and dating of structural changes in practice. *Computational Statistics & Data Analysis*, 44(1-2), 109-123.
- Zeileis, A., Leisch, F., Hornik, K., & Kleiber, C. (2002). strucchange: An R package for testing for structural change in linear regression models. *Journal of statistical software*, 7, 1-38.

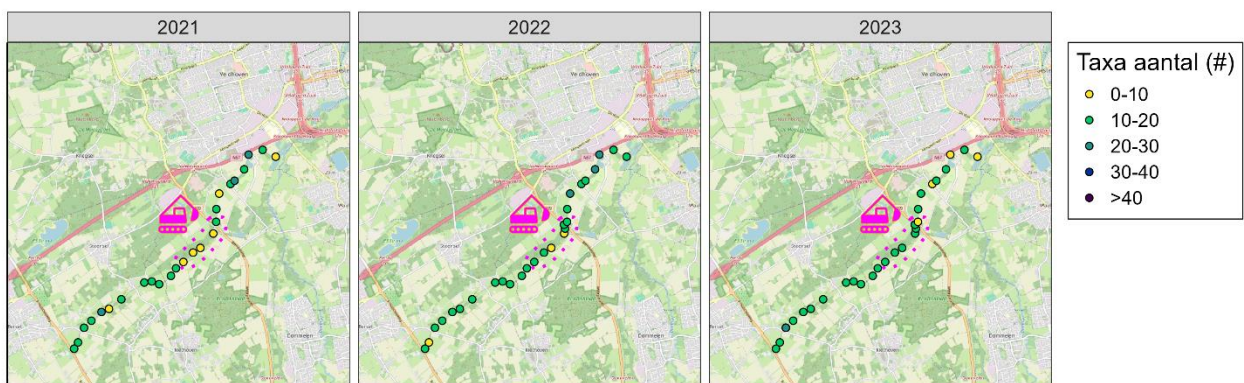
Bijlage

Tabel B1 *Overzicht van de coördinaten van de dertien meetpunten in het Nieuwkoopse Plassengebied waar veldmetingen zijn gedaan en een watermonster is geanalyseerd om de sensorwaarden van de Navigator te valideren.*

Locatie	RD X	RD Y
Navigator 1	114023	460925
Navigator 2	114500	460182
Navigator 3	114523	461388
Navigator 4	114902	461638
Navigator 5	115244	462457
Navigator 6	115592	461979
Navigator 7	115630	462662
Navigator 8	115896	462222
Navigator 9	116328	462306
Navigator 10	116895	462486
Navigator 11	116813	462973
Navigator 12	116702	463608
Navigator 13	116956	462167

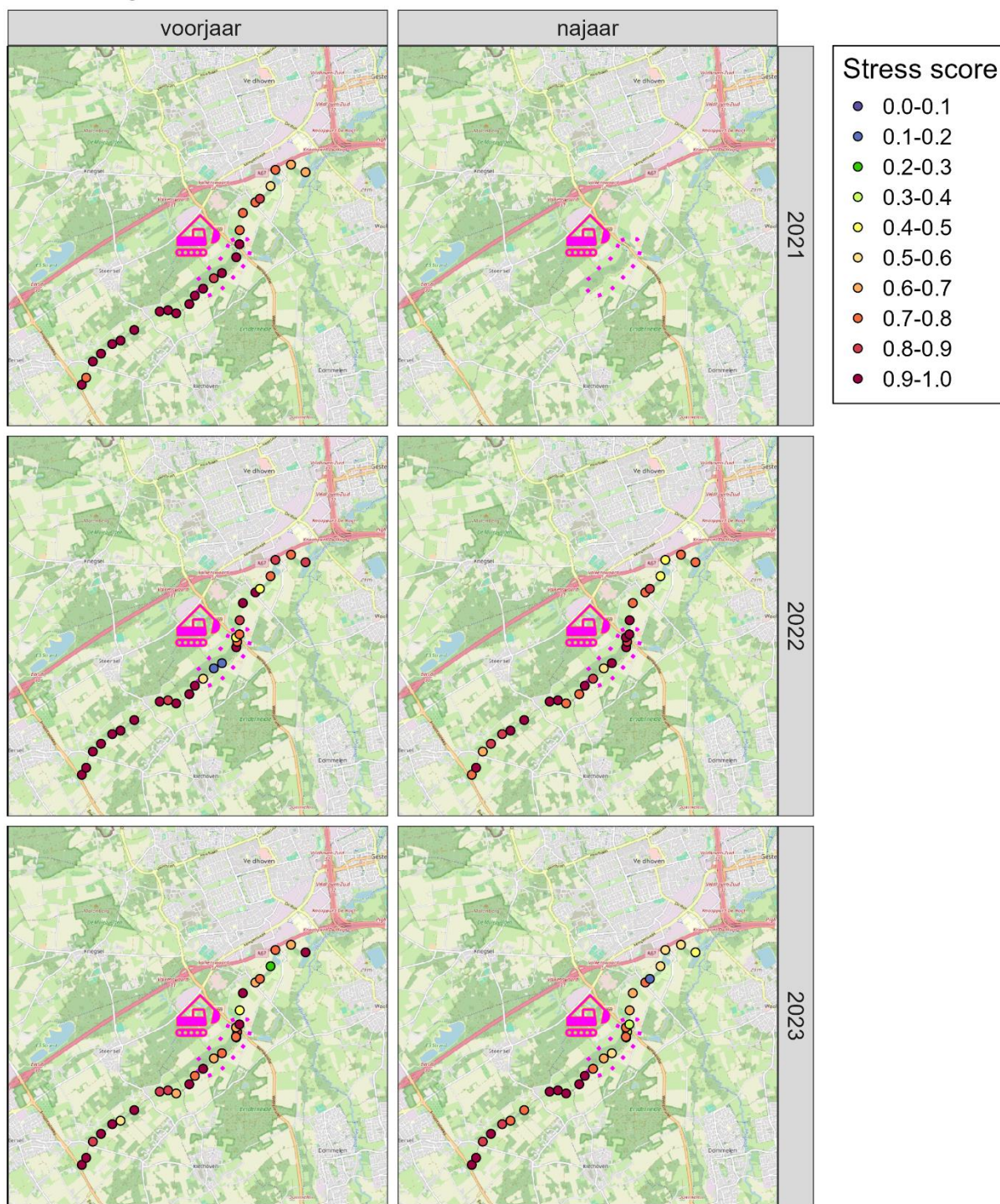


Figuur B1 Temporele veranderingen in macrofaunasoortenrijkdom op de KRW-meetpunten in de Run over tijd sinds 2013. Moment dat herstelmaatregelen zijn genomen bij natuurgebied Grootgoor is aangegeven met een onderbroken lijn.



