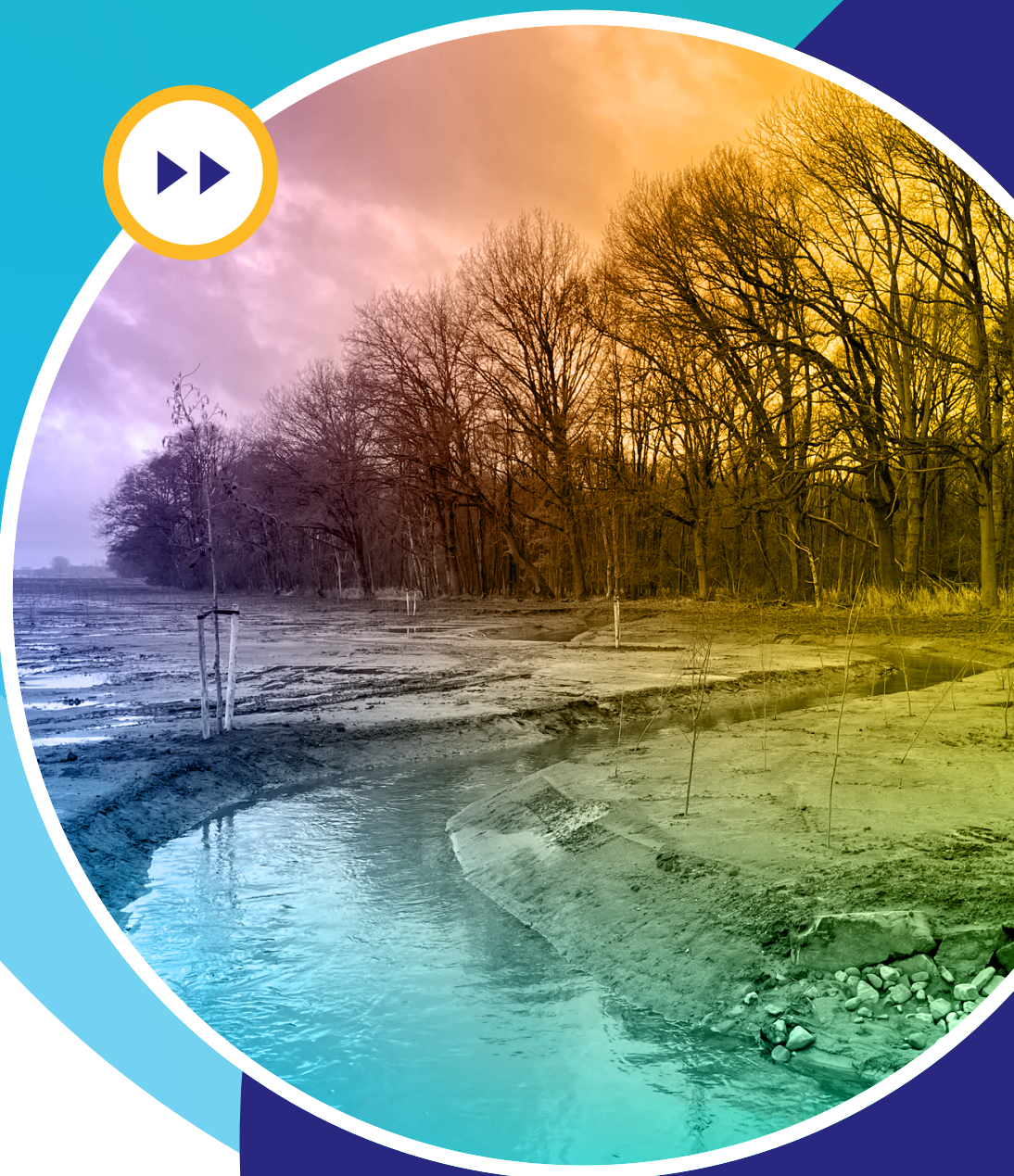


MAATREGEL-EFFECT-MONITORING IN OPPERVLAKTEWATEREN: ontwerp, analyse en bepaling van de ecologische effectiviteit van uitgevoerde maatregelen

▶▶ KIWK 2022-25



Kennisimpuls
WATERKWALITEIT

MAATREGEL-EFFECT-MONITORING IN OPPERVLAKTEWATEREN: ontwerp, analyse en bepaling van de ecologische effectiviteit van uitgevoerde maatregelen

►► KIWK 2022-25

Gea van der Lee,
Annalieke Bakker,
Ralf Verdonschot
& Piet Verdonschot



▶▶ KIWK IN HET KORT

Dit rapport is geschreven in het kader van het project **Systeemkennis ecologie en waterkwaliteit** van de Kennisimpuls Waterkwaliteit.

In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstututen aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Kennisimpuls Waterkwaliteit.

Beter weten wat er speelt en wat er kan.

▶▶ COLOFON

Opdrachtgever	Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK)
Auteurs	Gea van der Lee, Annalieke Bakker, Ralf Verdonshot en Piet Verdonshot (correspondentie: gea.vanderlee@wur.nl)
Gebruikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit Stroomkennis ecologie en waterkwaliteit	
Rijkswaterstaat/WVL	Marjoke Muller
HH De Stichtse Rijnlanden (vrz)	Nikki Dijkstra
Ws Amstel, Gooi en Vecht/Waternet	Gerard ter Heerdt
Ws De Dommel	Ineke Barten
Ws Vechtstromen	Gertie Schmidt
Ws Hunze en Aa's	Hermen Klomp
Ws Rivierenland	Arnold Osté
HH Hollands Noorderkwartier	Sandra Roodzand
PBL	Peter van Puijenbroek
Ws Limburg	Esther de Jong
Hoogheemraadschap van Delfland	Roger Meijs
STOWA	Bas van der Wal
Leescommissie	Gertie Schmidt, Nikki Dijkstra
Vormgeving	Shapeshifter.nl Utrecht
STOWA-rapportnummer	2022-25
ISBN	978.94.6447.277.6
DOI	https://doi.org/10.18174/571747
Wijze van citeren	van der Lee, G.H. Bakker, A., Verdonshot, R.C.M. en Verdonshot P.F.M. (2022). Maatregel-effect-monitoring in oppervlaktewateren: ontwerp, analyse en bepaling van de ecologische effectiviteit van uitgevoerde maatregelen. Notitie KIWK, Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 61 pp.
Trefwoorden	macrofauna, fytoplankton, maatregelleffectiviteit, knelpunten, BACI, herstelmaatregelen
Copyright	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is kosteloos verkrijgbaar.
Disclaimer	Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur(s) en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

▶▶ VOORWOORD

Sinds de invoering van de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn veel maatregelen genomen om de waterkwaliteit te verbeteren. Parallel aan de uitvoering is monitoring naar de effecten van deze maatregelen uitgevoerd. Over deze metingen zijn veel rapporten, memo's en notities verschenen. In dit rapport zijn de verzamelde monitoringsdata met wetenschappelijke criteria getoetst op geschiktheid voor nadere analyse. In totaal zijn 40 datasets zijn geanalyseerd om de vraag te beantwoorden wat de ecologische effectiviteit van de getroffen maatregelen is.

Dit onderzoek laat zien dat veel monitoringsdata niet geschikt zijn om statistisch onderbouwde uitspraken te doen over maatregелеffectiviteit. Door de monitoringsopzet in te richten volgens de zogenaamde BACI-methode kunnen resultaten statistisch worden getoetst. Bij deze aanpak worden er voor en na maatregelen op een controle- en op een maatregellootatie gemeten. Dit is een uitgebreide monitoringsopzet maar door als waterbeheerders slim samen te werken op het gebied van monitoring van maatregелеffectiviteit en vooraf een BACI-monitoringsopzet te formuleren kunnen we hier nog grote stappen in zetten. Met als doel om in de toekomst effectiever maatregelen kunnen uitvoeren en onze KRW-doelen sneller kunnen halen.

Dr. Nikki Dijkstra (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

Voorzitter gebruikerscommissie 'Systeemkennis en Ecologie' Kennisimpuls Waterkwaliteit

▶▶ SAMENVATTING

Hoewel de fysisch-chemische waterkwaliteit de afgelopen decennia is verbeterd en herstelmaatregelen zijn uitgevoerd om de bijvoorbeeld de hydromorfologische omstandigheden te verbeteren voldoen veel wateren vaak nog niet aan de gewenste ecologische kwaliteit. Om deze systemen effectief verder te herstellen is het van belang om te weten welke randvoorwaarden bepalen of maatregelen succesvol zijn, zodat deze kennis in de toekomst kan worden ingezet bij nieuwe projecten.

DOEL

Het doel van dit Kennisimpuls Waterkwaliteit (KIWK) onderzoek was om door middel van een analyse op basis van bestaande gegevens die door waterbeheerders zijn verzameld met maatregel-effect-monitoring meer inzicht te krijgen in de succes- en verbeterfactoren van de tot op heden uitgevoerde herstelingsrepen en de wijze waarop een monitoringsprogramma om de effectiviteit van herstelmaatregelen vast te stellen het beste kan worden ingericht. Kernvragen hierbij zijn:

- 1.) Voor hoeveel en welk type projecten is voldoende data beschikbaar om wetenschappelijk onderbouwde conclusies te trekken over het effect van herstelmaatregelen in oppervlaktewateren?
- 2.) Wat zijn de aanwezige knelpunten in deze waterlichamen en op welke knelpunten hebben de maatregelen mogelijk effect?
- 3.) Wat is het effect van de maatregelen op de fytoplankton- en/of macrofaunagemeenschap op de herstelde locaties?

AANPAK

Herstelprojecten zijn geselecteerd op basis van de beschikbaarheid van minimaal vier jaar metingen uitgevoerd ná het uitvoeren van de eerste maatregel en minimaal drie jaar metingen uitgevoerd vóór het nemen van de eerste maatregel. Een alternatief of aanvulling was dat er minimaal drie jaar metingen beschikbaar waren die zijn uitgevoerd ná het uitvoeren van de eerste maatregel op een controlelocatie zonder maatregelen. De aanwezige knelpunten op deze locaties zijn bepaald op basis van de 'significante belastingen (pressures)' beschreven in de factsheets die zijn opgesteld in het kader van de stroomgebiedbeheerplannen.

De effecten van herstelmaatregelen op fytoplankton hebben we samengevat uit eerder opgestelde KIWK- notities over herstelprojecten.

Voor de macrofaunagemeenschap hebben we aanvullend een overkoepelende analyse uitgevoerd, waarbij we de effecten van maatregelen op de ecologische kwaliteitsratio (EKR)-score hebben bepaald volgens de per project best passende analysemethode. Er is hierbij zowel naar directe effecten als veranderingen in trends gekeken. Om beter inzicht te krijgen waarop de maatregelen effect hebben gehad of te achterhalen waarom een maatregel juist geen effect heeft gehad hebben we de milieu- en habitatpreferentiescores voor de macrofauna voor stroming (als proxy voor een verbetering in hydromorfologische processen), oligosaprobe omstandigheden (waterkwaliteitsverbetering) en een habitatvoorkeur voor moerassen (graduele land-water-overgangen, gekoppeld aan natuurvriendelijke oevers) berekend.

RESULTATEN

In totaal was er voor 40 wateren verspreid over Nederland voldoende data beschikbaar was om een maatregel-effect-analyse uit te kunnen voeren voor de effecten van maatregelen op fytoplankton of macrofauna. Hoewel het meeste inzicht in de effecten van maatregelen kan worden verkregen met het Before (voor)- After (na), Control (controle)-Impact (maatregel) ontwerp (BACI), voldeden de gegevens van in slechts één van de wateren aan de criteria die een volledig BACI-ontwerp stelt, de overige wateren waren volgens een BA-ontwerp of een CI-ontwerp gemonitord.

Voor de fytoplankton waren er voldoende projecten beschikbaar om het effect van nutriëntenreducerende maatregelen op de fytoplanktongemeenschap te evalueren. In de meren en plassen duidde de afname in 'negatief scorende' (blauw) algen op de KRW-maatlatten erop dat er een reductie was opgetreden in de nutriëntengehalten, maar de waargenomen dominantie van blauwalgen, hetzij andere soorten, wees op (nog steeds) te eutrofe omstandigheden in deze wateren.

Verder waren de effecten tijdelijk indien de bron van de belasting niet was aangepakt met de uitgevoerde maatregelen.

Voor de macrofauna waren voldoende projecten beschikbaar voor de evaluatie wat betreft: 1.) het effect van hydromorfologisch beekherstel, al dan niet in combinatie met aanpassingen die hebben geleid tot een waterkwaliteitsverbetering (verbeterde rioolwaterzuiveringsinstallaties; RWZIs), en 2.) de aanleg van duurzame/ natuurvriendelijke oevers.

In de onderzochte projecten konden geen directe effecten op en veranderingen in trends in de macrofaunagemeenschap worden vastgesteld, die terug te leiden waren naar de uitgevoerde hydromorfologische beekherstelmaatregelen. Waarschijnlijk was ofwel de ruimtelijke omvang van de maatregelen onvoldoende of waren niet alle stressoren aangepakt waardoor herstel van de macrofaunagemeenschap achterbleef. In een deel van de beken trad parallel aan het hydromorfologisch herstel een algehele verbetering van de waterkwaliteit op vanaf het midden van de jaren '90, die in twee beken kon worden gerelateerd aan veranderingen in het effluent afkomstig van bovenstrooms gelegen RWZIs.

Het verschil tussen de macrofaunagemeenschappen, uitgedrukt in EKR-scores, van duurzame/natuurvriendelijke oevers en traditionele oevers was niet eenduidig. Gezien de ligging van veel van deze oevers, in intensief gebruikt agrarisch gebied, overschaduwden factoren als waterkwaliteitsaspecten (organische belasting, eutrofiëring) en verschillen in milieuomstandigheden tussen locaties (typologisch) die al aanwezig waren de ecologische impact die deze oevers kunnen hebben. Door het ontbreken van metingen voorafgaand aan de aanleg van de oevers konden deze effecten niet worden geïdentificeerd.

Tot slot werd duidelijk dat alle onderzochte wateren onder invloed stonden van meervoudige stress, terwijl de getroffen maatregelen gericht waren op slechts een beperkt deel van deze knelpunten.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Er kan worden geconcludeerd op basis van de evaluatie van de effecten van herstelmaatregelen op macrofauna en fytoplankton dat maatregelen vanuit een ecologisch perspectief alleen effectief zijn wanneer ze alle knelpunten wegnemen die verhinderen dat de gewenste soorten zich vestigen of in aantal toenemen. Indien slechts de invloed van één stressor wordt verkleind of weggenomen, zonder de andere stressoren aan te pakken, verhindert dit het optreden van ecologisch herstel. Hetzelfde geldt op de langere termijn wanneer de bron van een stressor niet wordt aangepakt en alleen mitigerende maatregelen worden genomen.

Op basis van de gevonden resultaten is het is aan te bevelen om:

- De effecten van maatregelen te monitoren volgens een BACI-ontwerp, zodat beter in beeld kan worden gebracht welke maatregelen wel en niet werken in specifieke situaties. Met de gegenereerde kennis kunnen in de toekomst betere keuzes gemaakt worden met betrekking tot hoe en waar de meest effectieve en kostenefficiënte maatregelen worden ingezet.
- Ecologische systeemanalyses uit te voeren om zo alle relevante stressoren gekwantificeerd in beeld te brengen, zodat meer inzicht verkregen wordt in welke maatregelen nodig zijn om effectief de ecologische kwaliteit te verbeteren.
- Maatregelen op een zo groot mogelijke ruimtelijke schaal uit te voeren, waarbij alle knelpunten tegelijkertijd en bij de bron worden aangepakt.

▶▶ INHOUD

	Kennisimpuls Waterkwaliteit in het kort	3
	Voorwoord	5
	Samenvatting	6
1	INLEIDING	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Doel	9
1.3	Leeswijzer	10
2	BELANG VAN VOLDOENDE METINGEN IN MAATREGEL-EFFECT-ANALYSES	11
2.1	Zeggingskracht van metingen	11
2.2	BACI-ontwerp	12
3	METHODE	13
3.1	Datavraag waterbeheerders	13
3.2	Selectie gegevens	13
3.3	Knelpuntenanalyse	14
3.4	Maatregel-effect-analyse	14
4	RESULTATEN	18
4.1	Overzicht herstelprojecten	18
4.2	Knelpunten waterlichamen	22
4.3	Effectiviteit maatregelen	23
5	DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	30
5.1	Leent de huidige monitoringsdata zich voor het evalueren van de effectiviteit van herstelmaatregelen?	30
5.2	Hoe verhouden de uitgevoerde maatregelen zich tot de knelpunten in een waterlichaam?	31
5.3	Wat voor beeld geeft de data van de huidige maatregeleffectiviteit?	31
5.4	Hoe verder; van een lokale aanpak naar een grootschalige integrale benadering van knelpunten	33
6	LITERATUUR	34
	SUPPLEMENT 1	37
	SUPPLEMENT 2	49
	SUPPLEMENT 3	52

▶▶ 1 INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De Nederlandse wateren zijn ingrijpend door de mens veranderd. Het gaat hierbij om bijvoorbeeld organische belasting, eutrofiëring en belasting met toxische stoffen, maar ook door veranderingen als gevolg van hydromorfologische aanpassingen, zoals het kanaliseren en normaliseren van watergangen, het aanpassen van het waterpeil en aanpassingen aan de oeverinrichting (Lemm *et al.* 2021). Om de waterkwaliteit te verbeteren is in 2000 de Kaderrichtlijn Water (KRW) aangenomen met als doel dat uiterlijk in 2027 alle wateren in Europa een goede chemische en ecologische status hebben (KRW 2000/60/EC).

Sinds de implementatie van de KRW is het aantal op lokale schaal uitgevoerde herstelprojecten ter verbetering van de waterkwaliteit toegenomen (Dos Reis Oliveira *et al.* 2020). Veel van deze projecten zijn erop gericht om de hydromorfologische aanpassingen uit het verleden terug te brengen naar een meer natuurlijke staat (Lemm *et al.* 2021). Er zijn bijvoorbeeld natuurvriendelijke oevers (NVOs) aangelegd langs sloten en kanalen om de oorspronkelijk aanwezige graduele land-water-overgangen na te bootsen en in het verleden rechtgetrokken beken en riviertjes zijn weer meanderend gemaakt. Daarnaast zijn ook projecten uitgevoerd om de externe en interne belasting van het water met voedingsstoffen terug te dringen, zoals het verbeteren van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZIs) en het baggeren van sediment. Andere herstelmaatregelen zijn gericht op het verbeteren van ecologische omstandigheden in het waterlichaam, bijvoorbeeld door het aanpassen van het maaibeheer (extensiveren) of het inbrengen van dood hout in beken (Verdonschot *et al.* 2017).

Hoewel de waterkwaliteit de afgelopen decennia is verbeterd voldoen - ondanks de genomen maatregelen - de meeste waterlichamen nog niet aan de gewenste waterkwaliteit en blijft Nederland achter bij andere EU-lidstaten met het realiseren van de KRW doelen (PBL 2020). Voor het herstel van ecosystemen is het van belang om te weten wanneer maatregelen succesvol zijn, zodat deze kennis in de toekomst ook naar andere plekken kan worden geëxtrapoléerd (Nilsson *et al.* 2015). Helaas zijn de randvoorwaarden voor een optimale effectiviteit van maatregelen in de praktijk niet altijd goed bekend (Dos Reis Oliveira *et al.* 2020, Lu *et al.* 2021).

Uit een analyse van meer dan 200 bestaande rapporten en memo's met onderzoek naar de effectiviteit van herstelmaatregelen in oppervlaktewateren blijkt dat we tot op heden maar een beperkt inzicht hebben in de daadwerkelijke effectiviteit van de genomen maatregelen (Van Noord *et al.* 2022). Dit komt enerzijds doordat de effecten op de maatregelloccaties niet voldoende vergeleken worden met hun eerdere toestand voordat de maatregelen genomen zijn of met controlelocaties en anderzijds door het baseren van conclusies op interpretaties van bijvoorbeeld beschrijvende grafieken, zonder deze conclusies statistisch onderbouwd te toetsen. Kortom, het is in veel gevallen niet duidelijk of maatregelen effectief zijn geweest; of dit daadwerkelijk het geval is of het gevolg is van een methodische kwestie is niet te beantwoorden met de huidige gegevens. In de studie van Van Noord *et al.* (2022) wordt echter wel gesteld dat met de reeds aanwezige data bij waterbeheerders mogelijk meer uitspraken kunnen worden gedaan over de effectiviteit van maatregelen, door deze gegevens alsnog met statistische methoden te analyseren.

1.2 DOEL

Het doel van dit rapport is inzicht te krijgen in de succes- en verbeterfactoren van de tot op heden uitgevoerde herstelprojecten en maatregel-effect-monitoring door de bij waterbeheerders aanwezige projectdata van macrofauna en algen met statistische methoden te analyseren. Daarbij worden de volgende vragen uitgewerkt:

- 1.) Voor hoeveel en welk type projecten is voldoende data beschikbaar om wetenschappelijk onderbouwde conclusies te trekken over het effect van herstelmaatregelen in oppervlaktewateren?
- 2.) Wat zijn de aanwezige knelpunten in deze waterlichamen en op welke knelpunten hebben de maatregelen mogelijk effect?
- 3.) Wat is het effect van de maatregelen op de algen- en/of macrofaunagemeenschap op de herstelde locaties?