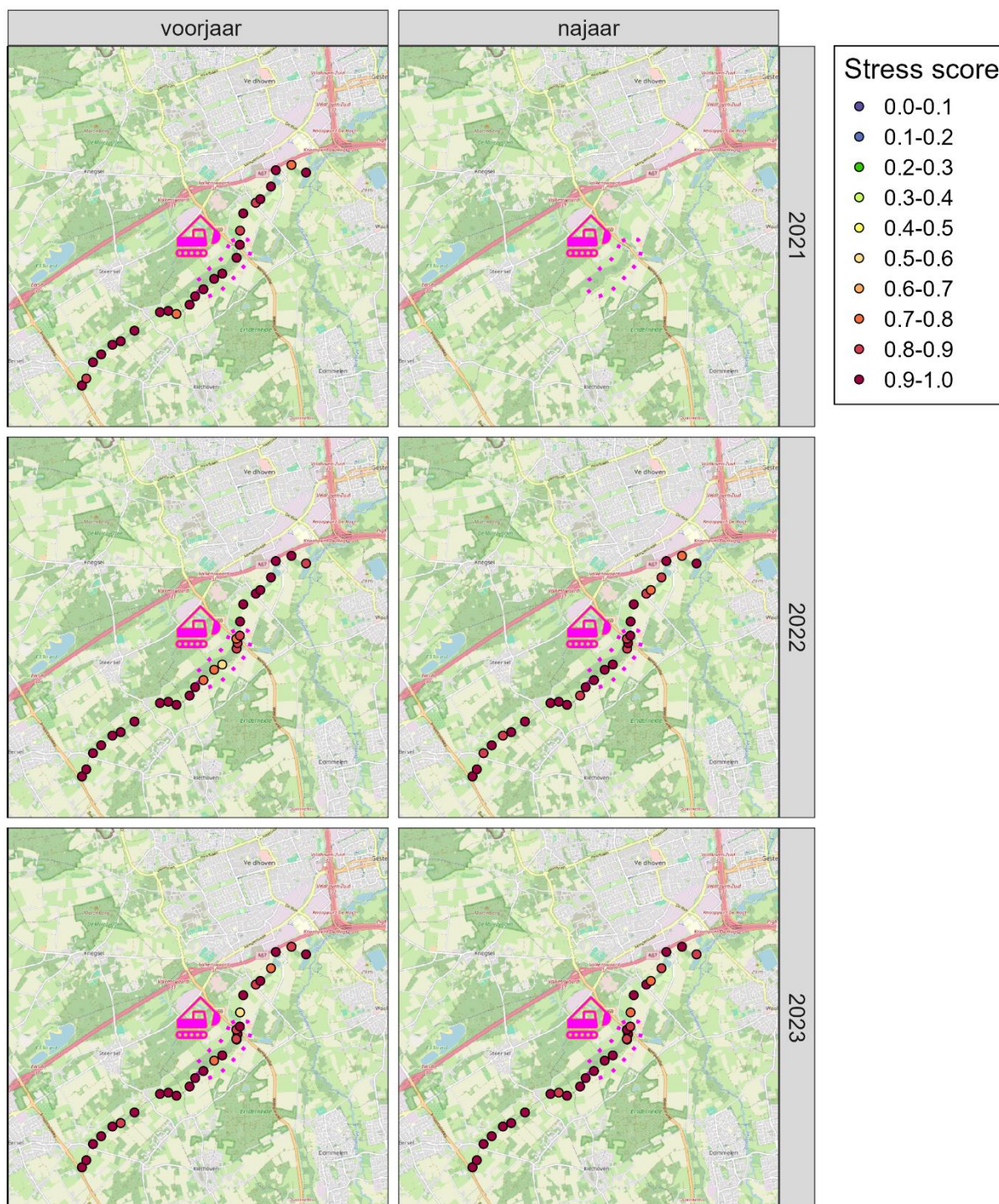
Figuur B2 Ruimtelijke patronen in taxarijckdom bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScan-meetpunten in de Run tussen 2021-2023. Roze stippellijn geeft het herstelde deel van de beek bij Grootgoor aan. De stresscores zijn gemiddeld over de voorjaars- en najaarsmetingen.

Stroming



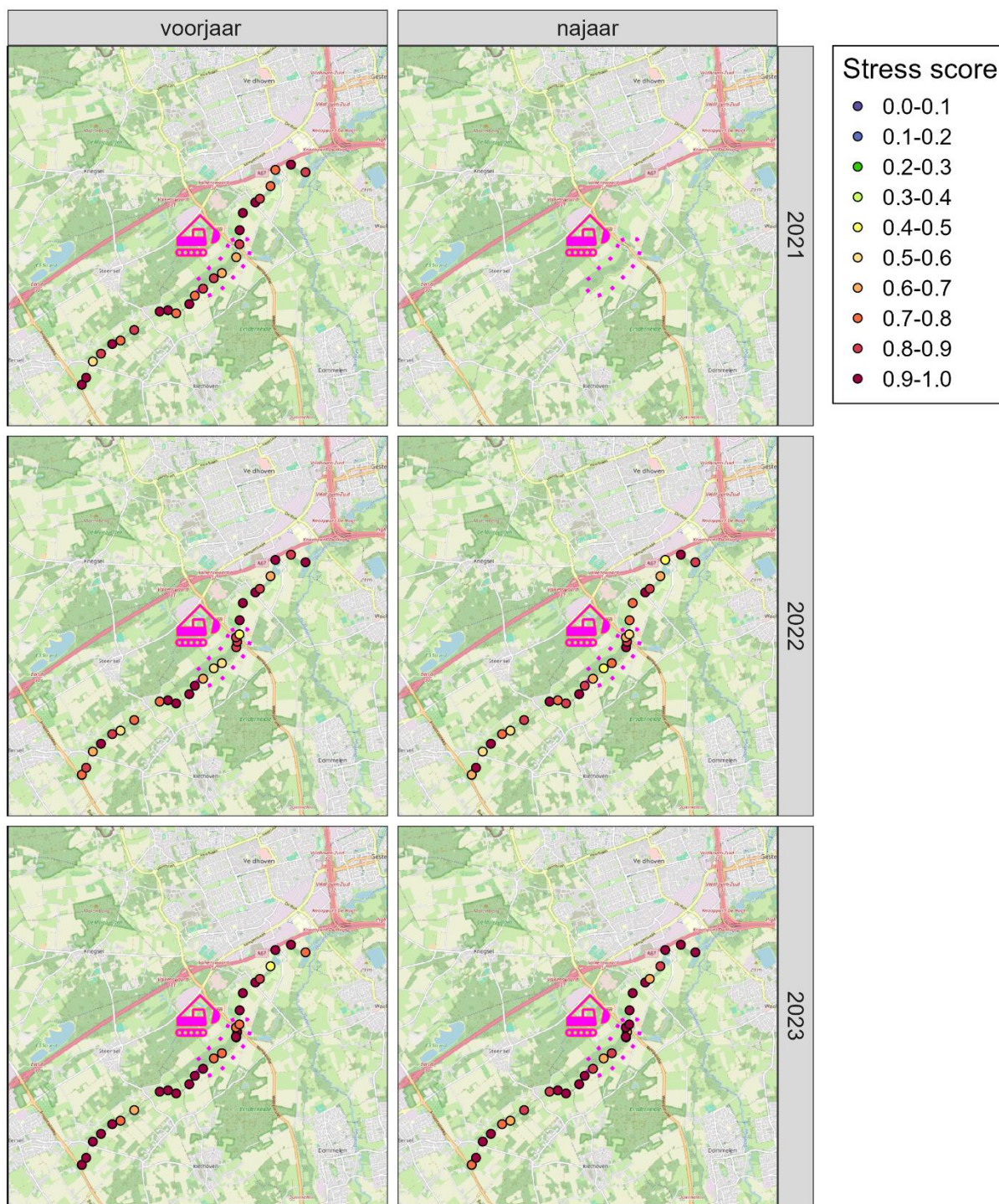
Figuur B3 A Ruimtelijke patronen in stress door het ontbreken van stroming bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScanmeetpunten in de Run tussen 2021-2023.

Temperatuur



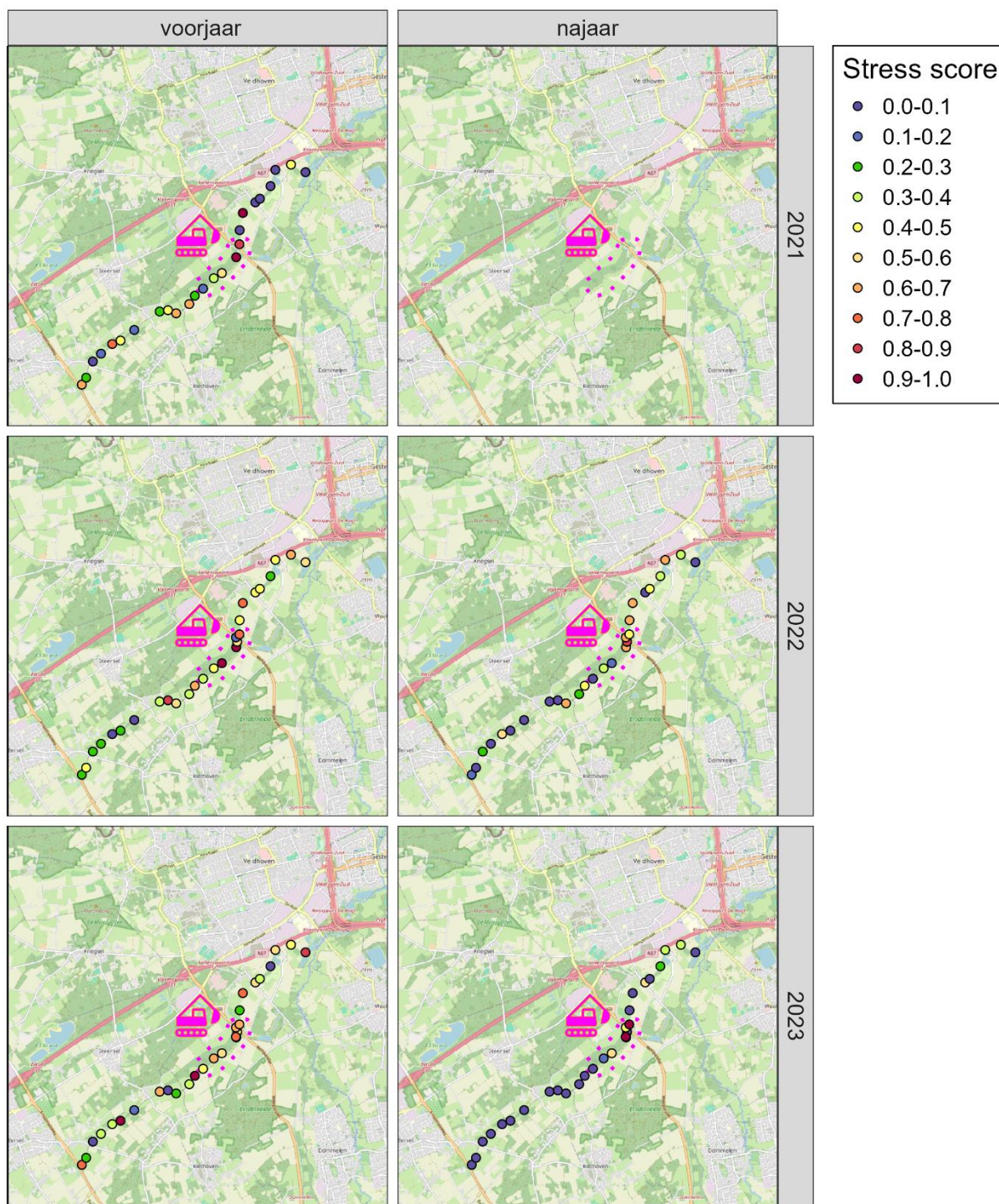
Figuur B3 B Ruimtelijke patronen in stress door het optreden van hoge watertemperatuur bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScanmeetpunten in de Run tussen 2021-2023.

Saprobie



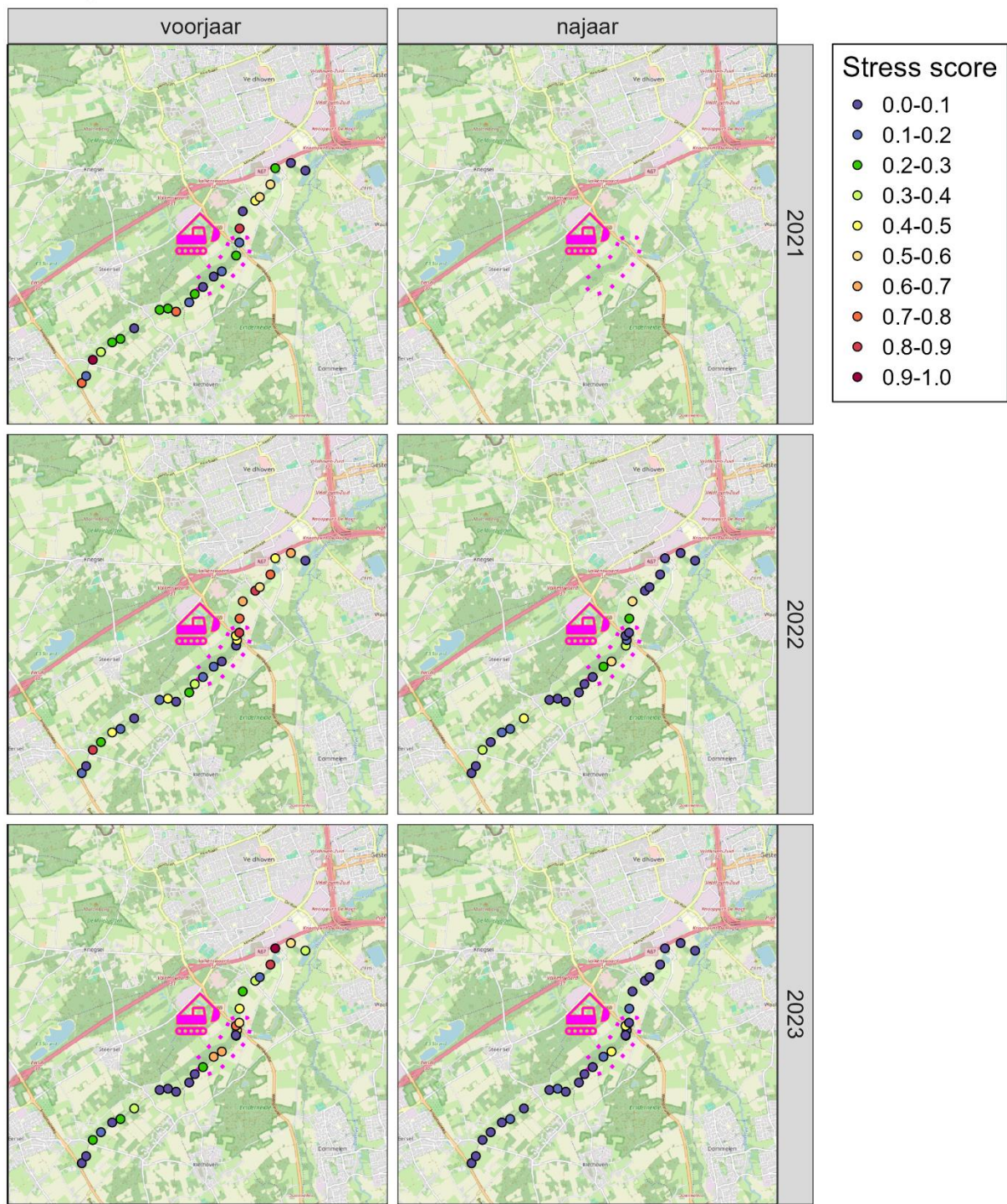
Figuur B3 C Ruimtelijke patronen in stress door de aanwezigheid van organische belasting bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScan-metpunten in de Run tussen 2021-2023.