1.3 LEESWIJZER

Allereerst gaan we in op het belang van voldoende metingen voor het uitvoeren van een maatregel-effect-analyse ([Hoofdstuk 2](#)). Vervolgens bespreken we de methode ([Hoofdstuk 3](#)) en de resultaten van de data-analyse ([Hoofdstuk 4](#)). Op basis van de uitkomsten van het onderzoek wordt tenslotte een handelingsperspectief geschetst voor het waterbeheer ([Hoofdstuk 5](#)).

▶▶ 2 BELANG VAN VOLDOENDE METINGEN IN MAATREGEL-EFFECT-ANALYSES

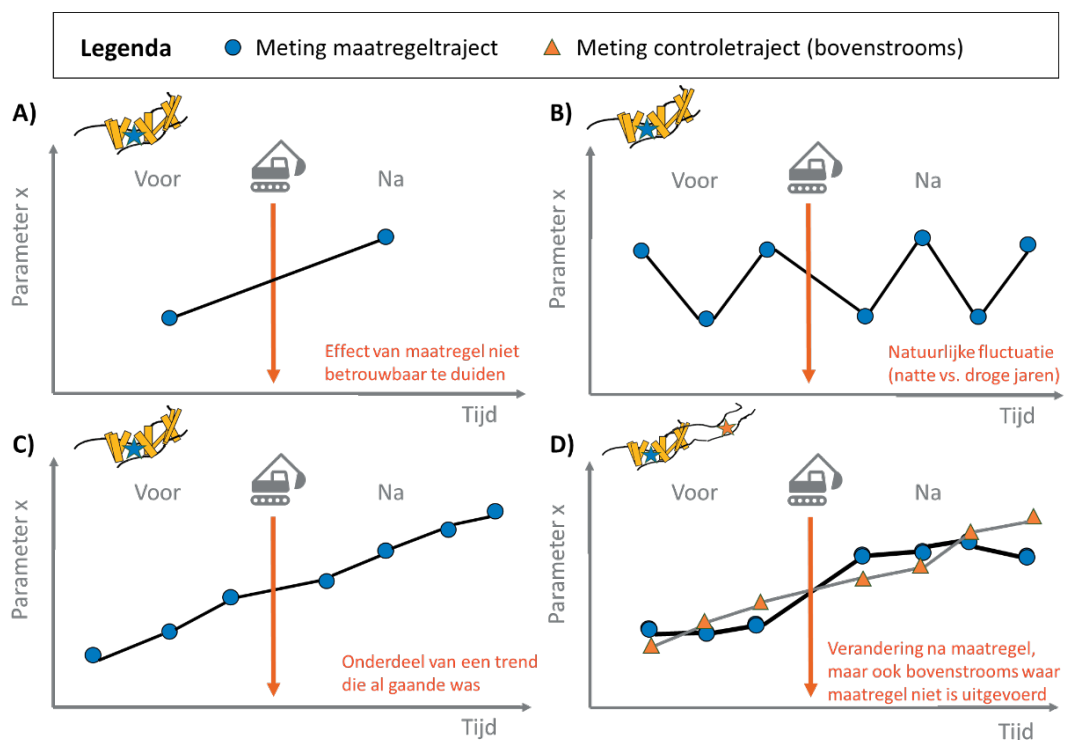
2.1 ZEGGINGSKRACHT VAN METINGEN

De effectiviteit van maatregelen kan worden geëvalueerd door monitoringsgegevens met statistische methoden te analyseren, waarbij wel voldoende geschikte data aanwezig moet zijn (Nilsson *et al.* 2015, Wauchope *et al.* 2021). Met een beperkte meetfrequentie kan het effect van een maatregel namelijk niet betrouwbaar worden aangetoond (zie bijvoorbeeld de situatie met 1 nulmeting en 1 effectmeting van een houtinbreng-project in een beek in **Figuur 1A**). Het lijkt in eerste opzicht alsof in **Figuur 1A** een verbetering heeft plaatsgevonden. Bij een hogere meetintensiteit zou echter kunnen blijken dat deze verandering onderdeel uitmaakt van een natuurlijke fluctuatie (**Figuur 1B**; bijvoorbeeld natte versus droge jaren) of een trend die al gaande was (**Figuur 1C**; bijvoorbeeld door eerder genomen maatregelen).

Deze voorbeelden laten zien dat er meer metingen in de tijd nodig zijn om veranderingen als gevolg van de maatregel te scheiden van andere patronen in de data. Anders is het niet mogelijk onderbouwde conclusies te trekken. Daarnaast is het bij het gebruik van 1 meetpunt lastig om ontwikkelingen op trajectniveau als gevolg van een maatregel (in het voorbeeld inbrengen dood hout; **Figuur 1D** in blauwe stip) te scheiden van andere, vaak grootschaligere ontwikkelingen in een gebied (lagere nutriëntenbelasting; **Figuur 1D** in oranje driehoek). In **Figuur 1D** bewegen beide meetpunten in dezelfde richting, ongeacht of herstelmaatregelen hebben plaatsgevonden. Het onderscheid tussen het effect van de lokale maatregelen en grootschalige ontwikkelingen is cruciaal voor het meten van effecten van herstelmaatregelen, want als een ontwikkeling overal plaatsvindt, dan kan deze niet, in positieve of negatieve zin, toegeschreven worden aan het uitvoeren van het herstelproject.

FIGUUR 1

Voorbeeld van monitoring in de tijd (A-D) en in de ruimte (D) van een houtinbreng-project in een beek om te laten zien dat met een beperkte set aan metingen het effect van een maatregel op parameter x op een locatie (bolletjes) niet kan worden aangetoond (A), omdat deze verandering onderdeel kan uitmaken van een natuurlijke fluctuatie (bijv. natte en droge jaren) (B), een trend die al gaande was (C), of een verandering die ook bovenstrooms (driehoekjes) waar de maatregel niet is uitgevoerd (D).



2.2 BACI-ONTWERP

Het meeste inzicht in de effecten van maatregel(en) kan worden verkregen met het BACI-ontwerp, wat staat voor het before (voor)- after (na), control (controle) - impact (maatregel) ontwerp (Stewart-Oaten *et al.* 1986, Smokorowskia & Randall 2017). In dit ontwerp wordt in de tijd voor en na het uitvoeren van de maatregel gemeten. Deze metingen vinden plaats in zowel het maatregeltraject als in één of meerdere controletrajecten, bijvoorbeeld aan de samenstelling van de levensgemeenschap.

Het controletraject kan bestaan uit een traject dat vergelijkbaar is met het maatregeltraject voorafgaand aan de ingreep, maar waar geen maatregel(en) zijn genomen. Deze opzet corrigeert zowel voor de uitgangssituatie in het traject waar de maatregel(en) worden uitgevoerd, als voor veranderingen die in de tijd optreden in het stroomgebied of polder via de controle. Deze controle staat ook onder invloed van de andere factoren of stressoren die in het gebied spelen (Verdonschot *et al.* 2020). Een andere variant is dat ook de gewenste/referentiesituatie (bijvoorbeeld een natuurgebied met weinig beïnvloeding) wordt meegenomen als controle, maar dan is de uitgangssituatie minder vergelijkbaar met de herstelde situatie.

Het meest effectief is een opzet met minimaal drie metingen (jaren) voorafgaand aan de maatregel en minimaal vier metingen na uitvoering. Het liefst worden zelfs meer metingen achteraf uitgevoerd, omdat er sprake kan zijn van een zogenoemde time-lag, waardoor de respons vertraagd op gang komt (Smokorowskia & Randall 2017).

Soms is het gebruik van controles niet mogelijk, omdat een water voor een regio unieke eigenschappen heeft en er daardoor geen vergelijkbare controlesituatie te vinden is. In dit geval kan het voor-na-impact(maatregel)-ontwerp ('BA-ontwerp') een uitkomst zijn, waarbij in de tijd zowel voor als na uitvoering van de maatregel gemeten wordt. Bij een BA-ontwerp is het echter niet uit te sluiten dat de veranderingen niet door de herstelmaatregel(en) worden veroorzaakt, maar in het hele gebied hebben plaatsgevonden. Immers is er geen controle om dit type veranderingen te identificeren.

De effectiviteit van maatregel(en) kan tenslotte ook worden vastgesteld door locaties waar maatregel(en) zijn uitgevoerd te vergelijken met locaties met dezelfde eigenschappen die onveranderd zijn gebleven (controle): het controle-impact(-maatregel)-ontwerp ('CI-ontwerp'). Een nadeel van dit ontwerp is dat het gevoelig is voor de al aanwezige verschillen in de milieu-omstandigheden (typologisch) tussen de trajecten.

Een belangrijk aandachtspunt bij de keuze van controles is dat beïnvloeding door de maatregel op de controle altijd voorkomen moet worden. In beken is het daarom van belang dat een controletraject bijvoorbeeld ruim bovenstrooms van het maatregeltraject wordt gekozen.

▶▶ 3 METHODE

3.1 DATAVRAAG WATERBEHEERDERS

Bij de start van het project is bij de Nederlandse waterbeheerders een datavraag uitgezet om locaties waar maatregelen zijn genomen en monitoringsgegevens van beschikbaar zijn te verzamelen om de onderzoeksvragen te beantwoorden (Tabel 1).

De uitgangspunten bij de data-inzamelingen van de biotische gegevens voor deze locaties waren (Stewart-Oaten *et al.* 1986, Smokorowska & Randall 2017):

- Minimaal vier jaar metingen uitgevoerd ná het uitvoeren van de herstelmaatregel.
- Minimaal drie jaar metingen uitgevoerd vóór het uitvoeren van de eerste herstelmaatregel en/of minimaal drie jaar metingen ná het uitvoeren van de eerste maatregel uitgevoerd in een controletraject.

In het optimale geval werd aan beide uitgangspunten voldaan.

TABEL 1

De datavraag die is uitgezet bij de Nederlandse waterbeheerders voor het uitvoeren van de maatregel-effect-analyse.

Maatregелеffectiviteit	Organisme groep	Per locatie invullen
Naam maatregellocatie		
Welke maatregel(en) zijn genomen?		
Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?		
Waar zijn de maatregel(en) uitgevoerd?		
Watertype		
Meetpunt naam		
Meetpunt coördinaten (x, y)		
Meetjaren voor de maatregel(en)? * minimaal 3 jaar	macrofauna	
	algen	
	planten	
	vissen	
Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie? * minimaal 3 jaar	macrofauna	
	algen	
	planten	
	vissen	
Meetjaren na de maatregel(en)? * minimaal 4 jaar	macrofauna	
	algen	
	planten	
	vissen	
Indien beschikbaar, naam en locatie van controle		
Anders?		

3.2 SELECTIE GEGEVENS

Voor de maatregel-effect-analyse zijn algen- en macrofaunadata aangeleverd door veertien waterschappen: Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Hoogheemraadschap van Schieland

en de Krimpenerwaard, Hoogheemraadschap van Rijnland, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Brabantse Delta, Waterschap de Dommel, Waterschap Limburg, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Rivierenland, Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschap Vechtstromen, Waterschap Zuiderzeeland en Wetterskip Fryslân. Een aantal van de aangeleverde datasets voldeed niet aan de uitgangspunten van de datavraag en zijn daarom niet meegenomen in de analyse ([Supplement 1 Tabel S1](#)). Meetpunten die over tijd zijn verplaatst hebben we, waar mogelijk, gecombineerd tot één meetpunt om een zo compleet mogelijke dataset voor deze locaties te genereren.

De algen- en macrofaunagemeenschap kan sterk verschillen in samenstelling tussen de maanden van een jaar, omdat levenscyclus van veel soorten is gerelateerd aan het seizoenverloop (Transau 1916, Verdonschot 1990, porka *et al.* 2006, Vlek 2006). We hebben daarom per meetpunt data geselecteerd uit begrensde delen van het jaar. Voor de macrofaunadata betrof dit monsters genomen in het voorjaar (maart-juli) of in het najaar (augustus-november). We hebben deze seizoenen bewust ruim gedefinieerd om niet te veel data te verliezen, wat ten koste ging van de zomer; d.w.z. juli is aan het voorjaar toegevoegd en augustus aan het najaar. Voor de algendata hebben we per meetpunt bekeken in welke maanden de meeste monsters zijn genomen.

3.3 KNELPUNTENANALYSE

Voor ieder waterlichaam waar projecten zijn uitgevoerd en voldoende is gemonitord hebben we de aanwezige knelpunten bepaald op basis van de ‘significante belastingen (pressures)’, welke zijn beschreven in de factsheets die horen bij de stroomgebiedbeheerplannen (SGBPen) uit de periode 2015-2021 en 2022-2027. In deze factsheets vallen hydromorfologische belastingen, die zijn verwerkt in het GEP en waarvoor geen aanvullende maatregelen meer nodig zijn, niet onder de significante belastingen. Deze belastingen kunnen echter nog wel knelpunten vormen voor de ecologie. Deze knelpunten hebben we daarom als aparte categorie toegevoegd op basis van de informatie die gegeven werd onder de kopjes ‘Karakter schets’, ‘Status: sterk veranderd/kunstmatig’ en ‘Maatregelen wel beschouwd, niet uitvoerbaar’. Voor de projecten die niet zijn uitgevoerd in KRW-waterlichamen en waarvoor dus geen SGBPen beschikbaar waren, hebben we de knelpunten gescoord op basis van informatie beschikbaar in de literatuur. Vervolgens hebben we voor ieder waterlichaam aangegeven voor welke knelpunten de maatregelen een mogelijke bijdrage hebben geleverd om het knelpunt te verminderen. Dit is gebaseerd op de beschrijving van maatregelen ([Supplement 1, Tabel S2](#)).

3.4 MAATREGEL-EFFECT-ANALYSE

Voor alle locaties waar de algen- en macrofaunagegevens voldeden aan het uitgangspunt van de datavraag hebben we losse analyses uitgevoerd en gedocumenteerd in aparte KIWK notities. De effecten van de maatregelen op de algengemeenschap vatten we samen uit deze notities. Voor de macrofaunagemeenschap hebben we een overkoepelende analyse uitgevoerd, omdat voor deze groep voldoende locaties waren voor een meta-analyse en voor veel macrofaunasoorten de ecologische vereisten en functioneel belangrijke eigenschappen bekend zijn voor het evalueren van de achterliggende effecten van maatregelen op een regionale schaal (Astorga *et al.* 2011).

De soortnamen zijn afgestemd aan de hand van de meest recente TWN-lijst (Taxa Waterbeheer Nederland, 06-04-2020). Forma en ondersoorten zijn teruggebracht naar soortniveau. Vervolgens hebben we de ecologische kwaliteitsratio (EKR)-score berekend volgens de KRW maatlatten (Van der Molen *et al.* 2018) met het R package *krw* (Van Tent, 2021). Omdat er per project verschillen waren in bijvoorbeeld het aantal meetjaren en het monitoringsontwerp, hebben we de best passende analysemethode gekozen voor iedere dataset volgens de benadering beschreven door Wauchope *et al.* (2021) voor een BA- en BACI-ontwerp met een aanvulling voor een CI-ontwerp ([Supplement 1, Tabel S3](#)). De wateren met een quasi BACI-ontwerp, waarbij er was gemeten vóór en ná het uitvoeren van de maatregel op de maatregellocatie en ná het nemen van de maatregel op een controle locatie, zijn geanalyseerd als een BA-ontwerp. Des te minder data er beschikbaar was, des te onzekerder was de analyse van de maatregel-effectiviteit. Alle analyses zijn uitgevoerd in R (R Core Team 2021).

BA- en BACI- ontwerp

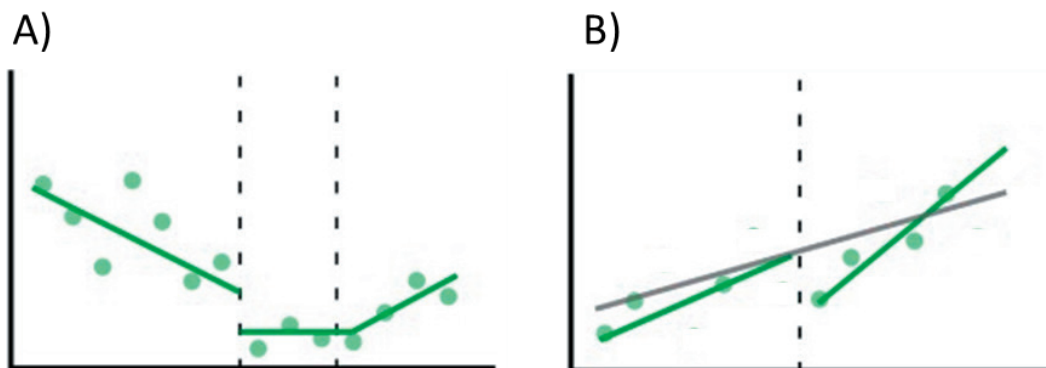
Voor de BA- en BACI-ontwerpen is allereerst bepaald of er sprake was van een verandering over tijd in relatie tot de maatregel. Het is mogelijk dat de effecten van maatregelen pas na een aantal jaar en daarmee vertraagd optreden, de zogeheten

time lags (Figuur 2A; Smokorowskia & Randall 2017, Verdonschot & Verdonschot 2021). Ook kunnen er eerder in de tijd veranderingen zijn opgetreden door onbekende factoren. Om hier rekening mee te houden zijn mogelijke structurele veranderingen (break-punten) in het gemiddelde en de trend over tijd bepaald (Zeileis *et al.* 2003, Chandler & Scott 2011, De Jong *et al.* 2013) met behulp van een ‘change point’ analyse in het R package strucchange (Zeileis *et al.* 2002). Voor deze analyse was minimaal 10 jaar data nodig, met als randvoorwaarde een periode van minimaal 4 jaar tussen twee break-punten. Indien er break-punten zijn geïdentificeerd, zijn de ‘voor’ en ‘na’-jaren van de datasets aangepast om rond het geschatte break-punt te centreren. Vervolgens is de analyse uitgevoerd op dezelfde wijze uitgevoerd als voor datasets met minder dan 10 jaar data.

Voor de datasets met minder dan 10 jaar data is gecontroleerd of er effecten waren van de maatregel door telkens twee modellen te gebruiken, één met het volledige model inclusief de maatregel (H1-model), en de andere met hetzelfde model maar zonder de maatregel als variabele (H0-model; Wauchope *et al.*, 2021). Figuur 2B geeft een voorbeeld van een vergelijking tussen een H0 en H1-model met een BA-ontwerp. Hoe deze twee modellen presteren is vervolgens getest met het Akaike information criterion voor een kleine monstergrootte (AICc) met het R package AICcmodavg (Mazerolle 2020). Indien het AICc van =H0 kleiner is dan voor het H1-model betekent dit dat er geen significant effect voor de maatregel(en) kon worden vastgesteld (Burnham and Anderson 2004).

FIGUUR 2

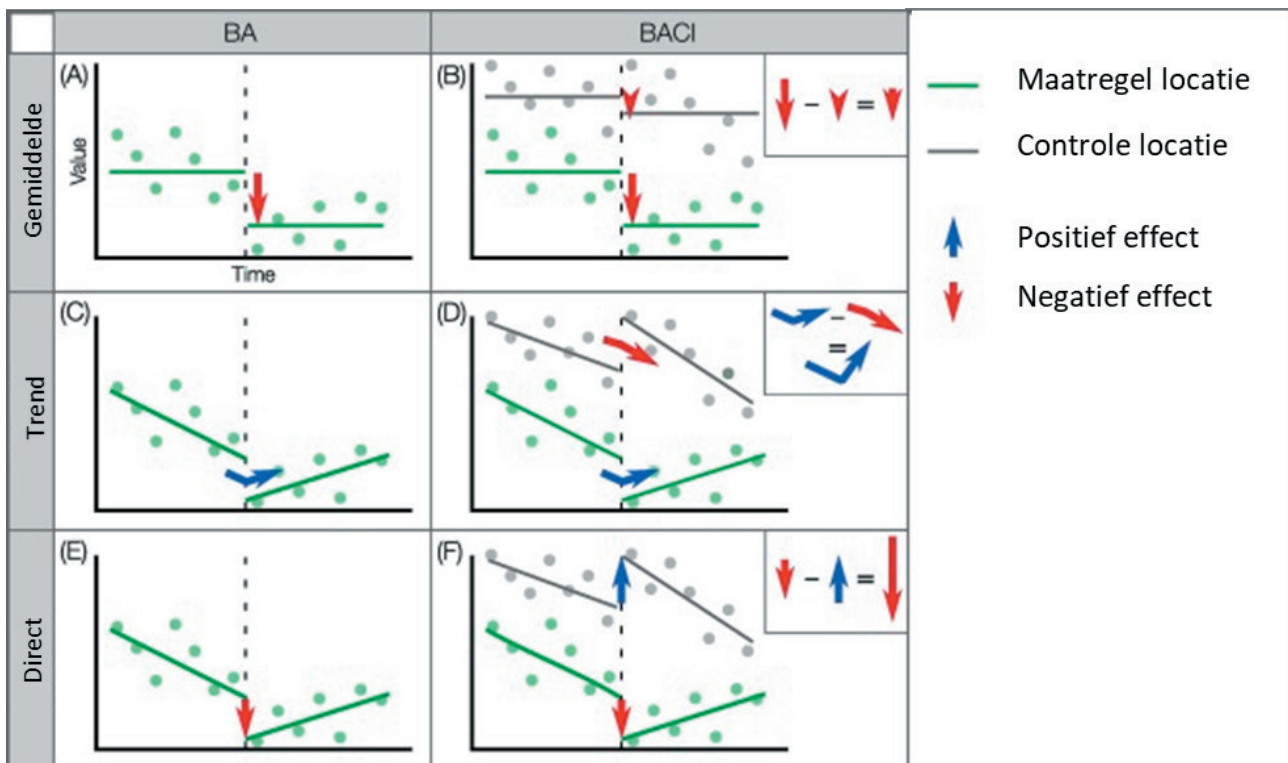
Voorbeeld van de analyse om vast te stellen of er verandering is opgetreden voor een BA-ontwerp. A) Identificatie van break-punten voor datasets met meer dan 10 meetjaar data. B) Vergelijking tussen een model met de maatregel als variabele (groene lijnen) en een nulmodel zonder de maatregel als variabele (grijze lijn) voor datasets met minder dan 10 meetjaar data (aangepast naar Wauchope *et al.* 2021).