Toxiciteit



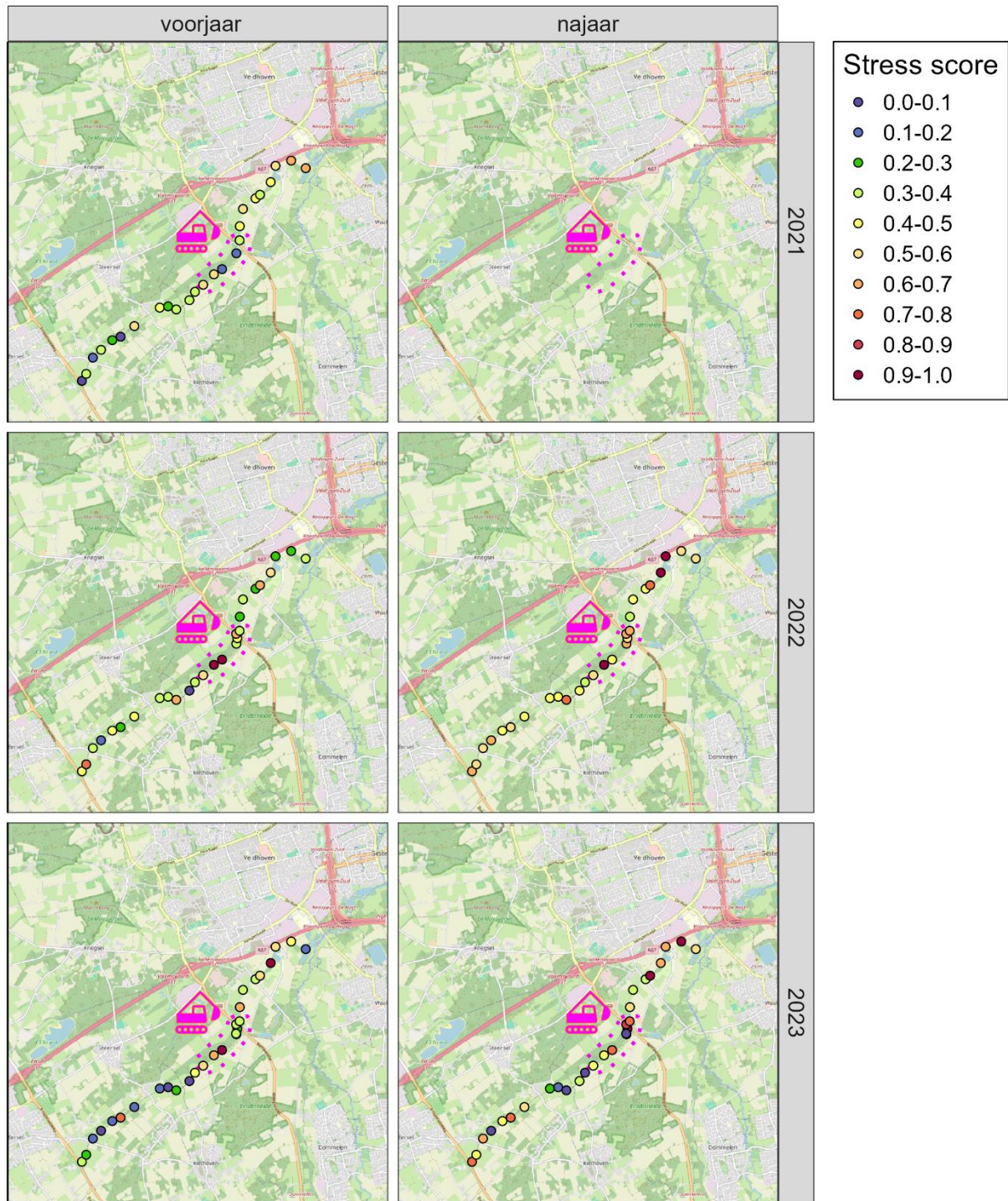
Figuur B3 D Ruimtelijke patronen in stress door de aanwezigheid van giftige stoffen bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScan-metpunten in de Run tussen 2021-2023.

Droogval

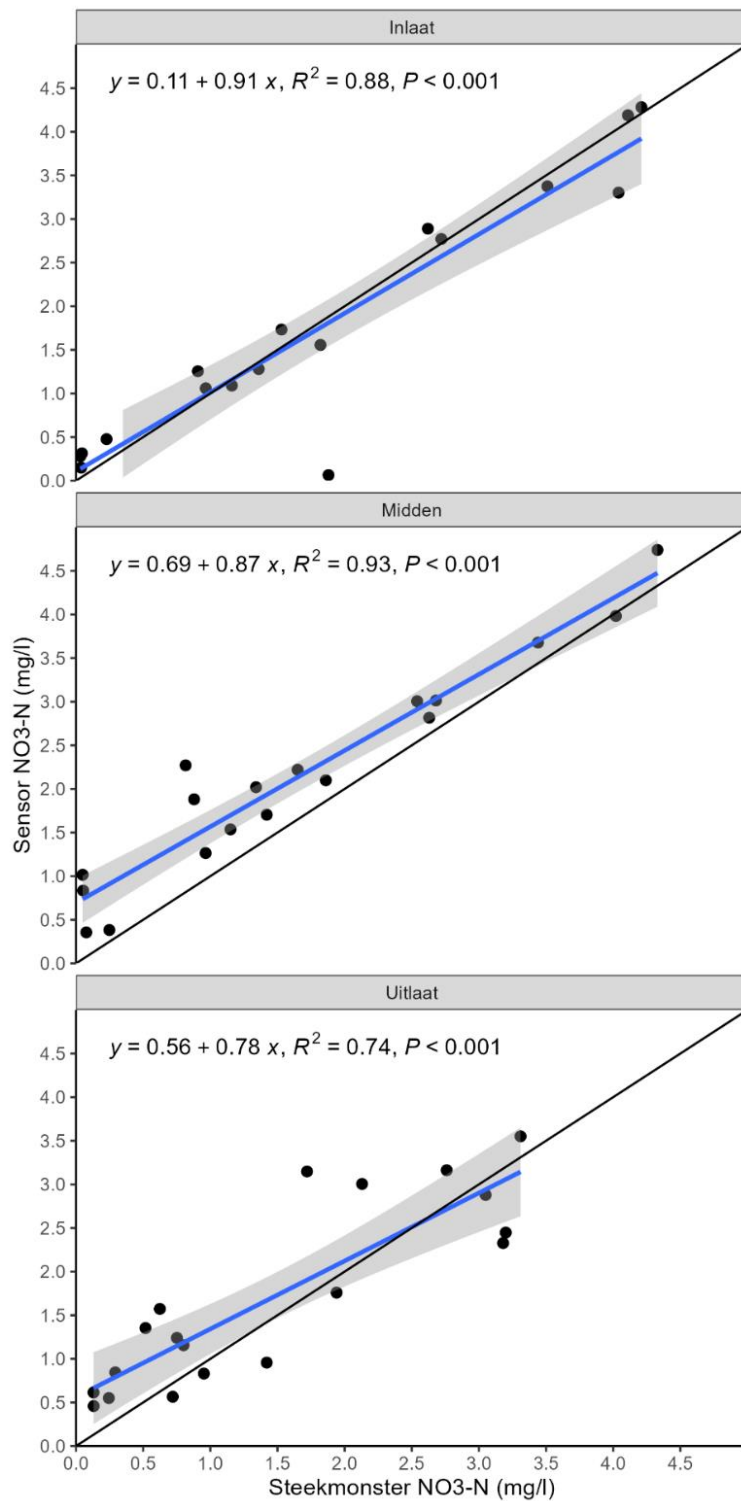


Figuur B3 E Ruimtelijke patronen in stress door het optreden van droogte bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScan-meetpunten in de Run tussen 2021-2023.