Indien er sprake was van een verandering in de onderzochte parameter in relatie tot de maatregel is vervolgens het effect van de maatregel bepaald. Maatregelen kunnen directe effecten hebben op de ecologie, veranderingen in de trends veroorzaken, of beide. Wauchope *et al.* (2021) laten zien dat het belangrijk is niet alleen de gemiddelde waarden te vergelijken, maar ook de mogelijke veranderingen in trends te bepalen, omdat anders onjuiste conclusies kunnen worden getrokken (Figuur 3, zie ook Supplement 1, Figuur S1 voor andere voorbeelden). De directe en trend-effecten van de maatregel(en) kunnen worden geschat door lineaire modellen op te stellen met hierin de factor tijd. Om de directe effecten te schatten is tijd gecentreerd rond 0, waarbij 0 het moment is dat de maatregel(en) zijn genomen. Indien er break-punten zijn geïdentificeerd, zijn de ‘voor’ en ‘na’-jaren van de datasets aangepast om rond het geschatte break-punt te centreren. De verandering in trends wordt geschat op basis van de interactietermen met tijd. Een positieve coëfficiënt voor de interactieterm betekent dat de trend na de maatregel meer positief is dan voor de maatregel (NB dit kan nog steeds negatief zijn, maar minder negatief dan voor de maatregel).

FIGUUR 3

Effect van een maatregel (onderbroken verticale lijn) in een maatregel-effect-analyse bij een BA-ontwerp (linker kolom) of een BACI-ontwerp (rechter kolom). Het verschil tussen de situatie voorafgaand en na uitvoering van de maatregel is in de grafieken uitgedrukt op basis van een gemiddelde waarde over de tijdvakken (A,B), door de trend in de tijd te bepalen (C,D) en door het directe effect te bekijken (E,F) om te laten zien hoe de gebruikte analysetechniek de conclusies kan beïnvloeden. Het voorbeeld laat zien dat de interpretatie van het effect verschilt tussen de methoden en geeft daarnaast het belang aan van het werken met een controle. Zo is het negatief effect op basis van het vergelijken van de gemiddelde waarden kleiner dan wanneer het directe effect wordt vergeleken (rode pijlen), zeker wanneer de verandering in de controle erbij wordt betrokken. De trend laat echter een positief effect zien in tijd op de maatregellocatie (blauwe pijl), die verschilt van de trend op de controlelocatie. Aangepast naar Wauchope et al. (2021).



CI-ontwerp

Structurele veranderingen komen niet betrouwbaar in het CI-ontwerp naar voren omdat de veranderingen mogelijk bij de start van de metingen reeds hebben plaatsgevonden (Larsen et al. 2019, Wauchope et al. 2021). In het geval van een CI-ontwerp is daarom alleen getoetst of er een significant verschil was tussen de controlelocatie en de maatregellocatie.

Achterliggende oorzaken maatregel-effectiviteit

Om te diagnosticeren waarop de maatregelen effect hebben gehad, of om te achterhalen waarom een maatregel geen effect heeft gehad, zijn de milieupreferentie-scores voor de macrofauna per monster berekend. Hiervoor is een selectie gemaakt van milieupreferentie-classes uit de het overzicht van milieu- en habitatpreferenties voor de Nederlandse zoetwatermacrofauna (Verberk et al. 2012), die - in theorie - inzicht zouden kunnen geven in het effect van de genomen maatregelen (Tabel 2). We hebben hierbij gebruik gemaakt van:

- 1.) de preferentie voor stroming, om verbetering in hydromorfologische processen te duiden,
- 2.) de preferentie voor een lage saprobie (organische belasting), om waterkwaliteitsverbeteringen te duiden,
- 3.) de preferentie voor het habitat moeras, om het effect van de aanleg van duurzame/natuurvriendelijke oevers te duiden.

De milieupreferentie-scores zijn beschikbaar op soortniveau. Taxa gedetermineerd op een lager taxonomisch niveau zijn niet meegenomen in de analyses. Per monster is vervolgens een gewogen gemiddelde milieupreferentie-score berekend door de som te nemen van de milieupreferentie-scores van de aanwezige soorten vermenigvuldigd met hun $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde abundantie. Dit totaal is vervolgens gedeeld door de som van de $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde abundantie van alle taxa waarvoor een milieupreferentie-score bekend was. De scores voor saprobie en stroming zijn geïjkt op basis van de vier stroomgebieden die zijn onderzocht in de KIWK-casussen-analyse (Van der Lee *et al.*, 2022). De moeraspreferentiescore is geïjkt van 0 tot 1 naar de minimale $\mu - 2*sd$ en de maximale $\mu + 2*sd$, zodat mogelijke uitschieters als gevolg van afwijkende extreme waarden niet worden meegenomen.

TABEL 2

*Metrics gebruikt voor de diagnose van stressoren op basis van de milieu- en habitatpreferenties Nederlandse zoetwatermacrofauna macrofauna (Verberk *et al.* 2012).*

Maatregel	Parameter	Milieupreferentiekla(n)sse(n)	Stressor(en)
Hydro-morfologisch beekherstel	Stroming	Matig stromend + snel stromend	Stroming/zuurstof
Aanpassing RWZI	Saprobie	Oligosaproob	Zuurstof/toxiciteit
Duurzame/natuurvriendelijke oever	Habitat moeras (graduele land-water-overgang)	(zeer) ondiep (moerassig)	Harde land-water-overgangen, verdwijnen gradiënten

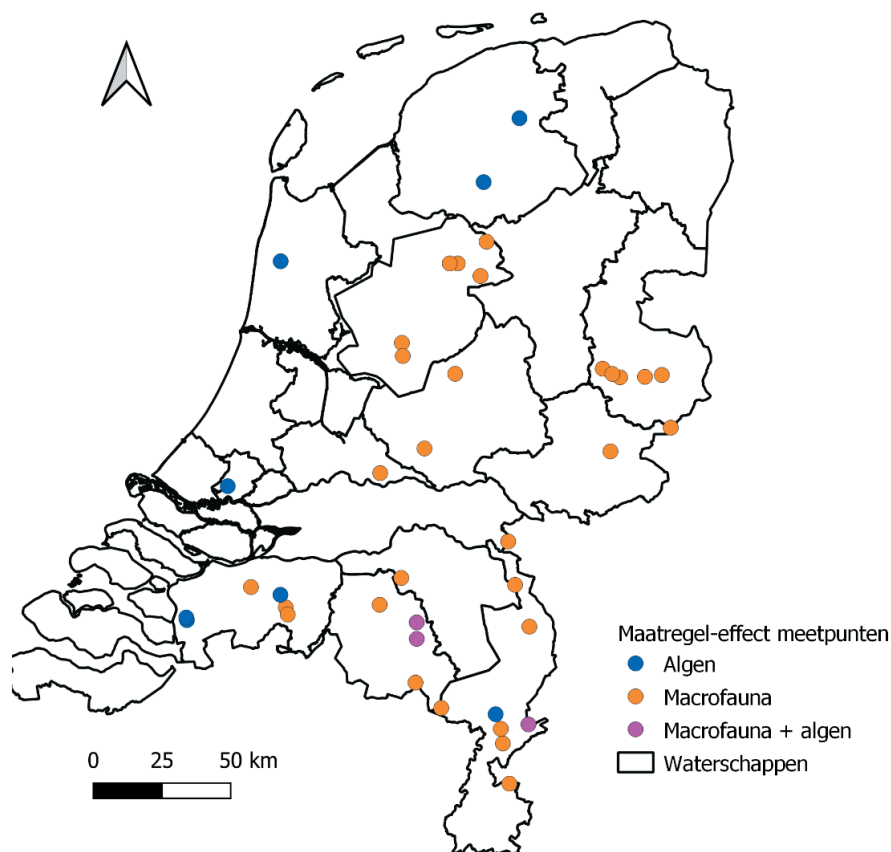
►► 4 RESULTATEN

4.1 OVERZICHT HERSTELPROJECTEN

In totaal zijn er van 40 wateren verspreid over Nederland gegevens aangeleverd met voldoende data om een maatregel-effect-analyse uit te kunnen voeren (Figuur 4). Voor 30 wateren was er voldoende data beschikbaar van de macrofaunagemeenschap, voor 7 wateren van de algengemeenschap en voor 3 wateren van beide organismegroepen. In sommige wateren waren meerdere meetpunten beschikbaar voor een analyse (Tabel 3).

FIGUUR 4

Locaties waar herstelmaatregelen zijn genomen én voldoende data beschikbaar was van de macrofauna- en/of algengemeenschap om een maatregel-effect-analyse uit te kunnen voeren. De zwarte contouren geven de waterschapsgrenzen aan.



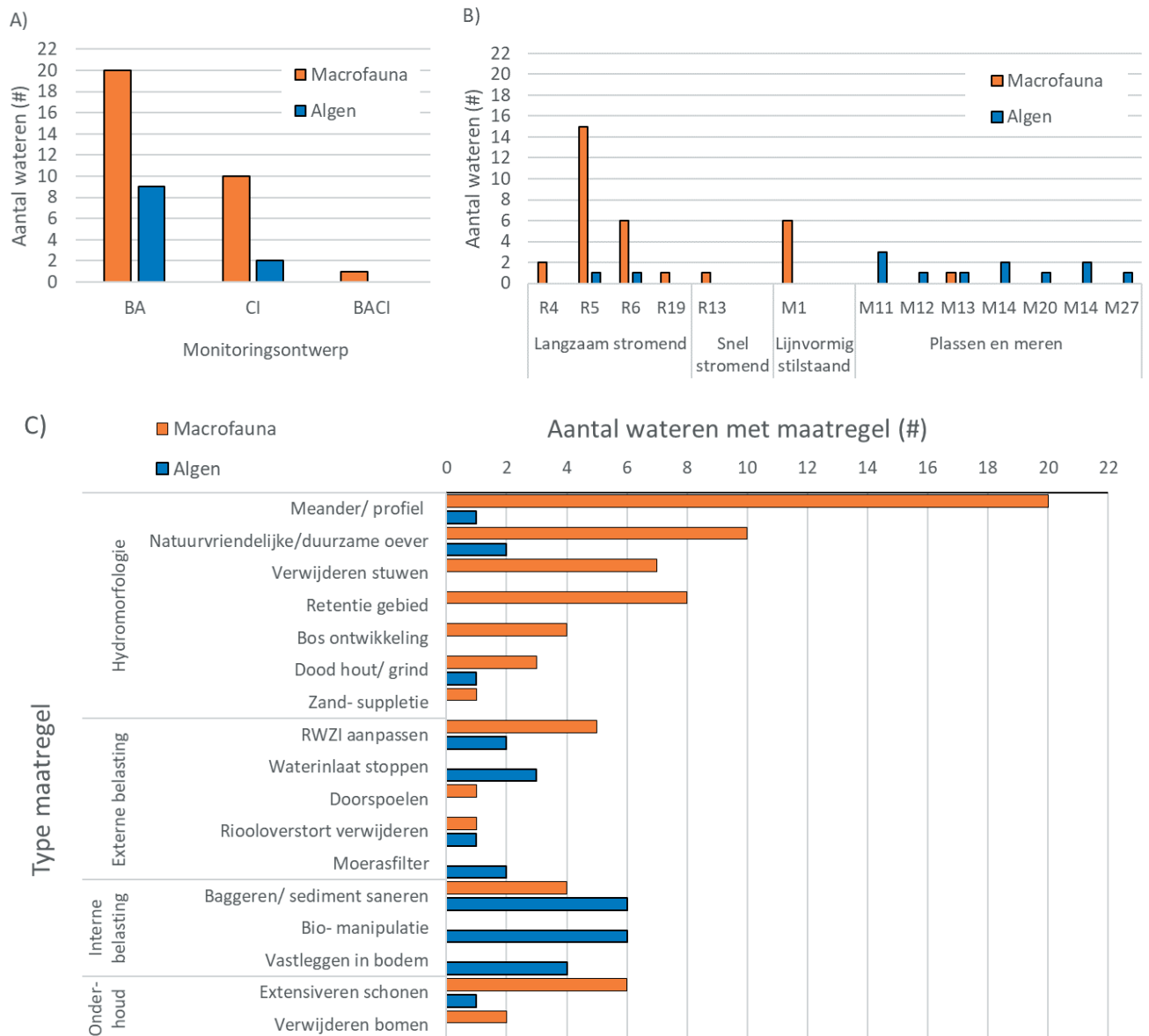
Voor de meeste wateren (69%) bestaat het monitoringsontwerp uit metingen vóór en ná het uitvoeren van de maatregel ('BA-ontwerp') (Figuur 5A). Voor twee van deze wateren bestonden de metingen uit een quasi BACI-ontwerp, waarbij er was gemeten vóór en ná het uitvoeren van de maatregel op de maatregel locatie en ná het nemen van de maatregel op een controle locatie. In bijna alle andere gevallen (29%) zijn metingen beschikbaar ná het nemen van de maatregel op een maatregel (impact) en een onveranderde (controle) locatie ('CI-ontwerp'). Voor slechts één water voldeden de metingen aan een compleet voor-na-controle-impact(maatregel)-ontwerp ('BACI-ontwerp').

Het effect van maatregelen op de macrofaunagemeenschap is voornamelijk vastgesteld in langzaam stromende wateren, terwijl de focus voor de effecten op de algengemeenschap op de meren en plassen ligt (Figuur 5B).

De geëvalueerde maatregelen lopen uiteen van het herstel van de hydromorfologie tot het terugdringen van de interne en externe belasting met voedingsstoffen en het aanpassen van het onderhoud (Figuur 5C). In ongeveer twee derde van de wateren zijn meerdere typen maatregelen gelijktijdig genomen, waarbij veel verschillende combinaties zijn toegepast. Het effect op de macrofaunagemeenschap is met name vastgesteld voor maatregelen die zijn gericht op het herstel van de hydromorfologie, met de nadruk op profielaanpassing en/of hermeandering. Daarentegen is het effect op de algen-gemeenschap vooral gemeten op plekken waar maatregelen zijn genomen die zijn gericht op het terugdringen van interne en in mindere mate ook de externe belasting met voedingsstoffen.

FIGUUR 5

Overzicht van de wateren met voldoende data om een maatregel-effect-analyse uit te kunnen voeren. A) Het aantal wateren met een voor-na-impact(maatregel)-ontwerp (BA), controle-impact(maatregel)-ontwerp (CI) of voor-na-controle-impact(maatregel)-ontwerp (BACI). B) Het aantal wateren onderverdeeld naar watertype; C) Verdeling naar het type maatregelen. Er zijn veelal combinaties van meerdere maatregelen uitgevoerd op één water.



TABEL 3

Projecten opgenomen in de maatregel-effect-analyse met voldoende data van de macrofauna- (Mafa) en/of algengemeenschap (Alg) met een BA-ontwerp (voor-na-impact(maatregel)-ontwerp), CI-ontwerp (controle-impact(maatregel)-ontwerp), het BACI-ontwerp (voor-na-controle-impact(maatregel)-ontwerp), of BA/CI-ontwerp waarbij de controle voor de maatregelen niet 3 meetjaren omvat. Maatregelen zijn: M = Meandering, P = profielaanpassing, NVO = Natuurvriendelijke oever, Du = duurzame oever, St = Verwijderen stuwen, R = Retentiegebied, +B = Bosontwikkeling, KM = kleinschalige maatregelen, waaronder dood hout/ grind, Z = Zandsuppletie, RWZI = RWZI optimaliseren/aanpassen, -Inl = Waterinlaat stoppen, +Inl = Doorspoelen, RO = Riolwateroverstort verwijderen, MF = Moerasfilter aanleggen, Sa = Baggeren/ sediment saneren, BioM =Biomaniplatie, zoals het wegvangen van vissen en de aanleg van een mosselfilter, VB = Vastleggen in bodem van fosfaat met bijv. een zandlaag met Phoslock, O = Extensiveren onderhoud, -B =Verwijderen bomen.

Waterschap	Wateren	Herstel meetpunt	Controle meetpunt	Organisme	Ontwerp	Maatregel	KRW type	RD_X	RD_Y
HDSR	Kromme Rijn	NL14_02_7	NL14_02_03	Mafa	CI	NVO	R6	149388	445691
		NL14_02_21	NL14_02_26	Mafa	CI	NVO	R6	140730	453605
		NL14_02_22	NL14_02_26	Mafa	CI	NVO	R6	140040	453202
HHNK	Geestmerambacht	135105	-	Alg	BA	-Inl	M20	113180	522824
HHSK	Bergse plassen	S_0030	-	Alg	BA	RWZI, Sa, VB, BioM	M27	93900	440919
		S_0034	-	Alg	BA	RWZI, Sa, VB, BioM	M27	92566	440563
Waterschap Aa en Maas	Dynamisch beekdal	149350	140216	Mafa	CI	M, R	R6	157055	407520
Waterschap Brabantse Delta	Broekloop- Bavelse Leij	211001	-	Mafa	BA	M	R4	115030	396750
Delta	Mark en Vliet	200029	-	Mafa	BA	+Inl	R6	102360	404170
		300001	-	Mafa	BA	+Inl	R6	77900	404000
	Kleine Melanen	310212/310229	-	Alg	BA	-Inl, Sa, VB, BioM, NVO	M11	78940	392130
	Grote Melanen	310211/310247	-	Alg	BA	Sa, VB, BioM, NVO	M11	78830	393100
	Linievijver	205326	-	Alg	BA	BioM	M11	113080	401381
	Chaamse beken	210803	-	Mafa	BA	O	R4	115740	394180
		210812	-	Mafa	BA	O	R4	116640	391860
Waterschap de Dommel	Beerze	250087	251107	Mafa	BACI	RWZI, M, P, O	R5	149194	397747
		251018	-	Mafa+Alg	BA	RWZI	R6	162690	391326
		251016	253010	Alg	CI	RWZI	R6	163404	386018
	Dommel Eindhoven	253010	250013	Mafa+Alg	BA	M, O, Sa	R5	165970	472130
		251022	250013	Alg	CI	M, O, Sa	R5	159587	380636
	Tongelreep	250018	-	Mafa	BA	RWZI, M, KM, O	R5	161542	372273
	250014	-	Mafa	BA	RWZI, M, KM, O	R5	162249	369414	

Waterschap	Wateren	Herstel meetpunt	Controle meetpunt	Organisme	Ontwerp	Maatregel	KRW type	RD_X	RD_Y
Waterschap Limburg	Beegderven	OBEEGD10	-	Alg	BA	Sa, -B	M12	191420	357900
	Melickerven	OMELIC10	-	Mafa+Alg	BA	Sa, -B	M13	203366	354198
	Eckeltsebeek	OECKE790/800	-	Mafa	BA	MP	R5	198500	405011
	Tungelroysebeek	OTUNG100	-	Mafa	BA	M, Sa	R4	171630	360170
		OTUNG800	-	Mafa	BA	M, Sa	R5	192550	361430
	Roode Beek - Mindergangelt	ORODE500	-	Mafa	BA	RWZI, M, +B	R13	196419	332630
	Putbeek	OPUTB900	-	Mafa	BA	P, St	R4	194060	347250
	Vlootbeek - beneden	OVLOO900/905	-	Mafa	BA	M, St	R5	193300	352581
	Groote molenbeek	OGRMB700	-	Mafa	BA	M, P	R6	203710	389780
Waterschap Rijn en IJssel	Buurserbeek	BUB03	BUB22	Mafa	BA/CI	M, St, +B	R5	255174	462219
		BUB15	BUB22	Mafa	CI	M, St, +B	R5	250146	463124
	Groenlose Slinge	GRS43	GRS37	Mafa	CI	MP, St, R	R5	233216	453593
GRS05		GRS37	Mafa	CI	MP, St, R	R5	235690	451053	
Waterschap Rivierenland	Groesbeek	GR000036	GR000066	Mafa	BA	RWZI, M	R5	195989	420782
Waterschap Vallei en Veluwe	Hierdensch beek	243640/643640	243510	Mafa	BA	M, R, Z, KM, O	R5	176700	481800
Waterschap	Luntersebeek	688002/288004	288002	Mafa	CI	MP, NVO, St, +B	R5	165438	454659
Waterschap Vechtstromen	Azelerbeek	15-012	15-023	Mafa	BA/CI	P, R	R5	245772	480733
	Elsenerbeek	02-202	-	Mafa	BA	M, P, St, R, O	R5	230384	483691
		16-019	-	Mafa	BA	M, P, St, R, +B, O	R5	251927	481405
	Beneden Regge	03-001	-	Mafa	BA	M, P, NVO, R	R5	236739	480543
	Midden Regge	02-203	-	Mafa	BA	R	R6	233924	481764
Waterschap Zuiderzeeland	Marknessertocht	16CZ-087-01	16CN-021-01	Mafa	CI	Du	M1	188125	529902
Waterschap	Zwijnstocht	21AZ-079-01	21AZ-071-01	Mafa	CI	Du	M1	185911	517418
	Hannie-schafttocht	20FN-124-01	15HZ-050-01	Mafa	CI	Du	M1	177640	522000
	Steenbankdwarstocht	20FN-172-01	20FZ-037-01	Mafa	CI	Du	M1	174700	522000
	Lepelaartocht	26BZ-057-01	26BZ-105-01	Mafa	CI	Du	M1	157296	493078
	Roerdomptocht	26BZ-062-01	26BZ-105-01	Mafa	CI	Du	M1	157620	488298
Wetterskip Fryslân	De Leijen	I0045owo	-	Alg	BA	RO, MF, BioM	M14	200100	574860
	Nanneviid	NL02V5a	-	Alg	BA	-Inl, MF, VB, BioM	M14	187050	551600

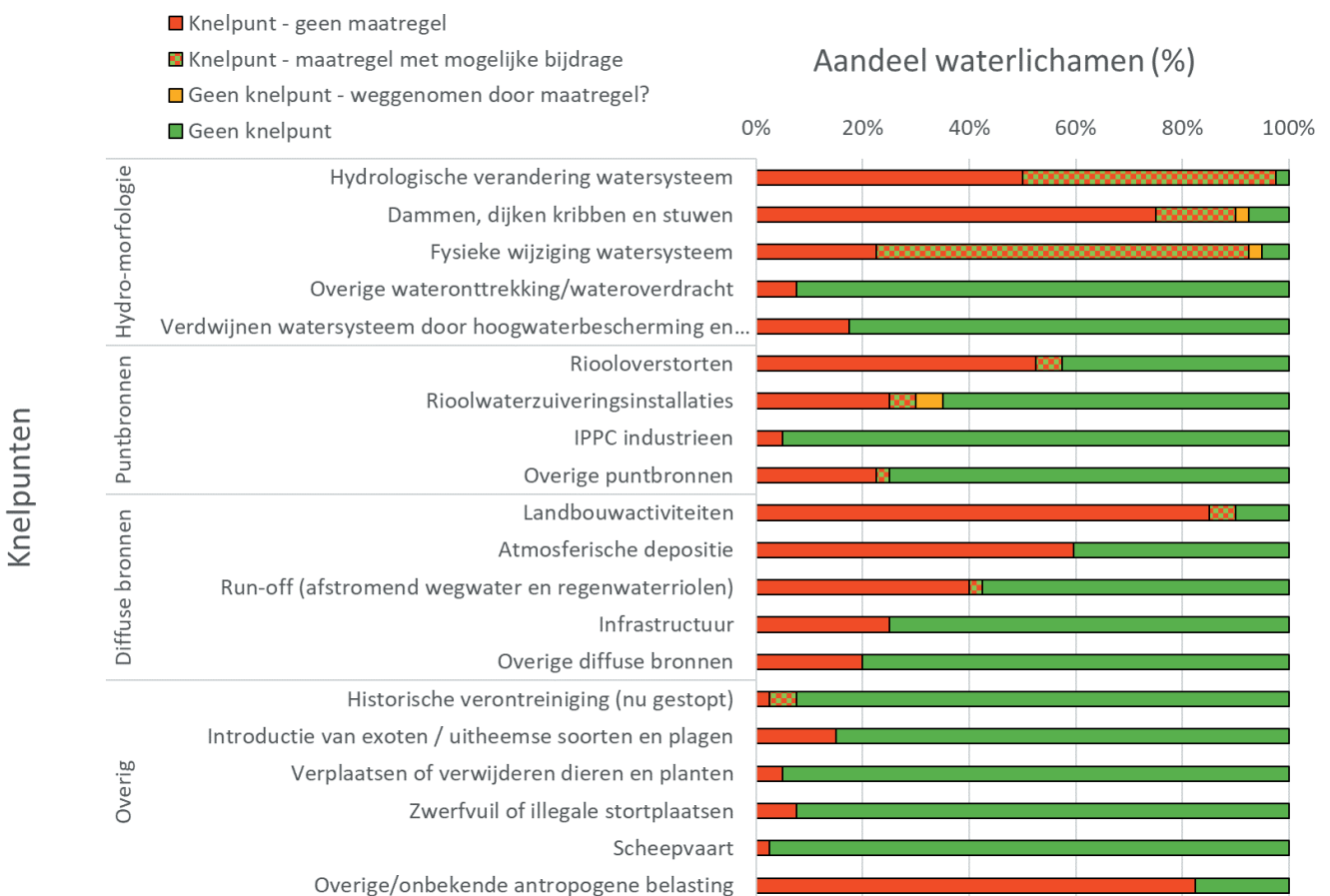
4.2 KNELPUNTEN WATERLICHAMEN

Uit de SGBPen komt naar voren dat de waterlichamen met meetpunten met voldoende data voor een maatregel-effect-analyse beïnvloed worden door meervoudige stress (Figuur 6; Supplement 2, Tabel S1). Gemiddeld (\pm sd) zijn er 8 ± 2 verschillende knelpunten per waterlichaam aangegeven. Het viel op dat de knelpunten aangegeven in de SGBPen voor de periode 2015-2021 voor veel waterlichamen anders waren dan die voor de periode 2022-2027. Knelpunten uit de SGBPen voor beide perioden zijn hier meegenomen. Een deel van de hydromorfologische knelpunten zijn verwerkt in het GEP en behoren volgens de SGBPen niet tot significante bronnen van stress. Een verstoorde hydromorfologie kan echter nog wel een knelpunt vormen voor de ecologie.

De maatregelen in de onderzochte wateren zijn voornamelijk gericht op het verminderen van fysieke veranderingen in het watersysteem (~70% van de waterlichamen, bijvoorbeeld ten behoeve van landbouwactiviteiten, hoogwaterbescherming of scheepvaart), herstellen van de hydrologie (~50% van de waterlichamen) en aanpassingen aan dammen, dijken, kribben en stuwen (~15%) (Figuur 6). De maatregelen die zijn gericht op het verminderen van interne belasting, waarbij het niet ging om historische verontreiniging (nu gestopt), konden niet aan een knelpunt uit de SGBPen worden gekoppeld wanneer de bron niet was aangepakt. Landbouwinvloed vormt een knelpunt in bijna alle waterlichamen, maar er worden weinig maatregelen uitgevoerd die zijn gericht op het verminderen van de toevoer van stoffen (bijv. nutriënten en bestrijdingsmiddelen) vanuit de landbouwpercelen naar de waterlichamen.

FIGUUR 6

Overzicht van de knelpunten in de waterlichamen met meetpunten met voldoende data van de macrofauna- en algengemeenschap om een maatregel-effect-analyse te kunnen uitvoeren. De maatregelen per locatie staan in meer detail beschreven in Tabel 3.



4.3 EFFECTIVITEIT MAATREGELEN

Hieronder zijn de resultaten van de maatregel-effect-analyse beschreven per maatregeltipe voor algen (Tabel 4) en voor macrofauna (Tabel 5). De maatregelen met meer dan drie projecten zijn in meer detail bekeken, omdat op basis van slechts één of enkele voorbeelden geen betrouwbare conclusies kunnen worden getrokken.

Effect van nutriënt reducerende maatregelen op de fytoplanktongemeenschap

Voor de algen waren voldoende projecten beschikbaar om het effect van nutriënten-reducerende maatregelen op de fytoplanktongemeenschap in meren en plassen te evalueren (Tabel 4). In zes meren en plassen zijn de effecten van zeer omvangrijke pakketten met nutriëntenreducerende maatregelen onderzocht. Er werd in alle wateren een daling in fosforgehalten en (blauwalgen) chlorofyl- concentraties gemeten, wat duidt op een vermindering in de mate van eutrofiëring van deze wateren (Tabel 4). Doordat meerdere maatregelen tegelijkertijd zijn genomen, is het niet mogelijk precies te duiden welke maatregel wel en welke niet heeft bijgedragen aan de veranderingen. In één van de meren is de vermindering in de mate van eutrofiëring waarschijnlijk al ruim voor de start van de eerste herstelmaatregelen begonnen, mogelijk door autonome veranderingen in het gebied. In twee plassen waar de externe bron van de belasting niet (volledig) was weggenomen was het effect van de maatregelen tijdelijk en namen de (blauwalgen) chlorofyl- concentraties na verloop van tijd weer toe. Het meest duidelijk kwam dit naar voren na het aanbrengen van kratten met quaggamosselen (*Dreissena bugensis*) in de Linievijver in Breda. De mate van eutrofiëring was in deze afgesloten stadsvijver alleen gereduceerd in de periode waarin het mosselfilter werkzaam was (2014-2016).

TABEL 4

Overzicht van de conclusies van maatregel-effect analyses op basis van de algengemeenschap.

Type water	Wateren	Maatregel type	Effect	Opmerking
Meren/plassen	Kleine Melanen	Nutriënt reducerend	Ja, een beetje	Vermindering eutrofiëring, maar blauwalgen nog dominant
Meren/plassen	Groote Melanen	Nutriënt reducerend	Ja, een beetje	Vermindering eutrofiëring, maar blauwalgen nog dominant
Meren/plassen	Nanneviid	Nutriënt reducerend	Ja, een beetje	Vermindering eutrofiëring, maar blauwalgen nog dominant
Meren/plassen	De Leijen	Nutriënt reducerend	Ja, maar oorzaak onduidelijk	Vermindering eutrofiëring, maar mogelijk verandering voor start maatregelen
Meren/plassen	Bergse plassen	Nutriënt reducerend	Ja, maar tijdelijk	Vermindering eutrofiëring, maar blauwalgen nog dominant en nemen ook weer toe
Meren/plassen	Linievijver	Nutriënt reducerend	Ja, maar tijdelijk	Vermindering in periode dat filter actief was, bron niet weggenomen
Vennen	Melickerven	Onderhoud	Ja	Hoger aantal taxa, mogelijk afname verzuring
Vennen	Groote Beegderven	Onderhoud	Ja	Daling aantal taxa, mogelijk afname saprobie en toename verzuring
Beken	Dommel Eindhoven	Hydro-morfologisch beekherstel	Nee	Geen duidelijk verschil met controle traject
Beken	Dommel benedenstrooms	Aanpassing RWZI	Nee	Geen duidelijk verschil met controle traject

De effecten op de algengemeenschap van de afname in eutrofiëring waren niet eenvoudig te kwantificeren, doordat algenbloei zeer variabel optrad in de tijd. Daarnaast was er veel variatie in de taxonomische niveaus die gehanteerd werden in de verschillende datasets, waarbij veel algen tot op stam of klasse zijn gedetermineerd. De positieve effecten die in de notities naar voren kwamen waren een vermindering in de relatieve abundantie van 'negatief scorende' (blauw)algen op de KRW-maatlatten, zoals de blauwalgen *Limnithrix redekei* en *Planktothrix agardhii* en een toename van algentaxa met een hogere EKR-score (indicatief voor minder voedselrijke omstandigheden).

Effect van hydromorfologisch beekherstel (in combinatie met aanpassingen aan RWZIs) op de macrofaunagemeenschap

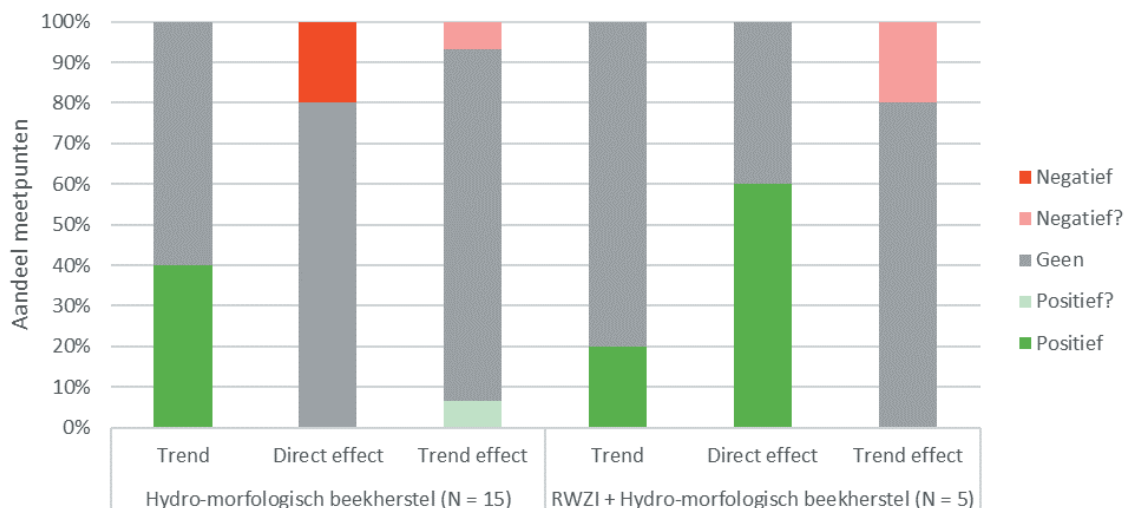
Voor de macrofauna waren voldoende projecten beschikbaar om een beeld te krijgen van het effect van hydromorfologisch beekherstel (al dan niet in combinatie met aanpassingen aan RWZIs) en de aanleg van duurzame/ natuurvriendelijke oevers (Tabel 5). Het effect van hydromorfologisch beekherstel op de macrofaunagemeenschap is onderzocht in 23 wateren, waarvan 3 wateren met 2 meetlocaties (totaal 26 meetpunten). Voor de meeste wateren was hydromorfologisch beekherstel de enige (bekende) maatregel (15 meetpunten met een BA-ontwerp en 5 meetpunten met een CI-ontwerp). Voor een aantal wateren zijn er naast het hydromorfologisch beekherstel ook bovenstrooms aanpassingen aan de RWZIs gedaan (4 meetpunten met een BA-ontwerp en 1 met een BACI-ontwerp).

De 15 meetpunten met een BA-ontwerp voor enkel hydromorfologisch beekherstel en de 5 meetpunten met BA + BACI-ontwerp voor hydromorfologisch beekherstel en aanpassingen aan RWZIs zijn verder onderzocht door de algehele trend in EKR-scores in de tijd te bepalen, het directe effect van de maatregel(en) en tenslotte eventuele trend-effecten te detecteren (zie hoofdstuk 3.4 voor een uitgebreide toelichting op de gehanteerde methode). Geen van de wateren met alleen hydromorfologisch beekherstel laat een significant positief effect op de EKR-score voor de macrofauna over tijd zien in relatie tot de herstelmaatregelen (BA-ontwerp: Figuur 7, Tabel 5). In zes van deze wateren is echter wel een algehele positieve trend aanwezig. Deze trend komt naar voren als de dataset ook metingen uit de jaren '80 en '90 omvat (Supplement 3, Figuur S1) en gaat samen met een afname van de organische belasting, wat wijst op een waterkwaliteitsverbetering in deze periode (Supplement 3, Figuur S2).

Op drie wateren is er een direct negatief effect op de EKR-score in relatie tot de maatregelen. De Tungelroysebeek laat zien dat de EKR-score zich vervolgens wel weer kan herstellen tot naar het niveau voor uitvoering van de maatregelen (Supplement 3, Figuur S1; direct negatief effect, gevolgd door positieve trend effect met time lag). In één van de wateren, de Buurserbeek, is een sterke afname in de trend waargenomen, maar het is onduidelijk of dit komt door de herstelmaatregelen of door een onbekende oorzaak, aangezien ook de EKR-score in de controle in de periode na het nemen van de maatregelen afneemt.

FIGUUR 7

Overzicht van de effecten van hydromorfologisch beekherstel (eventueel met effecten van aanpassingen aan RWZIs) op de macrofauna EKR-score van meetpunten waarbij met een BA- en BACI-ontwerp is gemonitord. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de algehele trend in de EKR score in de tijd, een direct effect van de maatregel en een verandering in de trend (trend-effect, uitleg van de methode in hoofdstuk 3.4, pagina 13). Een vraagteken betekent dat het effect vertraagd optrad (time lag) of een onbekende oorzaak had. Details van modellen worden gegeven in Tabel 5.



Van de drie wateren met een CI-ontwerp is de EKR-score in twee wateren niet significant verschillend tussen de herstelde en de niet-herstelde locatie en in één water met twee meetpunten (Groenlose Slinge) was de EKR-score significant hoger op de herstelde locaties, terwijl dit verschil significant negatief was in de Buurserbeek (Tabel 5).

Op de meetlocaties met een BA of BACI-ontwerp in wateren waar een combinatie van hydromorfologisch beekherstel en aanpassingen aan RWZIs aan de orde zijn, laten deze een duidelijk effect zien van de RWZI-aanpassingen. De data van de Tongelreep en Roode Beek bij Mindergangelt tonen een duidelijk direct positief effect van verbeterde zuivering in het midden van de jaren '90 (Figuur 7, Tabel 5), gerelateerd aan een vermindering van de organische belasting van deze systemen (Supplement 3, Figuur S2). In de Roode beek bij Mindergangelt zijn geen verdere effecten van de later genomen hydromorfologische beekherstelmaatregelen meer waargenomen (Tabel 5). In de Tongelreep is een algehele positieve trend in de EKR score vastgesteld. Doordat er meerdere maatregelen over tijd zijn genomen, is het aanvangsmoment en daarmee de directe effecten en trends van de verschillende individuele maatregelen lastig te duiden. In deze beek is de stroming relatief hoog en mogelijk is er een kleine verbetering opgetreden in de stroming na uitvoering van de hydromorfologische beekherstelmaatregelen (Supplement 3, Figuur S3). Recente aanpassingen aan de RWZI in combinatie met hydromorfologisch beekherstel bij Groesbeek laten echter geen duidelijke effecten op de EKR score zien (Tabel 5). Hetzelfde geldt voor de CI-locatie in de Beerze.

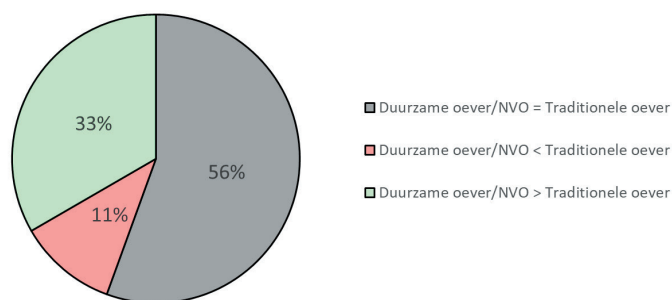
Mogelijk blijven effecten van hydromorfologisch beekherstel uit in wateren met een relatief lage EKR-score, omdat de hydromorfologische processen ondanks de genomen maatregelen (nog) niet in orde zijn (milieupreferentie voor stroming: Supplement 3, Figuur S3). Daarnaast blijft de waterkwaliteit in deze wateren waarschijnlijk ook achter bij het gewenste niveau, met bijvoorbeeld een nog overheersende stress van stoffenbelasting (milieupreferentie voor saprobie: Supplement 3, Figuur S2). Omgekeerd is het effect van maatregelen in beken die al een goede kwaliteit hebben relatief gering omdat het om meer subtiele verschuivingen in de levensgemeenschap gaat die niet met een geaggregeerde maat als een EKR-score geduid kunnen worden (Hierdensche beek).

Effect van duurzame/natuurvriendelijke oevers op de macrofaunagemeenschap

Het effect van de aanleg van duurzame (vorm van natuurvriendelijke oever in Zuiderzeeland) en natuurvriendelijke oevers op de macrofaunagemeenschap is onderzocht in respectievelijk vijf verschillende tochten en op drie meetpunten in het langzaam stromende riviertje de Kromme Rijn (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden). Alle meetpunten zijn ingericht volgens het CI-ontwerp. Het verschil tussen de duurzame/natuurvriendelijke en traditionele oevers was niet eenduidig (Figuur 8, Tabel 5). In twee van de tochten was geen significant verschil in de EKR-score tussen de natuurvriendelijke en traditionele oevers aanwezig, in twee tochten was de score significant hoger voor de duurzame oever en in één tocht lag de score significant lager. De preferentie van de macrofaunagemeenschap voor moerassen was op alle meetpunten vergelijkbaar tussen de duurzame/natuurvriendelijke en traditionele oevers (Supplement 3, Figuur S4). In de Kromme Rijn was de EKR-score op slechts één van de meetpunten hoger, maar dit kwam vooral doordat de score op de controlelocatie was afgenomen. Door een gebrek aan monitoringsdata op locaties met een duurzame/natuurvriendelijke oever vóór de aanleg ervan is het niet mogelijk om de verschillen toe te schrijven aan de aanleg van de oevers.

FIGUUR 8

Aandeel meetpunten waar de macrofauna EKR-score voor duurzame/natuurvriendelijke oevers vergelijkbaar, significant hoger of significant lager is dan voor traditionele oevers. Er is een CI-ontwerp gehanteerd als monitoringsontwerp. Door een gebrek aan monitoringsdata op locaties met een duurzame/natuurvriendelijke oever vóór de aanleg hiervan is het niet mogelijk om de gevonden verschillen toe te schrijven aan de maatregel. Details van de vergelijking zijn te vinden in Tabel 5.