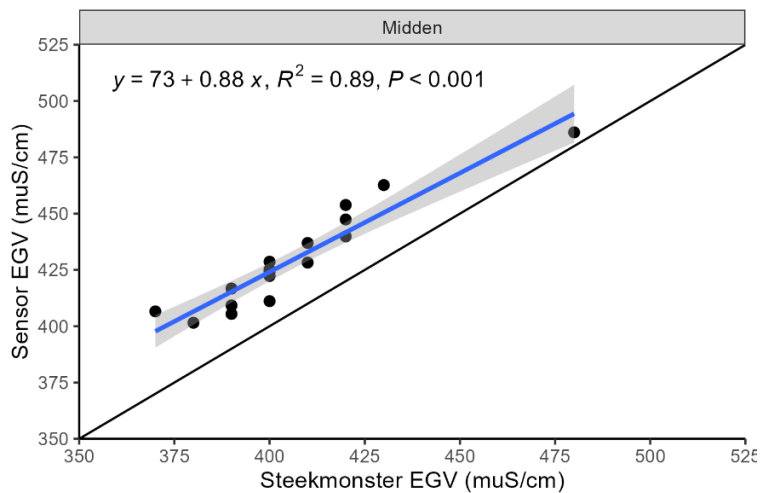
Oever



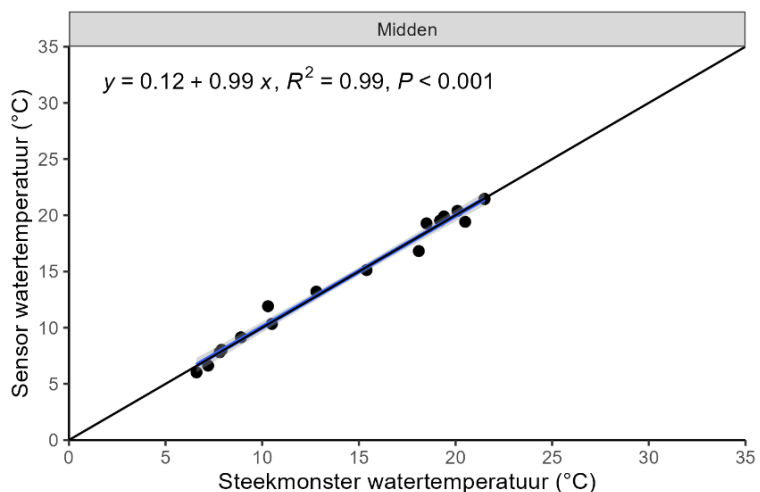
Figuur B3 F Ruimtelijke patronen in stress door de afwezigheid van waterplanten in de oever bepaald op basis van de macrofauna op de QuickScan-meetpunten in de Run tussen 2021-2023.



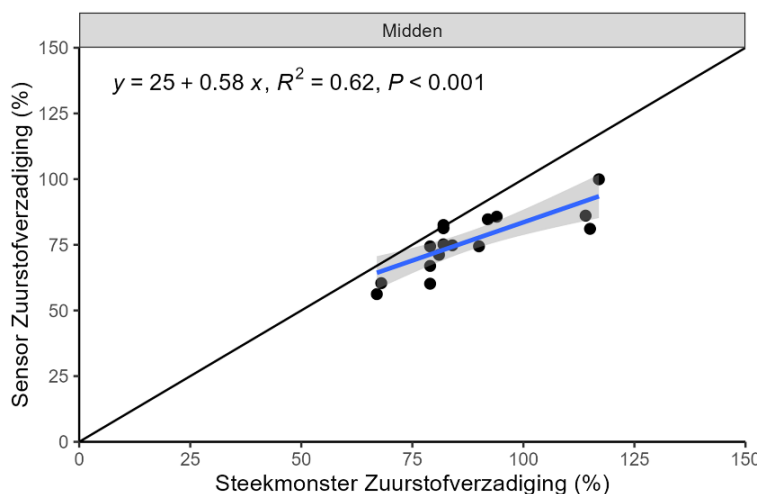
Figuur B4 Vergelijking NO₃-N concentraties in de Run gemeten met steekmonsters en sensoren (gemiddelde op die dag) bij A) de inlaat, B) midden en C) uitlaat van het herstelde gebied. Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



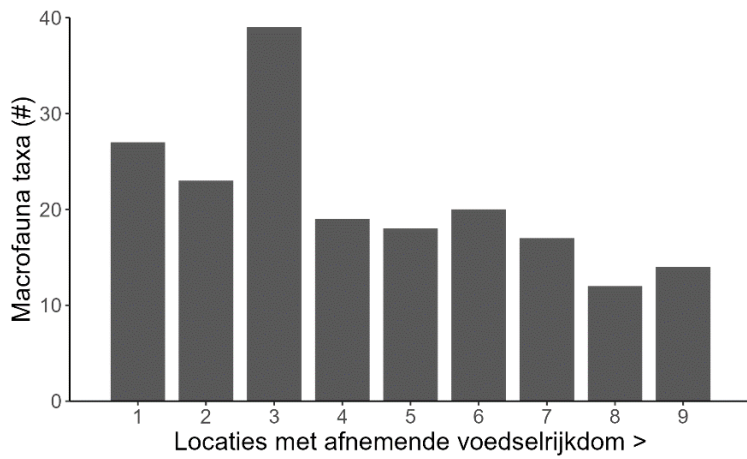
Figuur B5 Vergelijking geleidbaarheid in de Run gemeten met steekmonsters en sensoren (gemiddelde op die dag) bij het midden van het herstelde gebied. Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



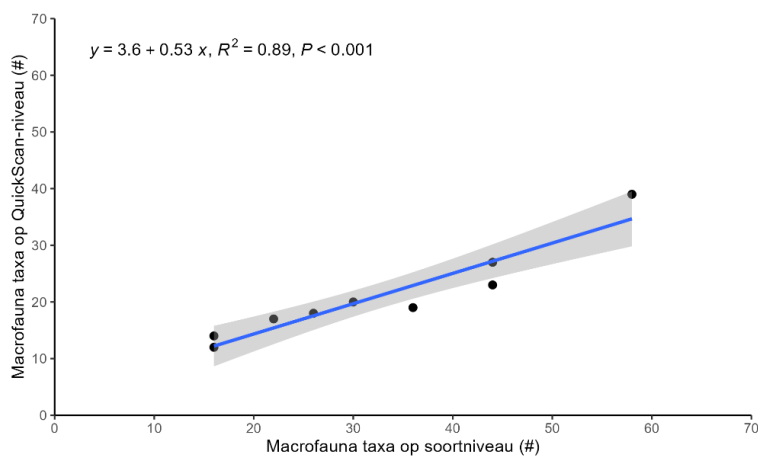
Figuur B6 Vergelijking watertemperatuur in de Run gemeten met steekmonsters en sensoren (gemiddelde op die dag) bij het midden van het herstelde gebied. Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