TABEL 5

Overzicht van de maatregel-effect-analyses van de macrofaunagemeenschap. Voor de effecten is significantie van de coëfficiënten uit de modellen aangegeven, waarbij * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ en *** $p < 0.001$. Voor de algehele trend is met arcering aangegeven of de trend niet significant (grijs), significant positief (donker groen) of significant negatief (donker rood) was. Voor het direct effect, trend effect en verschil is met arcering aangegeven of het niet significant (grijs, ook indien H1 model niet beter was dan H0 model zonder maatregel), significant positief (donker groen: indien zeker; licht groen: indien time lag, onbekende oorzaak, alleen CI-ontwerp) of negatief (donker rood: indien zeker; licht rood: indien time lag, onbekende oorzaak, alleen CI-ontwerp) was. Details over methode worden gegeven in tabel 2. Conclusie time lags/ onbekende veranderingen zie Supplement 3, Tabel S1. Details oorzaken/opmerkingen zie supplement 3, Figuur S1-S3

Type maatregel	Water	Zijn er time lags/veranderingen door onbekende oorzaak?	Is er een effect?	Wat is het effect op de macrofauna EKR-score?					Oorzaak/opmerkingen o.b.v. notities en milieupreferenties fauna
			Vergelijking modellen AICc	EKR op moment van maatregel	Algehele trend	Direct effect	Trend effect	Verskil met controle	
Hydro-morfologisch beekherstel	Broekloop- Bavelse Leij	n.v.t.	Effect	0.49	0.01*	-0.25**	0.01	n.v.t.	Indicatie van direct negatief effect niet duidelijk. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Tungelroysebeek boven	Gelijk aan maatregel, tweede break-punt 2012 time lag of onbekende oorzaak	Effect	0.34	0.00	-0.13*	0.01*	n.v.t.	Direct negatief effect gerelateerd aan sterke afname stroming. Stroming herstelt daarna naar niveau voor maatregel, maar nog niet in orde. Organische belasting niet in orde.
	Putbeek	Geen break-punten	Geen effect	0.48	0.00	-0.09	0.00	n.v.t.	Geen effect EKR score, maar stroming afgenomen op moment van herstel Putbeek bovenstrooms. Organische belasting relatief laag.
	Azelerbeek	Gelijk aan maatregel	Effect	0.45	0.01*	-0.09**	-0.01	n.v.t.	Direct negatief effect gerelateerd aan kleine afname indicatie voor stroming. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Beneden Regge	Geen break-punten	Geen effect	0.42	0.00	-0.05	0.02	n.v.t.	Lange periode tussen maatregel en data voor maatregel, waardoor effect niet goed te duiden is. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Buurserbeek	Time lag of onbekende verandering 2015	Effect	0.83	0.01	-0.05	-0.08*	n.v.t.	Sterke afname in stroming vanaf 2015 naar niveau niet hersteld traject. Organische belasting neemt ook toe, maar minder benedenstrooms. Deel van time lag herstelmaatregelen of onbekende oorzaak (piekafvoeren, verontreinig uit Duitsland).
	Buurserbeek 2	n.v.t.	Verskil	0.74	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-0.17**	
	Dommel Eindhoven	Geen break-punten	Geen effect	0.29	-0.02	0.13	0.02	n.v.t.	Geen effect EKR score. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Eckeltsebeek	Onbekende verandering voor maatregel 1990	Effect	0.73	0.02**	0.07	-0.04	n.v.t.	Direct positief effect EKR score rond 1990 met duidelijke afname organische belasting, waarvan de oorzaak onbekend is. Geen effect maatregel. Stroming al relatief goed.

Type maatregel	Water	Zijn er time lags/veranderingen door onbekende oorzaak?	Is er een effect?	Wat is het effect op de macrofauna EKR-score?					Oorzaak/opmerkingen o.b.v. notities en milieupreferenties fauna
				Vergelijking modellen AICc	EKR op moment van maatregel	Algehele trend	Direct effect	Trend effect	
Hydro-morfologisch beekherstel	Elsenerbeek	n.v.t.	Geen effect	0.31	-0.01	0.06	0.00	n.v.t.	Geen effect EKR score. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Groenlose Slinge	n.v.t.	Verskil	0.32	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.12*	Stroming beter in herstelde traject dan in controle traject, maar nog niet in orde. Ook organische belasting niet in orde.
	Groenlose Slinge 2	n.v.t.	Verskil	0.32	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.11*	Stroming beter in herstelde traject dan in controle traject, maar nog niet in orde. Ook organische belasting niet in orde.
	Hierdensch beek	Geen break-punten	Geen effect	0.90	0.01*	-0.06	-0.01	n.v.t.	Positieve trend gerelateerd aan vermindering organische belasting gestart voor maatregel. Stroming in orde. Effect maatregel bekend uit andere metingen, maar op basis van dit meetpunt niet te duiden.
	Luntersebeek	n.v.t.	Geen verschil	0.23	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.04	Geen verschil met controle. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Oude Bornsebeek	n.v.t.	Geen effect	0.62	0.01*	-0.25*	0.02	n.v.t.	Positieve trend gerelateerd aan verbetering stroming gestart voor maatregel. Stroming en organische belasting nog niet in orde.
	Tungelroysebeek midden	Geen break-punten	Geen effect	0.38	-0.02	0.26	0.03	n.v.t.	Geen effect EKR score. Organische belasting is afgenomen, terwijl stroming sterker is gaan fluctueren en lijkt te verslechteren.
	Vlootbeek - beneden	Tijdelijk anders, niet meegenomen	Geen effect	0.79	0.00	0.18	-0.03	n.v.t.	Geen effect EKR score. Organische belasting is afgenomen voor maatregel. Stroming in orde met uitzondering droge jaren.
	Dynamisch beekdal	n.v.t.	Geen verschil	0.40	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.03	Geen verschil EKR score. Stroming en organische belasting niet in orde.
	Groote Molenbeek	n.v.t.	Geen effect	0.47	0.03***	-0.03*	-0.01*	n.v.t.	Positieve trend gerelateerd aan vermindering in organische belasting gestart voor maatregel.
Midden Regge	Gelijk aan maatregel	Geen effect	0.32	0.00	0.03	0.01*	n.v.t.	Lange periode tussen maatregel en data voor maatregel, waardoor effect niet goed te duiden is. Stroming en organische belasting niet in orde.	
RWZI + hydro-morfologisch beekherstel	Roode Beek – Mindergangelt	Verandering in relatie met RWZI in 1997	Effect	0.18	0.00	0.17***	0.00	n.v.t.	Direct positief effect gerelateerd aan sterke afname organische belasting na sanering RWZI. Stroming afgenomen sinds maatregel bovenstreams. Geen effect beekherstel, meetpunt niet in nieuwe loop.
	Beerze	Geen break-punten	Geen effect	0.70	0.01	0.08	0.00	-0.27*	Geen effect EKR score. Hersteltraject heeft met name lagere indicatie voor stroming dan referentietraject.
	Groesbeek	Verandering in relatie met RWZI in 2011	Effect	0.30	0.00	0.10*	-0.01*	n.v.t.	Direct positief effect gerelateerd aan vermindering organische belasting na aanpassing RWZI, maar nog niet in orde. Ook stroming niet in orde. Oorzaak trend effect onbekend. Geen effect beekherstel

Type maatregel	Water	Zijn er time lags/veranderingen door onbekende oorzaak?	Is er een effect?	Wat is het effect op de macrofauna EKR-score?					Oorzaak/opmerkingen o.b.v. notities en milieupreferenties fauna
			Vergelijking modellen AICc	EKR op moment van maatregel	Algehele trend	Direct effect	Trend effect	Versil met controle	
RWZI + hydro-morfologisch beekherstel	Tongelreep	Meerdere maatregelen start moeilijk te duiden	Geen effect	0.40	-0.06	0.06	0.08	n.v.t.	Positieve trend en direct positief effect gerelateerd aan sterke afname organische belasting na sanering RWZI (en verdere verbetering rond 2006 door onbekende oorzaak). Stroming relatief goed. Mogelijk kleine verbetering stroming na beekherstel.
	Tongelreep 2	Meerdere maatregelen start moeilijk te duiden	Effect	0.46	0.01**	0.17*	-0.01	n.v.t.	
Duurzame/natuur-vriendelijke oever	Hannie-schafttocht	n.v.t.	Geen verschil	0.07	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.14	Geen verschil EKR score. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
	Lepelaartocht	n.v.t.	Verskil	0.16	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.36**	EKR score beter in herstel dan controle. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting iets lager in herstel, maar beide niet in orde.
	Marknessertocht	n.v.t.	Geen verschil	0.23	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.10	Geen verschil EKR score. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
	Roerdomptocht	n.v.t.	Verskil		n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.30**	EKR score beter in herstel dan controle. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting iets lager in herstel, maar beide niet in orde.
	Steenbankdwarstocht	n.v.t.	Geen verschil	0.04	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-0.02	Geen verschil EKR score. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
	Zwijnstocht	n.v.t.	Verskil	0.53	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-0.25*	EKR score slechter in herstel dan controle. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
	Kromme Rijn	n.v.t.	Geen verschil	0.44	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-0.04	Geen verschil EKR score. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
	Kromme Rijn 2	n.v.t.	Geen verschil	0.40	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.00	Geen verschil EKR score. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
	Kromme Rijn 3	n.v.t.	Verskil	0.40	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.07**	EKR score beter in herstel dan controle, vooral doordat controle is afgenomen. Moeras-overgang vergelijkbaar. Organische belasting niet in orde.
Andere maatregelen (zie Tabel 3)	Melickerven	Geen break-punten	Geen effect	0.42	0.00	0.00	0.00	n.v.t.	Geen verschil EKR score. Verschuiving soorten valt samen met verandering bemonsteringsmethode.
	Chaamse beken	Gelijk aan maatregel	Effect	0.25	-0.01	0.19*	0.01	n.v.t.	Direct effect EKR score in relatie tot stroombaanmaaien, maar stroming en organische belasting nog niet in orde.
	Chaamse beken 2	Geen break-punten	Geen effect	0.36	0.02	-0.01	-0.02	n.v.t.	
	Dommel benedenstrooms	Gelijk aan maatregel	Effect	0.33	-0.03	0.01	0.06*	n.v.t.	Positieve trend effect, gerelateerd aan afname organische belasting en toegenomen stroming maar nog niet in orde. Onduidelijk wat effect van maatregelen bovenstrooms was (Dommel Eindhoven)

Type maatregel	Water	Zijn er time lags/veranderingen door onbekende oorzaak?	Is er een effect?	Wat is het effect op de macrofauna EKR-score?					Oorzaak/opmerkingen o.b.v. notities en milieupreferenties fauna
			Vergelijking modellen AICc	EKR op moment van maatregel	Algehele trend	Direct effect	Trend effect	Verskil met controle	
Andere maatregelen (zie Tabel 3)	Mark en Vliet	Timelag of onbekende verandering 2012	Geen effect	0.39	0.01	-0.02	-0.01	n.v.t.	Geen effect EKR score, maar organische belasting lijkt wel te verminderen in relatie tot maatregel. Stroming niet in orde.
	Mark en Vliet 2	Tijdelijk anders, niet meegenomen	Geen effect	0.44	0.01	-0.06	-0.01	n.v.t.	

►► 5 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Het doel van dit rapport was om door middel van een data-analyse op basis van de gegevens die zijn verzameld met maatregel-effect-monitoring inzicht te krijgen in de succes- en verbeterfactoren van de tot op heden uitgevoerde herstelprojecten. In de onderstaande paragrafen bediscussiëren we de resultaten voor de drie eerder geformuleerde kernvragen:

- 1.) Voor hoeveel en welk type projecten is voldoende data beschikbaar om wetenschappelijk onderbouwde conclusies te trekken over het effect van herstelmaatregelen in oppervlaktewateren?
- 2.) Wat zijn de aanwezige knelpunten in deze waterlichamen en op welke knelpunten hebben de maatregelen mogelijk effect?
- 3.) Wat is het effect van de maatregelen op de algen- en/of macrofaunagemeenschap op de herstelde locaties?

Per kernvraag schetsen we een handelingsperspectief voor het waterbeheer.

5.1 LEENT DE HUIDIGE MONITORINGSDATA ZICH VOOR HET EVALUEREN VAN DE EFFECTIVITEIT VAN HERSTELMAATREGELLEN?

Voor hoeveel en welk type projecten is er voldoende data beschikbaar om wetenschappelijk onderbouwde conclusies te trekken over de effectiviteit van herstelmaatregelen?

In totaal zijn voor 40 wateren verspreid over Nederland gegevens aangeleverd die voldeden aan de criteria om een maatregel-effect-analyse uit te kunnen voeren. Het type maatregelen waarvan voldoende data beschikbaar was om statistisch onderbouwde conclusies te trekken kwam overeen met de bevindingen uit een evaluatie van meer dan 200 gedocumenteerde herstelprojecten in Nederland van 2006 t/m 2019 (Van Noord *et al.* 2022). Het merendeel van de data betrof de volgende situaties:

- 1.) Omvangrijke pakketten aan nutriënten-reducerende maatregelen in meren en plassen (vooral gericht op interne belasting), waarvan de effectiviteit werd afgeleid op basis van de algengemeenschap op basis van een BA-monitoringsontwerp.
- 2.) Diverse hydromorfologische herstelmaatregelen in beken, al dan niet in combinatie met aanpassingen aan RWZIs, waarvan de effectiviteit gemeten werd aan de hand van de macrofaunagemeenschap op basis van een BA-monitoringsontwerp.
- 3.) De aanleg van duurzame/natuurvriendelijke oevers in tochten en één langzaam stromend riviertje, waarvan de effectiviteit werd afgeleid aan de hand van de macrofaunagemeenschap op basis van een CI-monitoringsontwerp.

Hoewel het meeste inzicht in de effecten van maatregel(en) kan worden verkregen met het BACI-ontwerp (Smokorowski & Randall 2017, Wauchope *et al.*, 2021), voldeden de meetgegevens van slechts één water aan een volledig BACI-ontwerp. Er ontbraken veelal geschikte controlelocaties. Indien er wel een controlelocatie beschikbaar was ontbraken er metingen die gedaan waren voor de maatregel was uitgevoerd. Als gevolg daarvan was vaak alleen een analyse van een BA-ontwerp of een CI-ontwerp mogelijk. Op basis van een BA-ontwerp valt het echter niet uit te sluiten of de waargenomen veranderingen wel door de herstelmaatregel(en) zijn veroorzaakt, of in een groter deel van het watersysteem hebben plaatsgevonden. Bij een CI-ontwerp kunnen de waargenomen verschillen worden veroorzaakt doordat er al verschillen in de milieu-omstandigheden (typologisch van aard) tussen de locaties aanwezig waren, waardoor ook verschillen tussen de controlelocaties en maatregellocaties ontstaan.

Een ander aspect dat naar voren kwam was dat het gebruik van gemiddelden in de tijd om de effectiviteit vast te stellen tot onjuiste conclusies kan leiden. Door de veranderingen in de waargenomen trends in de tijd mee te nemen (trend-effecten) kunnen de resultaten makkelijker worden geïnterpreteerd. Weer geldt echter dat alleen een BACI-ontwerp kan corrigeren voor algehele veranderingen die losstaan van de maatregelen.

Het is aan te bevelen te investeren in het uitvoeren van projectmonitoring volgens het BACI-ontwerp, zodat beter in beeld kan worden gebracht welke maatregelen wel en niet werken in specifieke situaties. Op basis van deze kennis kunnen in de toekomst de meest effectieve en kostenefficiënte maatregelen worden ingezet. Het is hierbij niet noodzakelijk op iedere locatie waar maatregelen worden genomen hetzelfde monitoringsprogramma uit te voeren. Wanneer het functioneren van aquatische ecosystemen en de achterliggende mechanismen in beeld wordt gebracht op representatieve locaties, dan vergemakkelijkt dit de extrapolatie van de bevindingen naar andere locaties binnen een beheergebied of regio. Richtlijnen voor doelgerichte maatregel-effectmonitoring staan omschreven in het KIWK rapport 'Advies voor het monitoren van de ecologische waterkwaliteit' (Van der Lee *et al.* 2022a).

5.2 HOE VERHOUDEN DE UITGEVOERDE MAATREGELEN ZICH TOT DE KNELPUNTEN IN EEN WATERLICHAAM?

Wat zijn de knelpunten die in deze waterlichamen aanwezig zijn en op welke knelpunten hebben de maatregelen mogelijk effect?

Uit de SGBPen komt naar voren dat de onderzochte waterlichamen onder meervoudige stress staan. In veel gevallen zijn de voorgestelde of uitgevoerde maatregelen echter gericht op slechts een beperkt aantal knelpunten, zoals het verminderen van fysieke wijzigingen en hydrologische veranderingen in het watersysteem, zonder andere relevante knelpunten, zoals diffuse belasting met nutriënten, aan te pakken. Verder zijn een deel van de nutriënten-reducerende maatregelen in de meren en plassen gericht op het verminderen van interne belasting, terwijl de bron niet altijd wordt weggenomen.

Maatregelen zijn vanuit een ecologisch perspectief alleen effectief wanneer ze alle knelpunten wegnemen die verhinderen dat de gewenste (doel)soorten zich vestigen of in aantal toenemen. Indien slechts de invloed van één stressor wordt verkleind zonder de andere stressoren aan te pakken, of wanneer de bron van een stressor niet aangepakt wordt, verhindert dit het optreden van herstel. Wanneer er knelpunten liggen op verschillende vlakken, bijvoorbeeld in zowel de hydrologie (te weinig stroming) als in de stoffen (effluentlozing) in een beek, dan moeten beide aangepakt worden om een substantiële ecologische verbetering te bewerkstelligen. Zijn er maatregelen genomen om de stroming te bevorderen, dan moeten structuren (dood hout) in de watergang zorgen voor substraatvariatie, waarvoor weer bomen op de oever nodig zijn om organisch materiaal aan te voeren enzovoorts. Daarnaast is het van belang de toevoer van stoffen (bijv. nutriënten) in het waterbeheergebied in beeld te krijgen, zodat de bron van het probleem kan worden aangepakt. Kortom, het herstel bereikt de optimale effectiviteit alleen wanneer voor een integrale herstelstrategie gekozen wordt die rekening houdt met alle knelpunten voor de doelsoorten.

Een ecologische systeemanalyse kan een belangrijk hulpmiddel vormen om voldoende inzicht te krijgen in het systeem functioneren. Deze analyse brengt alle stressoren gekwantificeerd in beeld en geeft richting aan de maatregelen die nodig zijn om effectief te ecologische kwaliteit te verbeteren. Omdat organismegroepen ieder op hun eigen schaal in ruimte en tijd functioneren, omvat een ecologische systeemanalyse altijd meerdere schaalniveaus. Tegelijkertijd kan een ecologische systeemanalyse in beeld brengen welke doelen realistisch zijn. Gezien de hiërarchie in stressoren kan het niet kunnen aanpakken van een bepaalde stressor leiden tot een lager doelbereik. Het is belangrijk dit vooraf in beeld te hebben om zo de verwachtingen scherp te krijgen. Hoe een ecologische systeemanalyse is uit te voeren, staan uitgebreid omschreven in het KIWK rapport 'Ecologische systeem benadering en ecologische systeem analyse' (Verdonschot & Verdonschot 2021).

5.3 WAT VOOR BEELD GEEFT DE DATA VAN DE HUIDIGE MAATREGELEFFECTIVITEIT?

Wat is de effectiviteit van de maatregelen op de algen- en/of macrofaunagemeenschap?

Effect van nutriëntenreducerende maatregelen op de fytoplanktongemeenschap

In alle onderzochte wateren met nutriënten-reducerende maatregelen daalden de fosforgehalten en (blauwalgen) chlorofyl- concentraties, hoewel in één water deze daling al voor de maatregelen was gestart en in twee wateren het effect slechts tijdelijk was omdat de bron niet was weggenomen. Doordat in veel projecten meerdere maatregelen tegelijk zijn genomen, was het niet mogelijk precies te duiden welke maatregel wel en welke niet en in welke mate heeft bijgedragen aan de waargenomen veranderingen.

De effecten van de nutriëntenreducerende maatregelen op de fytoplanktongemeenschap waren niet eenvoudig te kwantificeren, doordat het optreden van algenbloei zeer variabel bleek over tijd en er veel variatie was in de taxonomische niveaus die gehanteerd werden om de algengemeenschap te karakteriseren. De effecten die in de notities naar voren kwamen waren een vermindering in de relatieve abundantie van 'negatief scorende' (blauw)algen op de KRW-maatlatten en een toename van taxa met een hogere EKR-score. Hoewel de situatie wel is verbeterd, wijst het optreden van massale algenontwikkeling op (nog) eutrofe omstandigheden in de onderzochte meren en plassen (Phillips *et al.* 2003, Ptacnik *et al.* 2008).

Mogelijk kunnen zeer frequente metingen van (blauwalgen) chlorofyl- concentraties efficiënter inzicht geven in de patronen van algenbloei en daarmee eutrofiëring over tijd dan de momentopnames van de fytoplanktongemeenschap zoals momenteel voor de KRW worden uitgevoerd. Een nadeel is echter dat met enkel het gebruik van chlorofyl- concentraties om de kwaliteit te beoordelen niet naar het effect van eutrofiëring op specifieke soorten gekeken wordt die ieder hun eigen indicatiewaarden kunnen hebben voor andere milieufactoren dan voedselrijkdom. Ook is het belangrijk dat er ook naar hogere planten, andere algen (benthisch) en dieren gekeken wordt. Deze organismen kunnen tevens als indicator dienen voor langere termijn processen, iets waarvoor het zeer snel op milieuveranderingen reagerende fytoplankton minder geschikt is.

Effect van hydromorfologisch beekherstel (soms met aanpassingen RWZIs) op de macrofaunagemeenschap

Op basis van de onderzochte projecten werden geen directe effecten en trend-effecten op de macrofaunagemeenschap (uitgedrukt in de EKR-score) gedetecteerd die volledig terug te herleiden waren naar de uitgevoerde hydromorfologische beekherstelmaatregelen. Uit de analyse kwam naar voren dat de hydromorfologische processen (te weinig afvoer, en daarmee stroming) en waterkwaliteit in de meeste wateren nog niet voldoende op orde waren gebracht, waardoor een duidelijk herstel in relatie tot de genomen maatregelen uit leek te blijven.

Vaak spelen de beperkende invloeden die ervoor zorgen dat de doelen nog niet gehaald worden op grote schaal en zijn deze diffuus, zoals verstoring van de hydrologie door drainage en wateronttrekking en in- en afspoeling van voedingsstoffen uit landbouwpercelen. Pas wanneer deze invloed wordt opgeheven of sterker wordt teruggedrongen zijn significante ecologische effecten te verwachten.

In een deel van de wateren, waarvan vanaf de jaren '80 en '90 was gemeten, was wel een algehele positieve trend in de EKR-score van de macrofauna zichtbaar. Naast de herstelmaatregelen in de beek zelf waren in deze stroomgebieden ook andere ingrepen gedaan die zorgden voor een verbeterde waterkwaliteit. Zo leidde in twee situaties een aanpassing aan de RWZIs in midden jaren '90 tot een grote waterkwaliteitsverbetering (afname in organische belasting) die duidelijk zichtbaar was in de vorm van een groot effect op de samenstelling van de macrofaunagemeenschap in de beken.

Mogelijk zijn in de andere beken waar deze positieve trend aanwezig was ook andere maatregelen in dezelfde periode uitgevoerd, zoals het saneren van rioolwateroverstorten of veranderingen in de mestgift op percelen. Belangrijk was de constatering dat in de Tongelreep na de waterkwaliteitsverbetering de combinatie met grootschalige herinrichting, een aanpassing van het beheer en later kleinschalige maatregelen tot het doorzetten van de positieve trend leidde. Het was niet goed mogelijk de bijdrage van de individuele maatregelen volledig te scheiden, omdat deze binnen dezelfde periode werden uitgevoerd, maar voor de kleinschalige maatregelen grind en hout kon bijvoorbeeld wel individueel worden vastgesteld dat doelsoorten hiervan profiteerden (Veldhuis *et al.* 2019, Verdonschot *et al.* 2021)

Het door elkaar lopen van effecten maakte de complexiteit van de interpretatie van de effecten echter groot, maar liet wel zien dat met een grootschalige stroomgebiedsbrede benadering successen geboekt kunnen worden. Meer achtergrond over in hoeverre lokale ingrepen bijdragen aan de ecologische effecten in stroomgebieden, waaronder in de Tongelreep, worden gegeven in het KIWK rapport 'Doorwerking van lokaal beekherstel op de ecologische kwaliteit van het hele stroomgebied' (Van der Lee *et al.* 2022b).

Effect van duurzame/natuurvriendelijke oevers op de macrofaunagemeenschap

De effecten van de aanleg van duurzame/natuurvriendelijke oevers op de macrofaunagemeenschap (uitgedrukt in de EKR-score) zijn alleen onderzocht aan de hand van een CI-ontwerp. Het verschil tussen de duurzame/natuurvriendelijke en traditionele oevers was niet eenduidig voor de verschillende locaties. Mogelijk overschaduwde een hoge organische belasting en eutrofiëring de potentieel positieve effecten van duurzame/natuurvriendelijke oevers, omdat deze maatregel vaak wordt toegepast in sterk veranderde wateren in intensief agrarische gebieden. Om de randvoorwaarden voor een optimale effectiviteit van de aanleg van duurzame/natuurvriendelijke oevers beter in beeld te krijgen is een uitgebreidere monitoringsopzet nodig, waarbij de aanleg van duurzame/natuurvriendelijke oevers in wateren met verschillende milieu-omstandigheden (typologie) met een BACI-ontwerp wordt gemonitord. Het ontbreken van monitoring voorafgaand aan de aanleg van de oevers hindert nu de interpretatie.

Tot slot komt uit de analyses naar voren dat lokale maatregelen niet altijd leiden tot de gewenste verbetering in de ecologie. **Naast het niet wegnemen van alle voor de organismen relevante knelpunten kan ook een tijdsaspect een rol spelen.** Zowel het milieu als de organismen hebben tijd nodig om zich na uitvoering van een maatregel te ontwikkelen, waardoor het een periode duurt voordat een de nieuwe toestand is bereikt (Roni *et al.*, 2008, Jones and Schmitz, 2009). Er moet daarnaast rekening worden gehouden met de kans en mogelijkheden dat soorten terugkeren. Dit kan aanleiding zijn om soorten te herintroduceren of landschappelijke barrières die verspreiding beperken ook in het herstelproject mee te nemen (zie KIWK factsheet ‘Tijdsvertraging (time-lags) in regionale wateren’ Verdonschot & Verdonschot 2021).

5.4 HOE VERDER; VAN EEN LOKALE AANPAK NAAR EEN GROOTSCHALIGE INTEGRALE BENADERING VAN KNELPUNTEN

Maatregelen zijn vanuit een ecologisch perspectief alleen effectief wanneer ze alle knelpunten wegnemen die verhinderen dat de gewenste soorten zich vestigen of in aantal toenemen. Blijft herstel uit na uitvoering van maatregelen dan zijn mogelijk niet alle knelpunten (ofwel stressoren) weggenomen, zijn niet de juiste milieu- of habitatomstandigheden gecreëerd of is de connectiviteit niet op orde (Hering *et al.*, 2015). We schatten op basis van deze en vergelijkbare studies binnen de KIWK in dat de mate van maatregelleffectiviteit sterk gestuurd wordt door **de mate waarin juist op een grotere schaal opererende stressoren zijn weggenomen.** Vaak wordt een lokale aanpak gevolgd waardoor deze factoren buiten beschouwing worden gelaten. Om in de toekomst grotere ecologische successen te boeken, betekent dit dat maatregelen op grote ruimtelijke schaal dienen te worden uitgevoerd omdat zo de stressoren op gebiedsniveau (van stroomgebied tot polder) kunnen worden weggenomen of verminderd.

Voor aanbevelingen om knelpunten grootschalig te kunnen aanpakken verwijzen we naar de volgende KIWK factsheets:

- ‘Terugdringen forsforbelasting’ (Verdonschot & Verdonschot 2020a)
- ‘Stroming en waterbeweging’ (Verdonschot & Verdonschot 2020b)
- ‘Basisafvoer verhogen’ (Verdonschot & Verdonschot 2020c)
- ‘Droogte’ (Verdonschot & Verdonschot, 2020d)
- ‘Habitat heterogeniteit’ (Van der Lee *et al.* 2020)

Aanvullend kunnen lokale en kleinschalige maatregelen hierbij versterkend werken en het herstel versnellen. Meer informatie over kleinschalige maatregelen en de gedachte achter het toepassen ervan is te vinden in onder andere Verdonschot *et al.* (2017, 2021). Zo geeft het inbrengen van dood hout in een beek nadat er niet meer geschoond wordt hetzelfde effect als het natuurlijk laten vormen van houtpakketten door invallend hout uit het beekbegeleidend bos, alleen verloopt dit proces (en daarmee de beschikbaarheid voor organismen) in het eerste geval vele malen voorspoediger. De maatregel zorgt hierdoor voor versneld herstel en werkt dus als het ware als een vliegwiel waardoor soorten sneller kunnen terugkeren.

▶▶ 6 LITERATUUR

- Bleeker, M. A. K., & Verdonschot, P. F. M. (2007). Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen: V maatregelwijzer waterbeheer (No. 1521). Alterra.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological methods & research*, 33(2), 261-304.
- Chandler, R., & Scott, M. (2011). *Statistical methods for trend detection and analysis in the environmental sciences*. John Wiley & Sons: Chichester.
- De Jong, R., Verbesselt, J., Zeileis, A., & Schaepman, M. E. (2013). Shifts in global vegetation activity trends. *Remote Sensing*, 5(3), 1117-1133.
- 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.
- Evaluatie van gedocumenteerde herstelprojecten in Nederland van 2008 t/m 2019. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 21 pp.
- Hering, D., Carvalho, L., Argillier, C., Beklioglu, M., Borja, A., Cardoso, A. C., ... & Birk, S. (2015). Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress-An introduction to the MARS project. *Science of the total environment*, 503, 10-21.
- Hermans, J. T., & van der Mast, G. (1996). De Beegderheide: landschap van heide en vennen. *Natuurhistorisch Maandblad*, 85(10), 187-191.
- Jones, H. P., & Schmitz, O. J. (2009). Rapid recovery of damaged ecosystems. *PloS one*, 4(5), e5653.
- Larsen, A. E., Meng, K., & Kendall, B. E. (2019). Causal analysis in control-impact ecological studies with observational data. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(7), 924-934.
- Lemm, J. U., Venohr, M., Globevnik, L., Stefanidis, K., Panagopoulos, Y., van Gils, J., ... & Birk, S. (2021). Multiple stressors determine river ecological status at the European scale: Towards an integrated understanding of river status deterioration. *Global Change Biology*, 27(9), 1962-1975.
- Lu, W., Font, R. A., Cheng, S., Wang, J., & Kollmann, J. (2019). Assessing the context and ecological effects of river restoration-A meta-analysis. *Ecological Engineering*, 136, 30-37.
- Mazerolle, M. J. (2020) AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.3-1.
- Nilsson, C., Aradottir, A. L., Hagen, D., Halldórsson, G., Høegh, K., Mitchell, R. J., ... & Wilson, S. D. (2016). Evaluating the process of ecological restoration. *Ecology and Society*, 21(1).
- PBL. (2020). Waterkwaliteit KRW. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1438-kwaliteit-oppervlaktewater-krw>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Roni, P., Hanson, K., & Beechie, T. (2008). Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat rehabilitation techniques. *North American Journal of Fisheries Management*, 28(3), 856-890.
- Smits, M. (2011). Herstel Melickerven. Monitoringsrapportage 1986 - 2010. Ontwikkeling van het Melickerven na de herinrichting van 1995. Sittard; Intern rapport nr. 2011-03.
- Smokorowski, K. E., & Randall, R. G. (2017). Cautions on using the Before-After-Control-Impact ontwerp in environmental effects monitoring programs. *Facets*, 2(1), 212-232.
- Smokorowski, K. E., & Randall, R. G. (2017). Cautions on using the Before-After-Control-Impact ontwerp in environmental effects monitoring programs. *Facets*, 2(1), 212-232.
- Šporka, F., Vlek, H. E., Bulankova, E., & Krno, I. J. (2006). Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates. In: Furse, M.T., Hering, D., Brabec, K., Buffagni, A., Sandin, L., Verdonschot, P.F.M. (eds). *The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods*. Springer, Dordrecht, pp. 543-555.
- Stewart-Oaten, A., Murdoch, W. W., & Parker, K. R. (1986). Environmental impact assessment: "Pseudoreplication" in time?. *Ecology*, 67(4), 929-940.
- Stewart-Oaten, A., Murdoch, W. W., & Parker, K. R. (1986). Environmental impact assessment: "Pseudoreplication" in time?. *Ecology*, 67(4), 929-940.

- Transeau, E. N. (1916). The periodicity of freshwater algae. *American Journal of Botany*, 3(3), 121-133.
- Van Dam, H., Melisie, E.J., du Bois, T., & Bruning, C. (2007). Herstelplan voor de Grootte Melanen (Bergen op Zoom). In opdracht van: Waterschap Brabantse Delta. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur. Amsterdam. 64 p.
- Van der Molen, D.T., Pot, R., Evers, C.H.M., van Herpen, F.C.J. van Nieuwerburgh, L.L.J. (red.) (2018) Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn water 2021-2027. STOWA rapportnummer 2018-49, STOWA, Amersfoort.
- van der Lee G.H., Bakker, A., Verdonschot R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2022b). Doorwerking van lokaal beekherstel op de ecologische kwaliteit van het hele stroomgebied. Een analyse van vier stroomgebieden. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- van der Lee G.H., Verdonschot R.C.M. en Verdonschot P.F.M. (2022a). Advies voor het monitoren van de ecologische waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- van der Lee, Verdonschot R.C.M. & Verdonschot P.F.M. (2020). Factsheet: Habitatheterogeniteit. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie KIWK, Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Van Engelen, D. (2005). Kosteneffectiviteitsanalyse de Leijen. Universiteit Twente, Cartesius Instituut.
- Van Noord, A., de Vries, J., Verdonschot, P.F.M. (2022). Effectiviteit van enkelvoudige maatregelen:
- Van Tent (2021). krw: KRW-toetsing. R package version 0.2.2.
- Verberk, W. C. E. P., Verdonschot, P. F. M., Haaren, T. V., & Maanen, B. V. (2012). Milieu-en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwater-macrofauna. STOWA.
- Velthuis, M., Borst, A., Scheepens, M., Barten, I., Dees, A., Moeleker, M., Brugmans, B., Verdonschot, R. (2019) De ecologische meerwaarde van het aanbrengen van grindbedden in de Tongelreep. H2O online
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2020a). Factsheet: Fosforbelasting. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2020b). Factsheet: Stroming en waterbeweging. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2020c). Factsheet: Basisafvoer verhogen. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021). Ecologische systeem benadering en ecologische systeem analyse. Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021). Tijdvertraging (time-lags) in regionale wateren. Kennisdocument Kennisimpuls waterkwaliteit, Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot R.C.M. & Verdonschot P.F.M. (2020d). Factsheet: Droogte. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot, P. F. (1990). Ecological characterization of surface waters in the province of Overijssel, The Netherlands. PhD thesis. Wageningen University and Research, Wageningen.
- Verdonschot, P., Verdonschot, R., Bauwens, J., Brugmans, B., Dees, A., Kits, M., ... & Roovers, S. (2017). Kennisoverzicht kleinschalige maatregelen in brabantse beken (No. 2017-16). Stowa.
- Verdonschot, R. C. M., Maas, G., & Penning, E. (2020). Monitoringstrategieën voor het meten van de effectiviteit van beekherstelprojecten. Deltafact Lumbricus, onderdeel Boeiende Beekdalen door Wageningen Environmental Research en Deltares.
- Verdonschot, R., Penning, E., Berends, K., Schoelynck, J., Reitsema, R., & Verdonschot, P. (2021). Aangepast beheer en onderhoud en kleinschalige maatregelen in beken. VBNE, Vereniging van Bos-en Natuurterreineigenaren.
- Vlek, H. E. (2006). Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 29(4), 1971-1975.

- Waajen, G. W., Van Bruggen, N. C., Pires, L. M. D., Lengkeek, W., & Lürling, M. (2016). Biomanipulation with quagga mussels (*Dreissena rostriformis bugensis*) to control harmful algal blooms in eutrophic urban ponds. *Ecological engineering*, 90, 141-150.
- Waajen, G., Lürling, M., & van de Sande, R. (2019). The unfulfilled promise of urban Lake Kleine Melanen (The Netherlands): Diagnostics, experiment on reduction of sediment P-release and in-lake restoration. *Lake and reservoir management*, 35(1), 8-24.
- Wauchope, H. S., Amano, T., Geldmann, J., Johnston, A., Simmons, B. I., Sutherland, W. J., & Jones, J. P. (2021). Evaluating impact using time-series data. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(3), 196-205.
- 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), 1-38.

►► SUPPLEMENT 1

TABEL S1

Overzicht aangeleverde locaties die niet zijn meegenomen in de maatreefeffect analyse op macrofauna en- of algen en reden waarom locatie is afgefallen. De vereisten waren 1. minimaal drie metingen zijn genomen vóór het uitvoeren van de eerste maatregel op het hersteltraject en/of minimaal drie metingen zijn genomen ná het uitvoeren van de eerste maatregel op een controletraject, en 2. minimaal vier metingen zijn genomen ná het uitvoeren van de maatregel op het hersteltraject.

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap Aa en Maas	Astense Aa	Beekherstel	2012			2000-2019	2019	2015, 2018, 2019	2014, 2017, 2019	Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Aa en Maas	Bakelse Aa	Beekherstel	2014	2006-2011		1996, 2000 - 2005, 2012, 2016	1990 - 1999, 2012, 2016, 2019	2017, 2019	2016, 2019	Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Aa en Maas	Vierlingsbeekse Molenbeek	Beekherstel	2015	1990, 1996, 1999 - 2013	1990 - 1998, 2010 - 2013			2016, 2018		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Aa en Maas	Snelle Loop	Stuwen verwijderd, houtpakketten	2011					2014, 2017	2014, 2017	Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap de Brabantse Delta	De Blaak	Onderzoekspilot	2018				2008 - 2010, 2016, 2018		2018	Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap de Brabantse Delta	Aa of Weerijds	Meandering	begin deze eeuw					2010, 2013, 2016, 2019		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap de Brabantse Delta	Bijloop	Meandering, stoppen onderhoud	?					2017, 2018, 2019		Te weinig meetjaren (maatregeldatum onbekend)
Waterschap de Brabantse Delta	Boven Donge	Meandering, stoppen onderhoud	2014					2017, 2018, 2019		Te weinig meetjaren na maatregel

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap de Brabantse Delta	Rietkreek	Kreekherstel	2009	2002, 2005, 2008				2011, 2014, 2017		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap de Brabantse Delta	Lange water	Kreekherstel	2009	2002, 2005, 2008	2002, 2005, 2008			2011, 2014, 2017	2011, 2014, 2017	Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap de Brabantse Delta	EVZ Turfvaart	Inrichten EVZ	2010	1990 - 1996, 2000, 2003, 2006, 2010				2013, 2016, 2019		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap de Brabantse Delta	EVZ Kleine Beek	Inrichten EVZ, poelen en flauwe oevers aan te leggen	2010					2013, 2016, 2019		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap de Brabantse Delta	EVZ Eldersche Turfvaart	inrichten EVZ	2009-2010	1992, 1995, 2002, 2003, 2005, 2008				2011, 2014		Te weinig meetjaren na maatregel
Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	Lange Weide	Onderwaterdrainage en dynamisch peilbeheer	2017						2017	Te weinig meetjaren na maatregel
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Wormer- en Jisperveld	Grootschalig baggeren	2012-2015	1983, 1986, 1988 - 1995, 1997, 2000-2011	1986, 1998 -1997, 2000 -2011			2014, 2017	2014, 2018	Te weinig meetjaren na maatregel
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Park van Luna Heerhugowaard	Aanleg nieuwe plas	2002-2009					2012, 2015, 2018	2012 - 2019	Aanleg plas valt niet onder maatregelen
Waterschap Limburg	Bocholtzerbeek	Disfunctioneren bergzinkbasin	2006-2009	1998, 2003	1998			2006, 2009, 2012, 2015		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Limburg	Sourethbeek saneren lozing	Opheffen lozing	2004	1998	1998, 2003			2006, 2009, 2012, 2015		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Hoogheemraadschap van Rijnland	Mooie Nel	Baggeren	?					2010, 2013, 2016, 2019		Te weinig meetjaren (maatregeldatum onbekend)
Hoogheemraadschap van Rijnland	Nieuwkoopse plassen	Isolotie aalscholvers, defosfatering rond, NVO, peil	2011-2013	2010				2013, 2016, 2019		Te weinig meetjaren na maatregel + te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Hoogheemraadschap van Rijnland	Reeuwijkse plassen	Baggeren	?					2010, 2012, 2014		Te weinig meetjaren (maatregeldatum onbekend)
Hoogheemraadschap van Rijnland	Gouwe polder	Baggeren, maaien	?					2011, 2014, 2017		Te weinig meetjaren (maatregeldatum onbekend)
Hoogheemraadschap van Rijnland	Meijendel	Baggeren	?					2011, 2014, 2017		Te weinig meetjaren (maatregeldatum onbekend)
Hoogheemraadschap van Rijnland	Polder Reeuwijk	Baggeren	?					2010, 2012, 2014		Te weinig meetjaren (maatregeldatum onbekend)
Waterschap Rivierland	Uitwijk - Poortweg - Wijde Alm	NVO	2002					2009, 2014-2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierland	Rijswijk - Elleboog - Oude Alm	NVO	1996					2009, 2014, 2017		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierland	Dussen - Peerenboomsesteeg - A-watergang	NVO	2007					2010, 2014-2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierland	Waardhuizen - Almweg - Wijde Alm	NVO	2002					2011, 2013		Te weinig meetjaren na maatregel + te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierland	Culemborg - Diefdijk - Culemborgse Vliet	NVO	2013	2010, 2011, 2013				2014, 2017		Te weinig meetjaren na maatregel