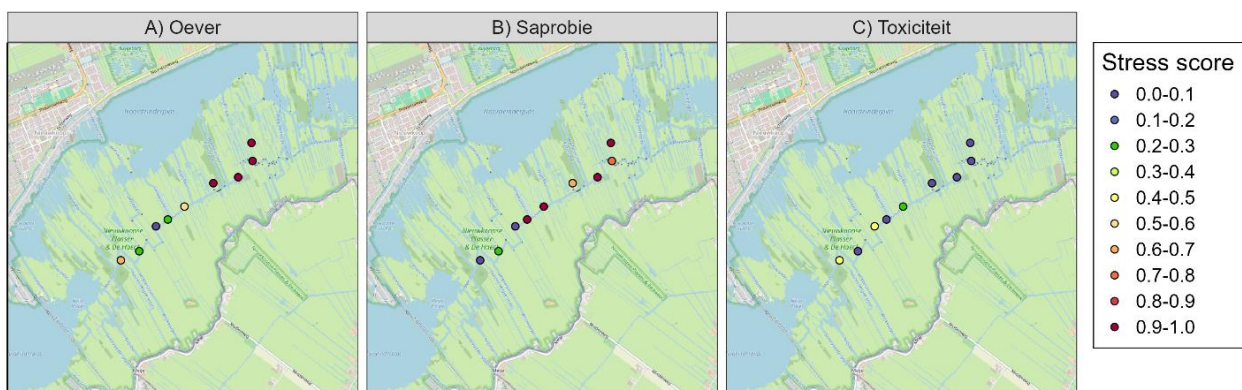
Figuur B7 Vergelijking zuurstofverzadiging in de Run gemeten met steekmonsters en sensoren (gemiddelde op die dag) bij het midden van het herstelde gebied. Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



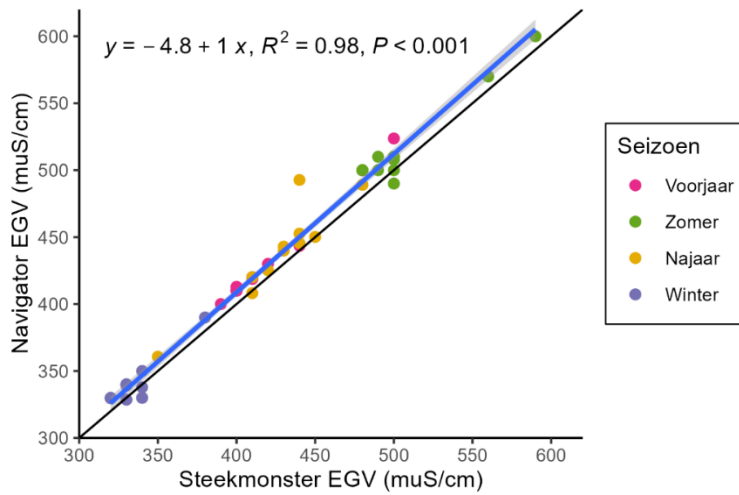
Figuur B8 Macrofauna taxarijckdom in de negen sloten langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen. Het betreft 1,5m netmonster van de drie dominantste habitats, determinatie teruggezet op QuickScan-niveau.



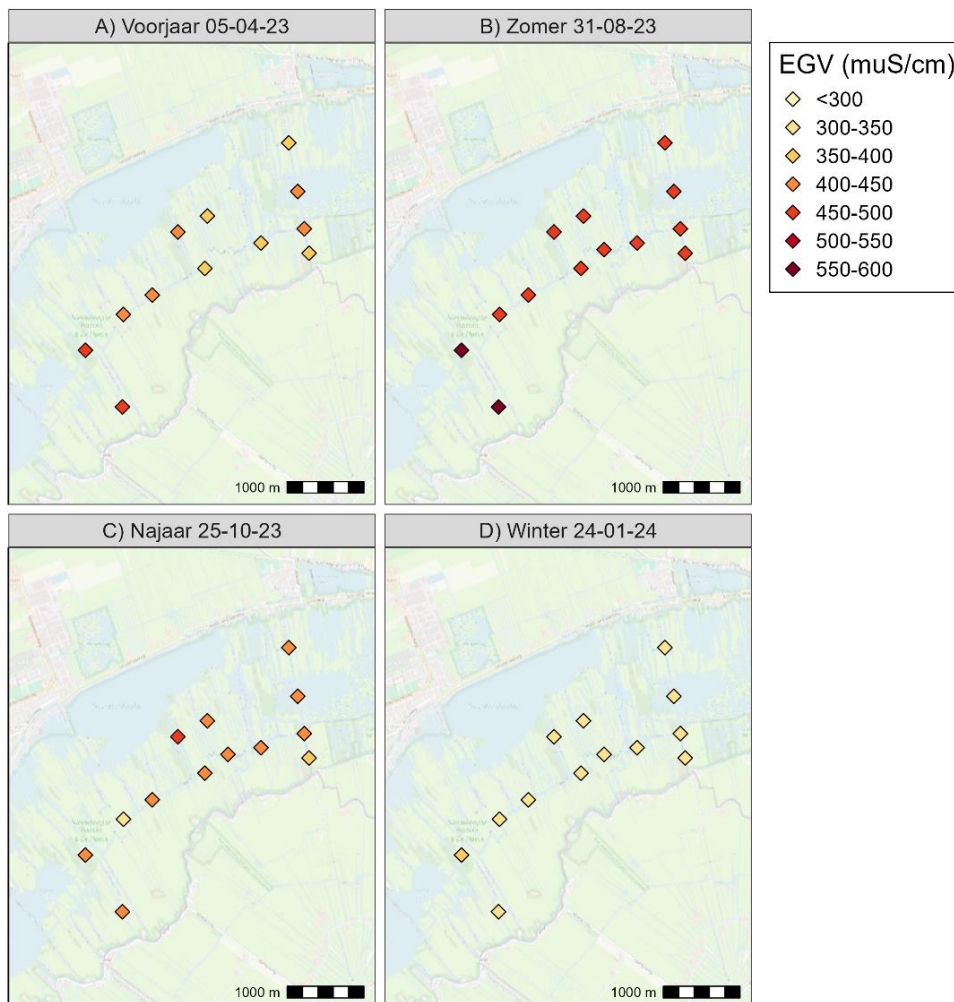
Figuur B9 Vergelijking aantal taxa in een monster op soort en QuickScan-niveau. Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval.



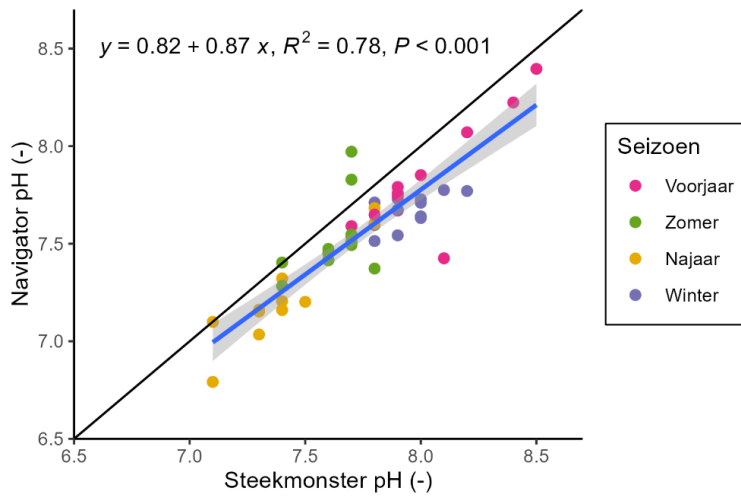
Figuur B10 Ruimtelijke patronen in stress door het optreden van verschillende knelpunten bepaald op basis van de macrofauna op Quickscan-niveau waarbij A) Oever: de afwezigheid van waterplanten in de oever is, B) Saprobie: de aanwezigheid van organische belasting en C) Toxiciteit: de aanwezigheid van giftige stoffen.