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap Riviereland	Beesd - Beschuinse - Nieuwe Graaf	NVO	2014	2012				2015, 2018		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Ophemert - Steendertse Uitweg - Watergang	NVO	2000					2009, 2014 -2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Leuven - Kerkweg - tweede middelste wetering	NVO	2012	2009				2014 - 2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Tricht - Appeldijk - Linge	NVO	2005					2009, 2012, 2014, 2017		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Meteren - Voetakkerweg - A-watergang	NVO	2015	2009						Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Vuren - Kooiweg - A-watergang	NVO	2007					2012, 2015, 2018		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Geldermalsen - overlaat - Sloot	NVO	2007					2011		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Lexmond - Lakerveld - Groote Vliet	NVO	2002					2010, 2014, 2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Leerdam - Acquoysemeer - A-watergang	NVO	2008					2010		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Doornenburg - Krakkedel - Linge	NVO	1997					2009, 2014, 2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap Riviereland	Valburg - Heterense Straat - Verloren Zeeg	NVO	2001					2014, 2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Echteld - Broekdijksestraat - Linge	NVO	2004					2010, 2014 -2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Arnhem - Marsingel - A-watergang	NVO	2010	2009						Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Poederloijen - Hoekse weg - A-watergang	NVO	2016	2009, 2014, 2015				2017, 2018		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Riviereland	Rossum - Schoofbandweg - A-watergang	NVO	2015	2014				2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Riviereland	Groesbeek - Lage Horst - Drulsebeek	NVO	2006					2009, 2012, 2014, 2017		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Beek-Ubbergen - Kapitteldijk - Grenswatering	NVO	2006			2019, 2020		2009 - 2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Persingen - Dijkgraaf van Wijckweg - Het meer	NVO	2008					2009, 2012, 2014, 2017		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Riviereland	Ubbergen - Dijkgraaf van Wijckweg - 't Meertje	NVO	2004					2015-2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap Rivierenland	De Horst - Reestraat - Groesbeek	NVO	2014	2012				2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Rivierenland	Erlecom - Sint Hubertusweg - Het Meertje	NVO	2003					2014		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Rivierenland	Overasselt - Oude Graafseweg - Zeedijkse Leigraaf	NVO	2003					2014 - 2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierenland	Wijchen - Rijdsestraat - Balgooyse Wetering	NVO	2003					2009		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Rivierenland	Alphen - Sluisweg - Grote Wetering	NVO	2014	2010, 2014				2015 - 2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierenland	Hernen - Flerde- weg - Leursche Leigraaf	NVO	2010			2010, 2014 -2018		2016		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Rivierenland	Bergharen - Stompending - Nieuwe Wetering	NVO	2008					2009, 2014 -2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rivierenland	Wijchen - Geitweg - A-watergang	NVO	2009					2011, 2013, 2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Rivierenland	Nijmegen - Ulandse Straat - Blauwe Wetering	NVO	2014	2010, 2014				2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap Rivierenland	Wijchen - Geitweg - A-watergang	NVO	2004					2014, 2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Rivierenland	Horsssen - Moltenweg - Het Goor	NVO	2014	2011, 2013				2016		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Rivierenland	Hernen - Flerdeweg - "Meergraaf"	NVO	2012					2014, 2017		Te weinig meetjaren voor en na maatregel /controle
Waterschap Vallei en Veluwe	Eerbeeksebeek	Lengteprofiel, beschroeiing, leemlaag, omleggen papierfabriek	(2011) 2013			1980, 1987, 2002, 2005, 2011		2013, 2015, 2018		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Vallei en Veluwe	Egelbeek	Profiel smaller/saneren	2010-2011			1980, 1997, 2003, 2006, 2010		2012, 2014, 2018		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Vechtstromen	Gammelkerbeek	Verwijderen stuwen, verkleinen zomerbed, herstel natuurlijke inundaties, herstel rivierloop en herstel dwarsprofiel	2013-2014	1991, 1994, 2011				2014, 2017, 2019		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Vechtstromen	Hagmolenbeek	Verwijderen stuwen, verkleinen zomerbed, herstel natuurlijke inundaties, herstel rivierloop en herstel dwarsprofiel	2011-2013	2004, 2006, 2007, 2010		1984 - 1988, 1999, 2008 -2019		2016		Te weinig meetjaren na maatregel

Waterschap	Wateren	Welke maatregel(en) zijn genomen?	Wanneer zijn de maatregel(en) uitgevoerd?	Meetjaren voor de maatregel(en)?		Meetjaren in een controle (vergelijkbaar zonder maatregel(en) b.v. bovenstrooms) locatie?		Meetjaren na de maatregel(en)?		Reden
				macrofauna	algen	macrofauna	algen	macrofauna	algen	
Waterschap Rijn en IJssel	BovenSlinge	Meandering, stuwten verwijderen, verondieping, aanleg riffles	2015			2010, 2017, 2019		2017, 2018, 2019		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Rijn en IJssel	Berkel	Meandering	2014	2001, 2008, 2009, 2012				2015, 2016, 2018		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Rijn en IJssel	Leerinkbeek	Meandering, verondieping, ontwikkeling, bosoever	2005-2009			2014, 2017		2011, 2014-2017		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rijn en IJssel	Ramsbeek1	Meandering, verondieping, ontwikkeling, bosoever, vispassages	2008	1990-1992, 1999, 2006				2011, 2013, 2014		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Rijn en IJssel	Ramsbeek2	Meandering, verondieping, ontwikkeling, bosoever, vispassages	2008	2000, 2001				2011, 2013, 2014, 2016, 2017		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle
Waterschap Rijn en IJssel	Dortherbeek	Meandering, verondieping, NVOs	2012	1999, 2007, 2008, 2011				2015, 2016		Te weinig meetjaren na maatregel
Waterschap Rijn en IJssel	Schipbeek	NVOs	1998					2001, 2012, 2015, 2018		Te weinig meetjaren voor maatregel/ controle

TABEL S2

Maatregelen die een mogelijke bijdrage leveren tegen knelpunten uit de SGBP-en op basis van de stuurfactoren in Bleeker & Verdonschot (2007).

Maatregelen	Hydro-morfologie					Puntbronnen				Diffuse bronnen				Overig						
	Hydrologische verandering	Dammen, dijken kribben	Fysieke wijziging	Overige wateronttrekking	Verdwijnen watersysteem	Riooloverstorten	Rioolwaterzuiveringsinstallaties	IPPC industrieën	Overige puntbronnen	Landbouwactiviteiten	Atmosferische depositie	Run-off (regenwaterriolen)	Infrastructuur	Overige diffuse bronnen	Historische verontreiniging	Introductie van exoten	Verplaatsen dieren en planten	Zwerfvuul/illegalie stortplaatsen	Scheepvaart	Overige antropogene belasting
Accoladeprofiel (twee-fasebedding) aanleggen	X		X																	
Baggeren/ sediment saneren om toxische stoffen te verwijderen															X					
Bergingscapaciteit vergroten polder	X								X											
Bio-manipulatie																	X			
Bos ontwikkeling (houtige vegetatie aanleggen)	X		X							X										
Bufferzone aanleggen										X										
Dood hout/ grindinbreng om substraat variatie te verbeteren			X																	
Drainage verminderen/verwijderen	X									X										
Effluent infiltreren	X																			
Geïsoleerde, zuiverende perceelsloot aanleggen										X										
Hydrologische bufferzone aanleggen	X			X																
Industriële lozingen saneren								X												
Infiltratie regenwater bevorderen											X	X								
Meandering aanleggen	X		X																	
Moerasfilter aanleggen						X	X	X	X	X										
Natuurvriendelijk/duurzame oever sloten			X																	
Natuurlijk peilbeheer	X																			
Nevengeul aanleggen	X																			
Onderhoud extensiveren/optimaliseren			X																	

Maatregelen	Hydro-morfologie					Puntbronnen				Diffuse bronnen					Overig					
	Hydrologische verandering	Dammen, dijken kribben	Fysieke wijziging	Overige wateronttrekking	Verdwijnen watersysteem	Riooloverstorten	Rioolwaterzuiveringsinstallaties	IPPC industrieën	Overige puntbronnen	Landbouwactiviteiten	Atmosferische depositie	Run-off (regenwaterriolen)	Infrastructuur	Overige diffuse bronnen	Historische verontreiniging	Introductie van exoten	Verplaatsen dieren en planten	Zwerfvuil/illegale stortplaatsen	Scheepvaart	Overige antropogene belasting
Oorspronkelijk stroomgebied herstellen	X																			
Oppervlakkige afstroom tegen gaan											X									
Profielverdediging verwijderen			X																	
Retentiegebied vergroten	X																			
Riooloverstorten verwijderen/saneren						X														
RWZI aanpassen							X													
Toevoer meststoffen verminderen (bijv. aanpassen teelt, verminderen bodemverdichting)									X											
Vastleggen in de bodem														X						
Verwijderen stuwen		X																		
Waterinlaat stoppen	X							X												
Wateronttrekking stoppen/verminderen				X																
Zandsuppletie	X		X																	
Accoladeprofiel (twee-fasebedding) aanleggen	X		X																	
Baggeren/ sediment saneren om toxische stoffen te verwijderen														X						
Bergingscapaciteit vergroten polder, zodat natuurlijk peilbeheer kan worden gehandhaafd	X							X												
Bio-manipulatie																X				
Bos ontwikkeling (houtige vegetatie aanleggen)	X		X																	
Bufferzone aanleggen									X											
Dood hout/ grindinbreng om substraat variatie te verbeteren			X																	

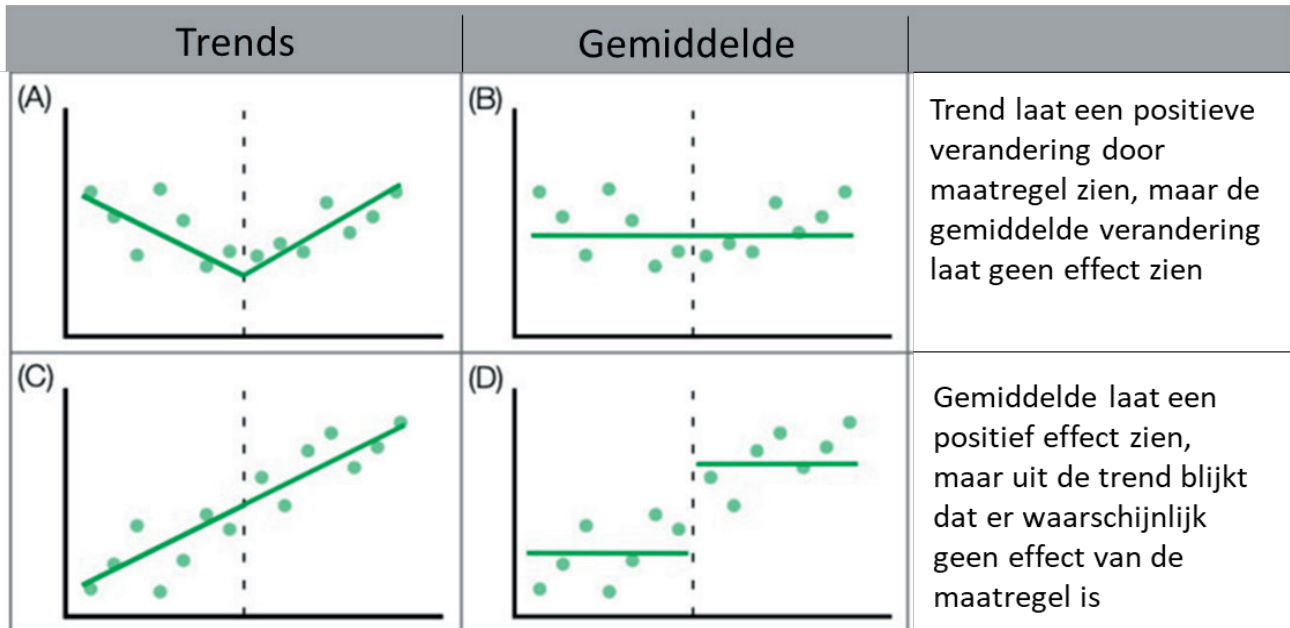
TABEL S3

Overzicht van de maatregel-effect-analyse die is toegepast, waarbij de keuze van de analysetechniek afhankelijk was van de beschikbare data. Des te minder data er beschikbaar was, des te onzekerder zijn de uitkomsten van de analyse.

Aantal meetjaren	< 10 meetjaren <i>Onzekerheid: time lags, mogelijk ander moment van verandering</i>	> 10 meetjaren
Monitoringsontwerp CI: controle-impact(maatregel) <i>Onzekerheid: typologische verschillen, verandering deel van reeds aanwezige trends</i>	<u>Is er een significant verschil tussen controle en maatregel locatie?</u> $H_1 = \text{Waarde} \sim \text{CI}$ Verschil: CI coëfficiënt $p < 0.05$	<i>Mogelijke time-lags niet evident zonder data voor maatregel, zie methode <10 meetjaar</i>
BA: voor-na-impact(maatregel) <i>Onzekerheid: verandering deel van grootschalige ontwikkelingen in gebied</i>	<u>Heeft er verandering opgetreden?</u> Vergelijking prestatie twee modellen $H_0 = \text{Waarde} \sim \text{Jaar}$ $H_1 = \text{Waarde} \sim \text{BA} * \text{Jaar}$ $\text{AIC}_{C1} < \text{AIC}_{C0}$ <u>Zo ja, wat is het effect?</u> $H_1 = \text{Waarde} \sim \text{BA} * \text{Jaar}$ Waarbij: Direct effect: BA coëfficiënt Trend effect: BA*Jaar coëfficiënt	<u>Zijn er time lags of veranderingen door onbekende oorzaken opgetreden?</u> Bepaling structurele veranderingen in trend met 'change-point' analyse Zo ja, dan de 'voor' en 'na'-jaren aanpassen aan het moment van de breakpunten (change-points). Vervolgens analyse idem BA-ontwerp <10 meetjaren.
BACI: voor-na-controle-impact(maatregel)	<u>Heeft er verandering opgetreden?</u> Vergelijking prestatie twee modellen $H_0 = \text{Waarde} \sim \text{CI} * \text{Jaar}$ $H_1 = \text{Waarde} \sim \text{CI} * \text{BA} * \text{Jaar}$ $\text{AIC}_{C1} < \text{AIC}_{C0}$ <u>Zo ja, wat is het effect?</u> $H_1 = \text{Waarde} \sim \text{CI} * \text{BA} * \text{Jaar}$ Waarbij: Direct effect: BA*CI coëfficiënt Trend effect: BA*CI*Jaar coëfficiënt Als CI*Jaar niet significant is, dan geen verandering in de controle	<u>Zijn er time lags of veranderingen door onbekende oorzaken opgetreden?</u> Bepaling structurele veranderingen in trend met 'change-point' analyse Zo ja, dan de 'voor' en 'na'-jaren aanpassen aan het moment van de breakpunten (change-points). Vervolgens analyse idem BACI-ontwerp <10 meetjaren.

FIGUUR S1

Voorbeeld van hoe een bepaling van maatreefeffect op basis van gemiddelde tot onjuiste conclusies kunnen leiden (aangepast naar Wauchope et al. 2021).



►► SUPPLEMENT 2

TABEL S1

Maatregelen en knelpuntenanalyse voor de locaties opgenomen in de maatregeleffect analyse gebaseerd op de stroomgebiedbeheerplannen (SGBP) uit de periode 2015-2021 en 2022-2027 en indien het geen KRW-waterlichaam betrof op basis van andere bronnen. 1 = Significante belastingen (pressures); 2 = Hydromorfologische belastingen die zijn verwerkt in het GEP, behoren niet tot significante belastingen. Maatregelen zijn: M = Meander, P = profiel, NVO = Natuurvriendelijke oever, Du = duurzame oever, St = Verwijderen stuwen, R = Retentie gebied, +B = Bos ontwikkeling, KM = kleinschalige maatregelen waaronder dood hout/ grind, Z = Zand- suppletie, RWZI = RWZI aanpassen, -Inl = Waterinlaat stoppen, +Inl = Doorspoelen, RO = Riiooloverstort verwijderen, MF = Moerasfilter, Sa = Baggeren/ sediment saneren, BioM =Bio- manipulatie, zoals wegvangen vissen en mosselfilter, VB = Vastleggen in bodem, O = Extensiveren schonen/ onderhoud, -B =Verwijderen bomen.

Waterlichaam	Maatregel-pakket	SGBP/Bron	Hydro-morfologie					Puntbronnen				Diffuse bronnen				Overig					
			Hydrologische verandering	Dammen, dijken kribben	Fysieke wijziging	Overige wateronttrekking	Verdwijnen watersysteem	Riiooloverstorten	Riioolwaterzuiveringsinstallaties	IPPC industrieën	Overige puntbronnen	Landbouwactiviteiten	Atmosferische depositie	Run-off (regenwaterriolen)	Infrastructuur	Overige diffuse bronnen	Historische verontreiniging	Introductie van exoten	Verplaatsen dieren en planten	Zwerfvuil/illegale stortplaatsen	Scheepvaart
Kromme Rijn	NVO	NL14_02	1,2	1,2	1,2				1			1	1	1	1		1	1			1
Geestmerambacht	-Inl	NL12_401	1	1	1							1	1				1		1		1
Bergse Plassen	RWZI, Sa, VB, BioM	NL39_07a	2		2	1		1				1	1		1	1					1
Dynamisch beekdal	M, R	NL38_1D	1,2	1,2	1,2				1			1					1				1
Broekloop- Bavelse Leij	M	NL25_50	1,2	2	1,2							1			1						1
Mark en Vliet	+Inl	NL25_16	1,2	1,2	1,2		1	1		1		1	1	1	1		1	1		1	1
Kleine Melanen	-Inl, Sa, VB, BioM, NVO	Waaijen <i>et al.</i> 2019	1	1	1					1						1					1
Grote Melanen	Sa, VB, BioM, NVO	Van Dam <i>et al.</i> 2007	1	1	1			1													1
Linievijver	BioM	Waaijen <i>et al.</i> 2016	1	1	1	1								1							1
Chaamse Beken	O	NL25_51	1,2	1,2	1,2			1	1			1					1				1

Waterlichaam	Maatregel-pakket	SGBP/Bron	Hydro-morfologie					Puntbronnen				Diffuse bronnen				Overig						
			Hydrologische verandering	Dammen, dijken kribben	Fysieke wijziging	Overige wateronttrekking	Verwijnen watersysteem	Riooloverstorten	Rioolwaterzuiveringsinstallaties	IPPC industrieën	Overige puntbronnen	Landbouwactiviteiten	Atmosferische depositie	Run-off (regenwaterriolen)	Infrastructuur	Overige diffuse bronnen	Historische verontreiniging	Introductie van exoten	Verplaatsen dieren en planten	Zwerfvuil/ilegale stortplaatsen	Scheepvaart	Overige antropogene belasting
Beerze	RWZI, M, P, O	NL27_B_1_2	1,2	1	1,2		1		1				1			1						
Dommel benedenstreams	RWZI	NL99_6_B0_BE_2	1,2	1	1,2				1	1			1		1							1
Dommel Eindhoven	M, O, Sa	NL27_B0_1_2	2	1	2		1	1			1	1	1	1	1						1	1
Tongelreep	RWZI, M, KM, O	NL27_T_1_2	1	1	1				1			1	1	1	1							
Beegderven	Sa, -B	Hermans (1996)											1									1
Melickerven	Sa, -B	Smits (2011)	1			1							1	1				1			1	
Eckeltsebeek	MP	NL60_EC-KELTBK	2	2	2			1			1	1										1
Tungelroysebeek	M, Sa	NL60_TUN-GELBK	2	1,2	1,2			1		1		1	1	1	1							1
Roode Beek - Mindergangelt	RWZI, M, +B	NL60_RODE-BRUN	1,2	1,2	1,2			1					1									1
Putbeek	P, St	NL60_PUTB-PEPI	1,2					1					1									1
Vlootbeek - beneden	M, St	NL60_VL00-BEN	1,2	1,2	1,2			1					1									1
Groote Molenbeek	M, P	NL57_GRMB	1,2	1,2	1,2			1					1	1		1						1
Buurserbeek	M, St, +B	NL07_0029	2	2	1,2						1	1	1	1								1
Groenlose Slinge	MP, St, R	NL07_0020	1,2	2	1			1	1		1	1	1	1								
Groesbeek	RWZI, M	NL09_03_2	2	1,2	1,2					1			1		1							1
Hierdensche beek	M, R, Z, KM, O	NL43_03	2	2	2								1									1

Waterlichaam	Maatregel-pakket	SGBP/Bron	Hydro-morfologie					Puntbronnen				Diffuse bronnen				Overig					
			Hydrologische verandering	Dammen, dijken kribben	Fysieke wijziging	Overige wateronttrekking	Verwijnen watersysteem	Riooloverstorten	Rioolwaterzuiveringsinstallaties	IPPC industrieën	Overige puntbronnen	Landbouwactiviteiten	Atmosferische depositie	Run-off (regenwaterriolen)	Infrastructuur	Overige diffuse bronnen	Historische verontreiniging	Introductie van exoten	Verplaatsen dieren en planten	Zwerfvuil/illegale stortplaatsen	Scheepvaart
Luntersebeek	MP, NVO, St, +B	NL43_17	2	1,2	1,2			1				1		1							1
Azelerbeek	P, R	NL44_azelerbeek	1,2	1,2	1,2		1	1			1	1	1	1		1					1
Elsenerbeek	M, P, St, R, O	NL44_elsenerbeek	1,2	2	1,2			1				1	1	1							
Oude Bornsebeek	M, P, St, R, +B, O	NL44_bornsebeek	1,2	1,2	1,2		1	1	1			1	1	1	1						1
Beneden Regge	M, P, NVO, R	NL44_benedenreg	1,2	1,2	1,2		1		1			1	1								1
Midden Regge	R	NL44_middenregge	1,2	1,2	1,2		1	1	1			1	1	1	1						1
Marknessertocht	Du	NL37_LM-NOP_2013	2	1,2	1,2			1			1	1	1			1					1
Zwijnstocht	Du	NL37_Q_2013	1,2	1,2	1,2							1	1			1					1
Hannieschafttocht	Du	NL37_LM-NOP_2013	2	1,2	1,2			1			1	1	1			1					1
Steenbankdwarstocht	Du	NL37_LM-NOP_2013	2	1,2	1,2			1			1	1	1			1					1
Lepelaartocht	Du	NL37_FGIK_2013	2	1,2	1,2							1	1			1					1
Roerdomptocht	Du	NL37_FGIK_2013	2	1,2	1,2							1	1			1					1
De Leijen	RO, MF, BioM	Van Engelen (2005)	1	1	1			1	1			1		1							
Nanneviid	-Inl, MF, VB, BioM	NL02V5a	1,2	1	1							1									1