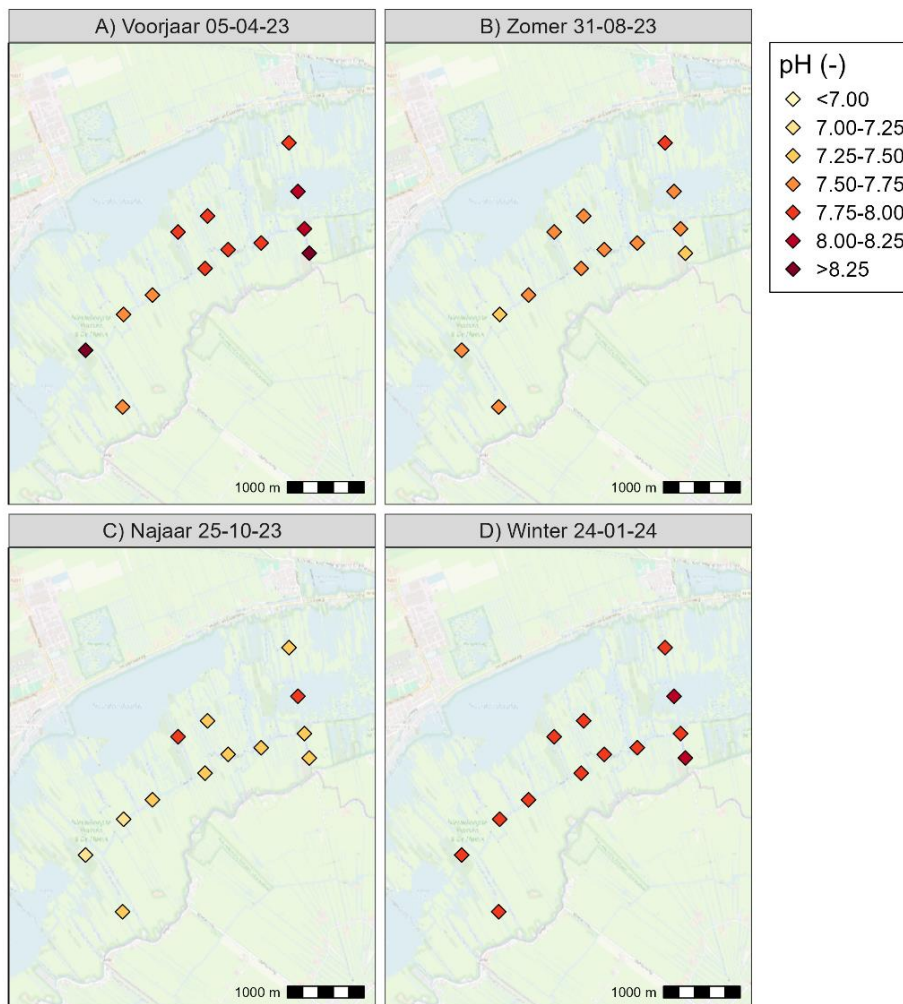
Figuur B11 Vergelijking geleidbaarheid (EGV) in de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters en sensoren op de Navigator (gemiddelde in een buffer van 20 m rondom het meetpunt). Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



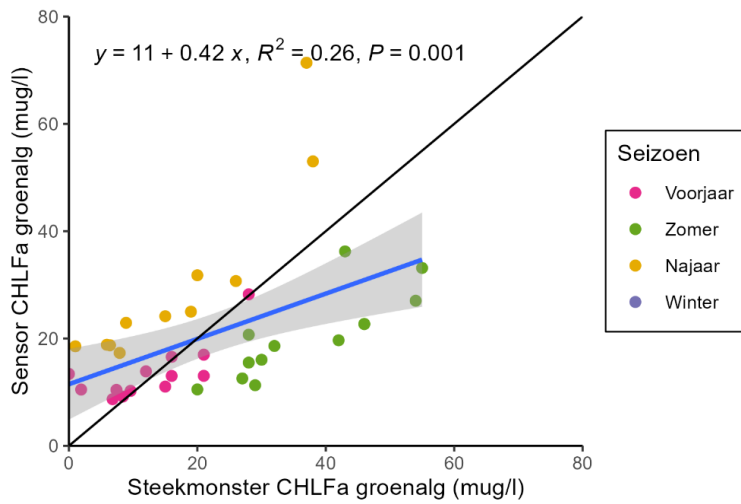
Figuur B12 Ruimtelijke patronen in geleidbaarheid (EGV) in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) winter 24-01-24.



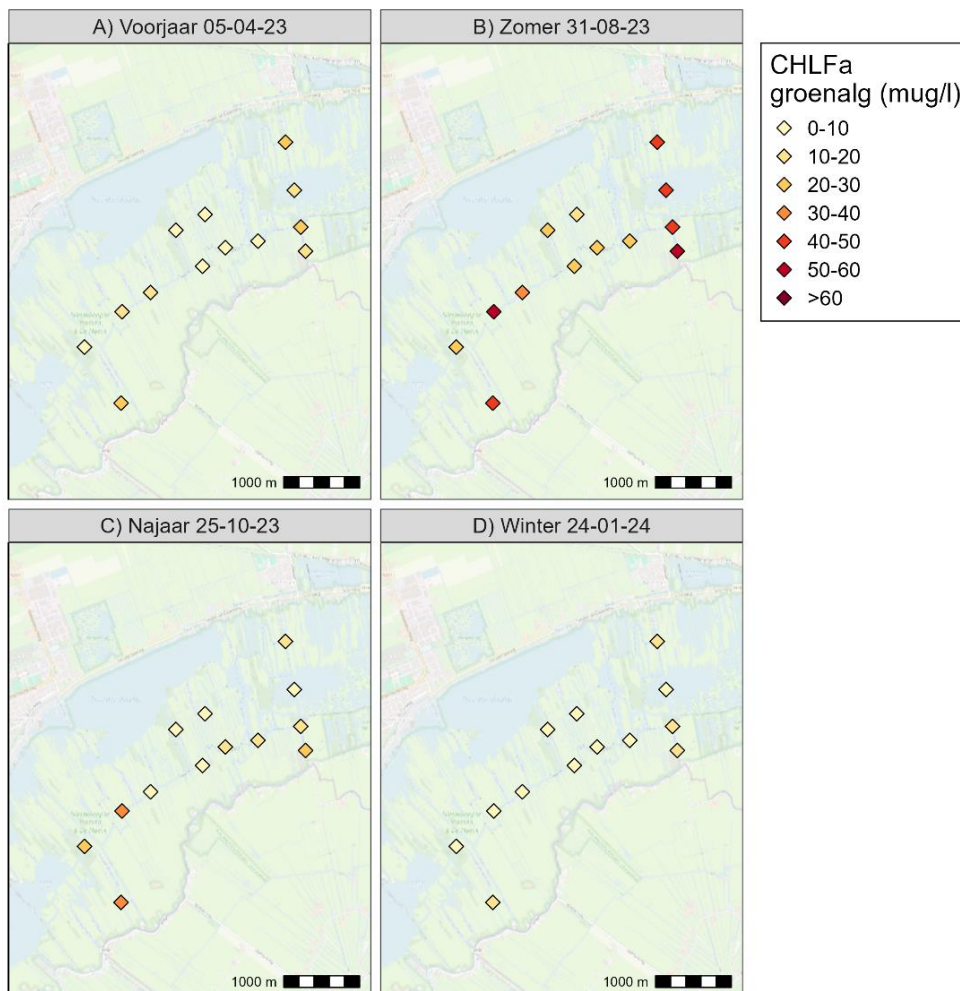
Figuur B13 Vergelijking pH in de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters en sensoren op de Navigator (gemiddelde in een buffer van 20 m rondom het meetpunt). Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



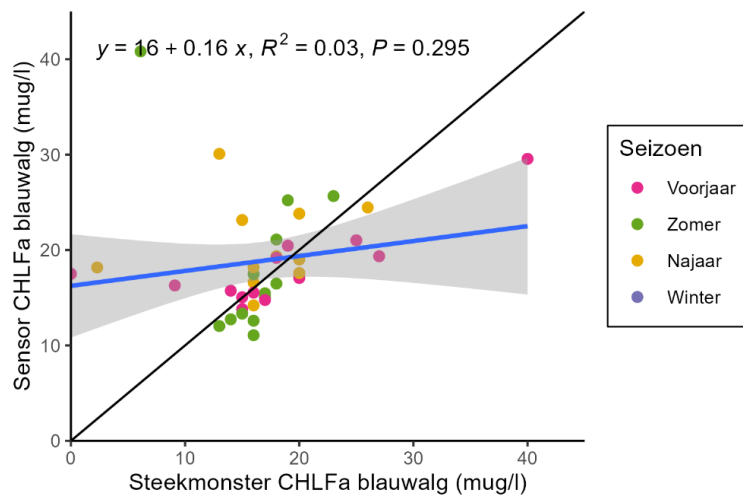
Figuur B14 Ruimtelijke patronen in pH in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) winter 24-01-24.



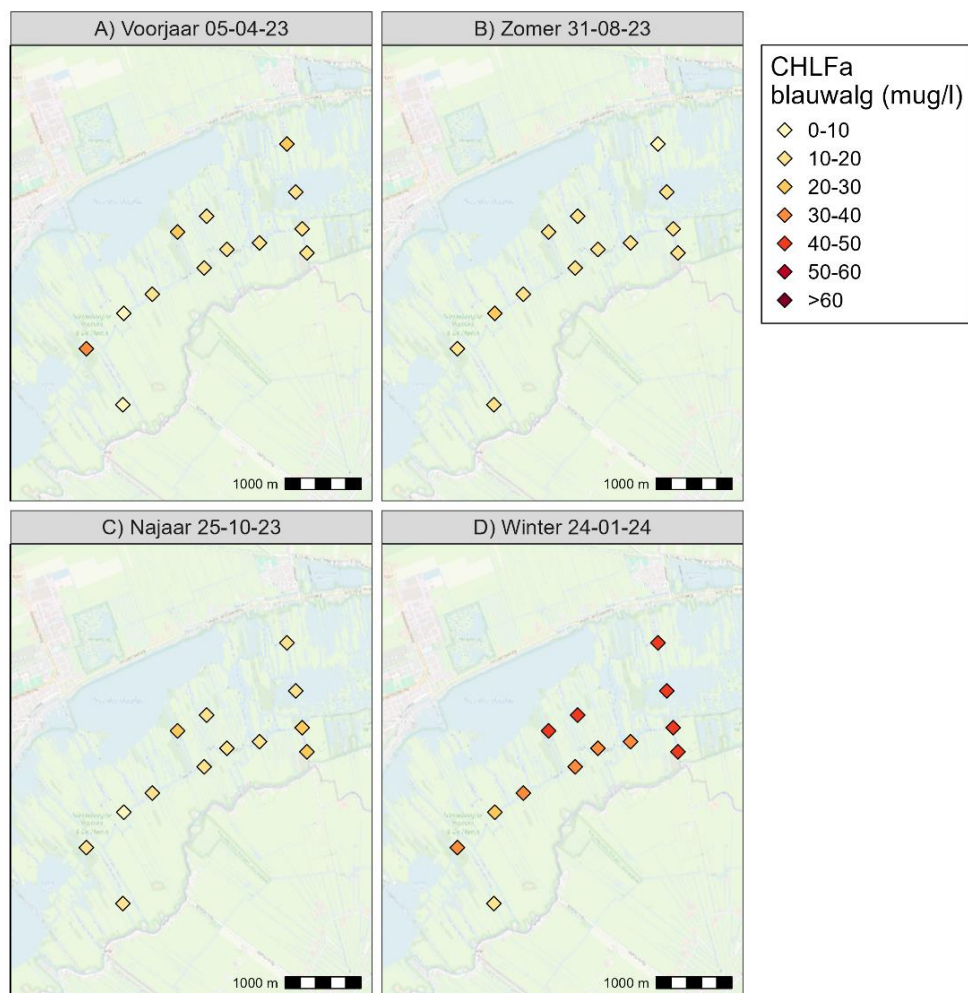
Figuur B15 Vergelijking chlorofyl-a groenalgconcentraties in de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters en sensoren op de Navigator (gemiddelde in een buffer van 20 m rondom het meetpunt). Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



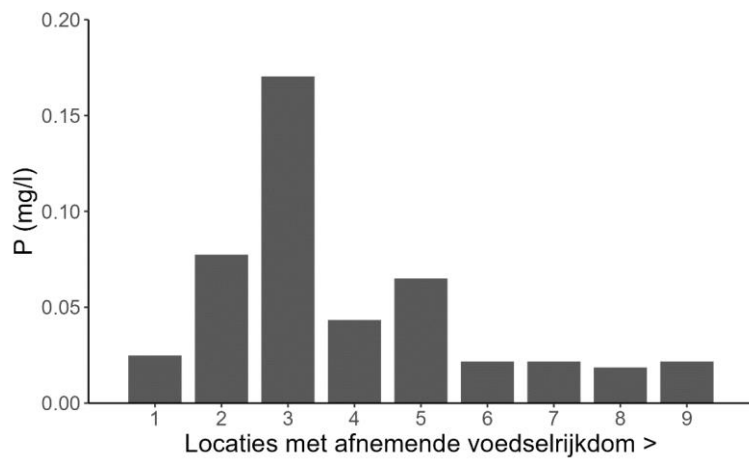
Figuur B16 Ruimtelijke patronen in chlorofyl-a groenalgconcentraties in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) winter 24-01-24.



Figuur B17 Vergelijking chlorofyl-a blauwalgconcentraties in de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters en sensoren op de Navigator (gemiddelde in een buffer van 20 m rondom het meetpunt). Blauwe lijn met grijs vlak geeft de lineaire regressie aan met 95%-betrouwbaarheidsinterval. Zwarte diagonale lijn geeft het 1:1-verband aan.



Figuur B18 Ruimtelijke patronen in chlorofyl-a blauwalgconcentraties in het slotensysteem van de Nieuwkoopse Plassen gemeten met steekmonsters gedurende A) voorjaar 05-04-23, B) zomer 31-08-23, C) najaar 25-10-23 en D) winter 24-01-24.



Figuur 4.19 Fosfaatconcentratie op 29 augustus 2023 in het oppervlaktewater langs afnemende verrijgingsgradiënt in de Nieuwkoopse Plassen.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3415
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3215
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