►► SUPPLEMENT 3

TABEL S1

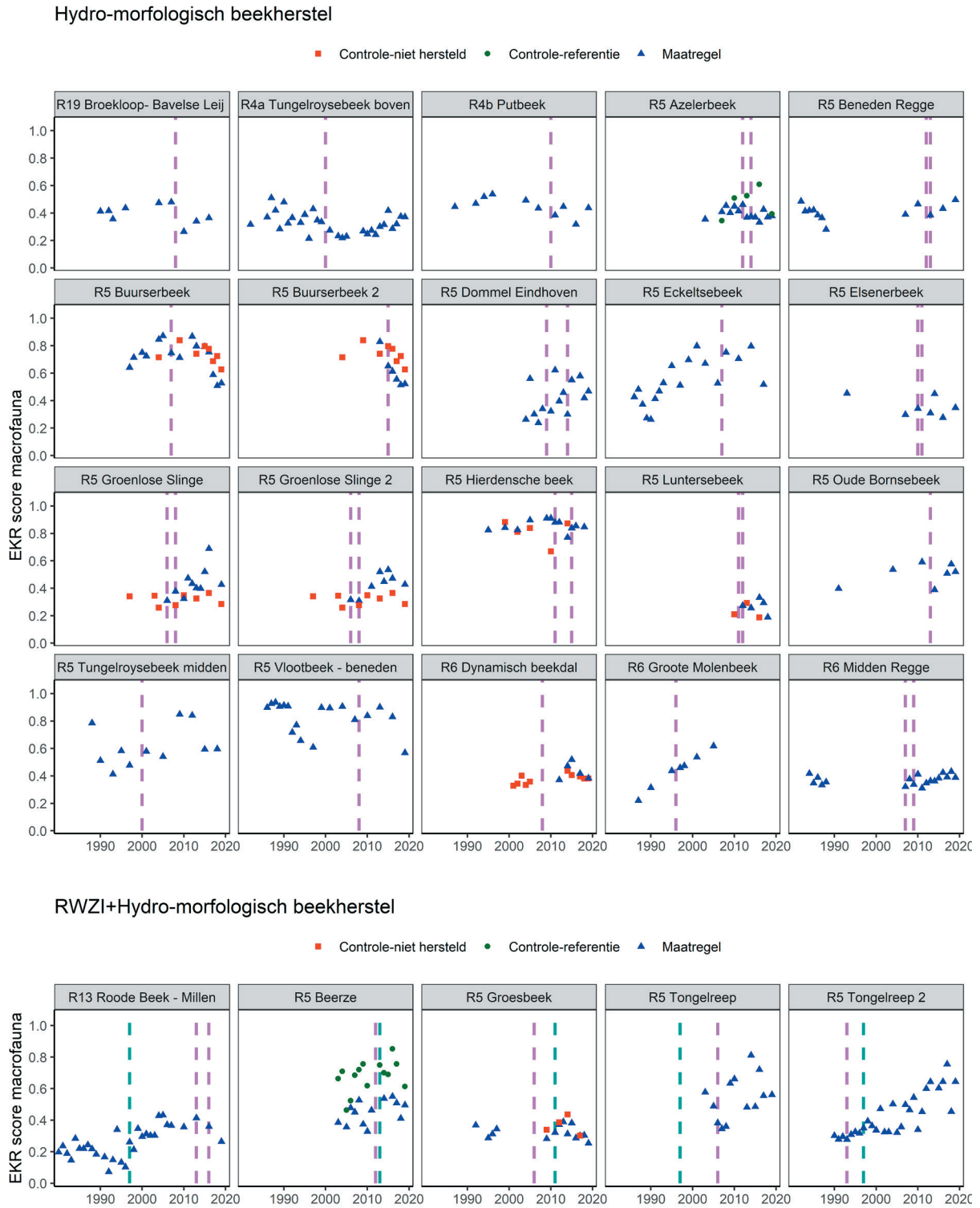
Overzicht van structurele veranderingen (breakpunten) in het gemiddelde en de trend over tijd bepaald per locatie

Locatie	Maatregel jaar	Zijn er time lags/veranderingen door onbekende oorzaak?		
		Breakpunten o.b.v. trend	Breakpunten o.b.v. gemiddelde	Conclusie
Broekloop- Bavelse Leij	2008	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Tungelroysebeek boven	2000	2001 [1998-2003]	1999 [1998-2009] 2012 [2009-2013]	Idem maatregel, tweede breakpunt 2012 deel van verandering of onbekende oorzaak
Putbeek	2010	-	-	Geen breakpunten
Azelerbeek	2012-2014	2012 [2011-2014]	2012 [2008-2019]	Idem maatregel
Beneden Regge	2012-2013	-	-	Geen breakpunten
Buurserbeek	2007	-	2015 [2007-2017]	Timelag of onbekende verandering 2015
Buurserbeek 2	2015	n.v.t.	n.v.t.	
Dommel Eindhoven	2009-2014	-	-	Geen breakpunten
Eckeltsebeek	2007	1990 [1989-1991]	1992 [1990-1993]	Onbekende verandering voor maatregel 1990
Elsenerbeek	2010-2011	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Groenlose Slinge	2006-2008	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Groenlose Slinge 2	2006-2008	-	-	Geen breakpunten
Hierdensche beek	2011-2015	-	-	Geen breakpunten
Luntersebeek	2011-2012	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Oude Bornsebeek	2013	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Tungelroysebeek midden	2000	-	-	Geen breakpunten
Vlootbeek - beneden	2008	1997 [1994-1999]	1991 [1990-1992] 1997 [1988-2001]	Tijdelijk anders, niet meegenomen
Dynamisch beekdal	2008	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Groote Molenbeek	1996	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Midden Regge	2007-2009	-	2014 [2012-2019]	Idem maatregel
Roode Beek - Minder-gangelt	1997 (RWZI), 2013-2016	1998 [1997-2001]	1998 [1996-2000]	Verandering in relatie met RWZI in 1997
Beerze	2012-2013	-	-	Geen breakpunten
Groesbeek	2006, 2011 (RWZI)	2011 [1995-2012]	2015 [2013-2019]	Verandering in relatie met RWZI in 2011
Tongelreep	1997 (RWZI), 2006	2008 [2007-2009]	2008 [2003-2013]	Meerdere maatregelen start moeilijk te duiden
Tongelreep 2	1993, 1997 (RWZI)	-	2003 [1995-2006] 2011 [2008-2013]	Meerdere maatregelen start moeilijk te duiden
Hannie-schafttocht	1999	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Lepelaartocht	Onbekend	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Marknessertocht	2007	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Lepelaartocht	Onbekend	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Steenbankdwarstocht	1999	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Locatie	Maatregel jaar	Zijn er time lags/veranderingen door onbekende oorzaak?		
		Breakpunten o.b.v. trend	Breakpunten o.b.v. gemiddelde	Conclusie
Zwijnstocht	2007	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Kromme Rijn	2007	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Kromme Rijn 2	1994	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Kromme Rijn 3	1994	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Melickerven	1994	-	-	Geen breakpunten
Chaamse beken	1995	1993 [1992-1994]	1996 [1995-1998]	Idem maatregel
Chaamse beken 2	1995	-	-	Geen breakpunten
Dommel benedenstrooms	2008	-	2012 [2010-2016]	Idem maatregel
Mark en Vliet	2005	-	2012 [2011-2019]	Timelag of onbekende verandering 2012
Mark en Vliet 2	2005	2000 [1998-2003] 2006 [2005-2008]	-	Tijdelijk anders, niet meegenomen

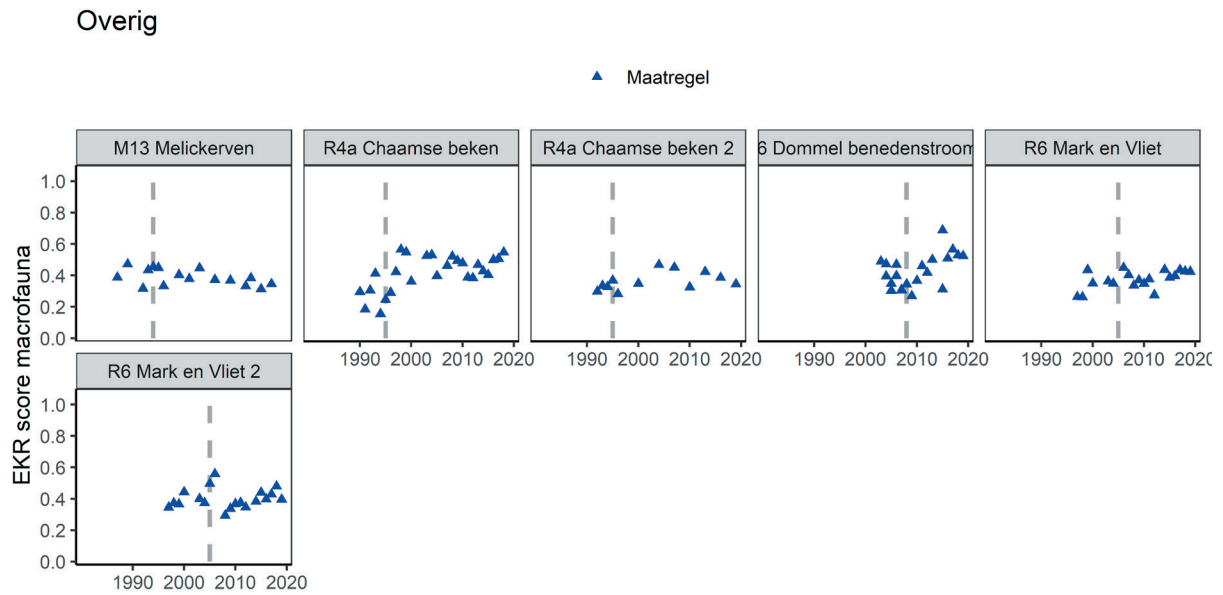
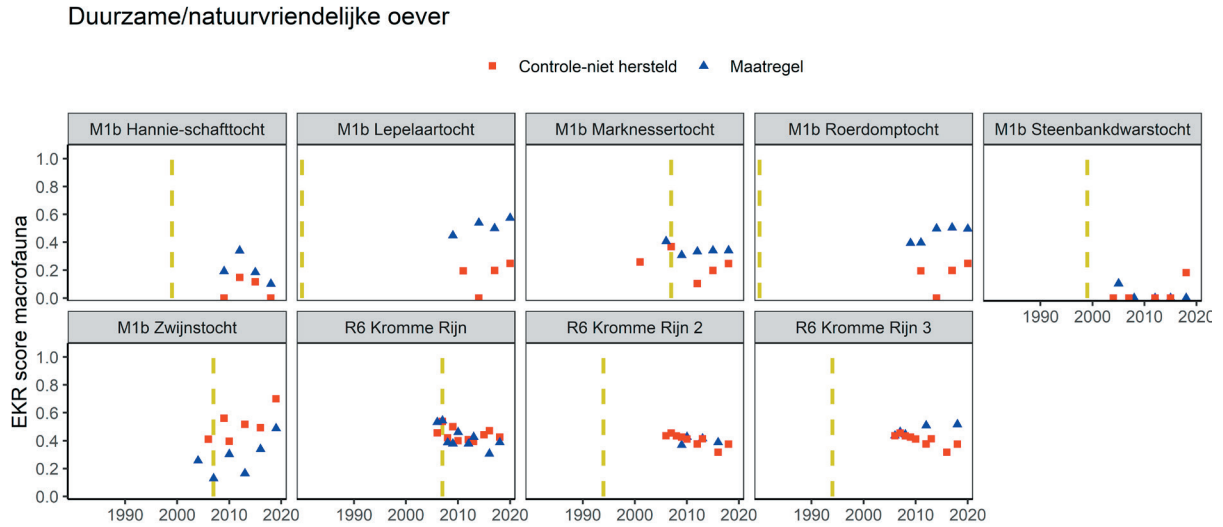
FIGUUR S1 (DEEL 1)

EKR score van de macrofaunagemeenschap op basis van de KRW maatlatten per meetpunt. Roze gestreepte lijnen geven moment van hydro-morfologisch beekherstel aan (bij twee lijnen gaat het op een periode) en turquoise gestreepte lijnen geven moment van aanpassing in RWZI aan. Details van de maatregelen in tabel 3.



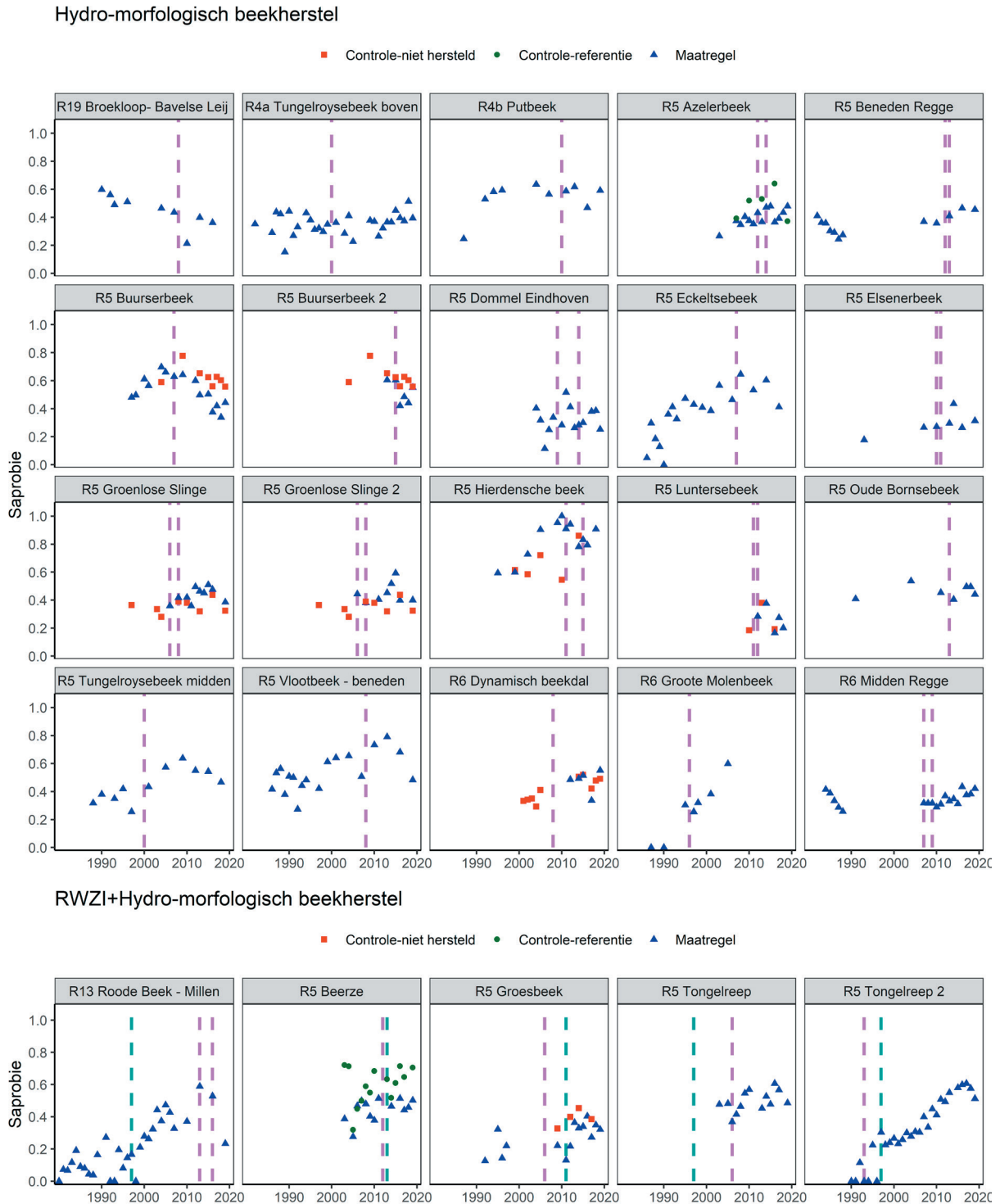
FIGUUR S1 (DEEL 2)

EKR score van de macrofaunagemeenschap op basis van de KRW maatlatten per meetpunt. Gele gestreepte lijnen geven moment van aanleg duurzame/natuurvriendelijke oever aan. Grijze gestreepte lijnen geven moment van overige maatregelen aan. Details van de maatregelen in tabel 3.



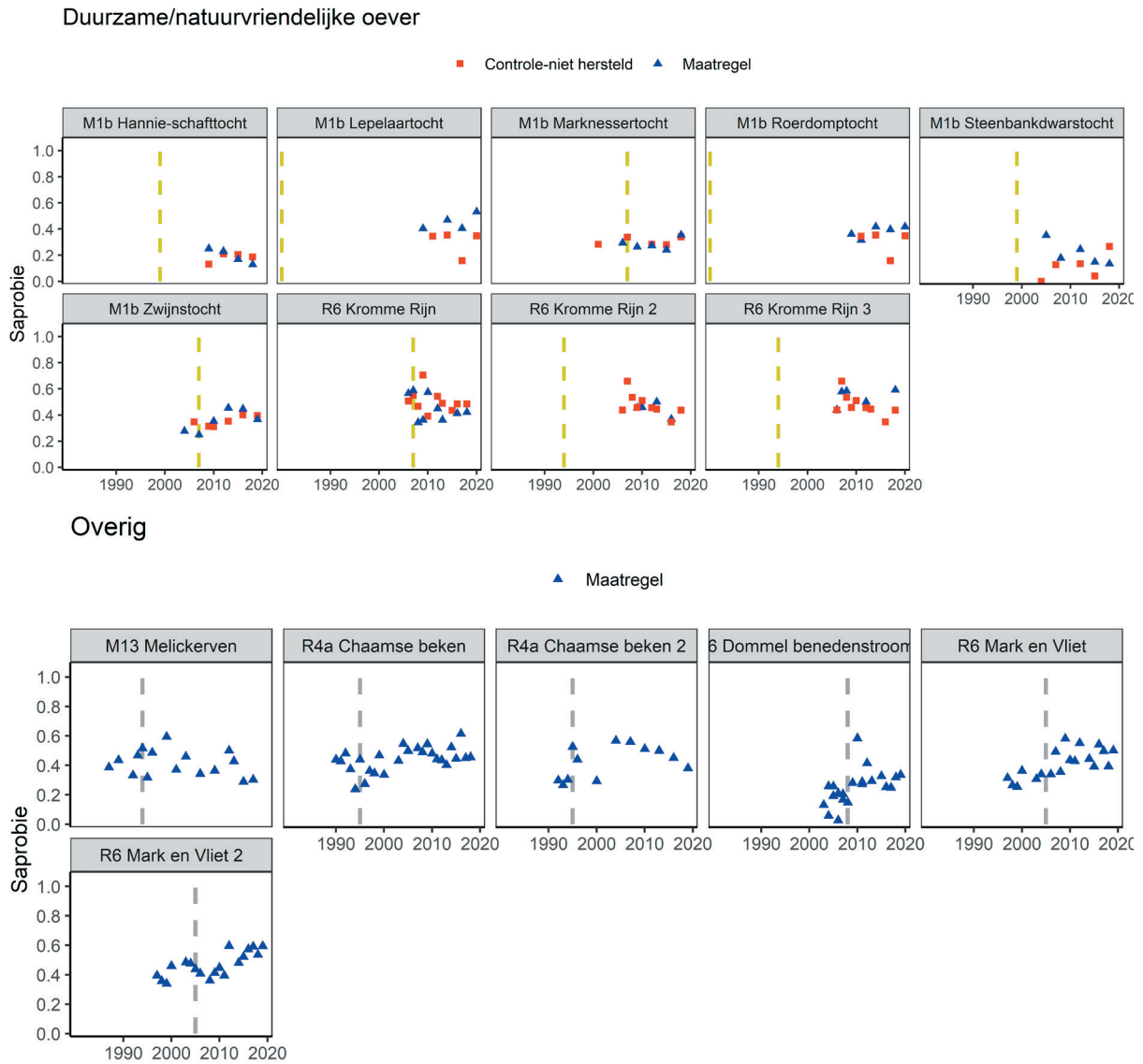
FIGUUR S2 (DEEL 1)

Diagnostische stressscore per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Gestreepte lijnen geven moment van maatregelen(periode) aan, waarbij roze = hydro-morfologisch beekherstel, turquoise = aanpassing in RWZI, geel = duurzame/natuurvriendelijke oever, grijs = overige maatregelen. Details van de maatregelen in tabel 3.



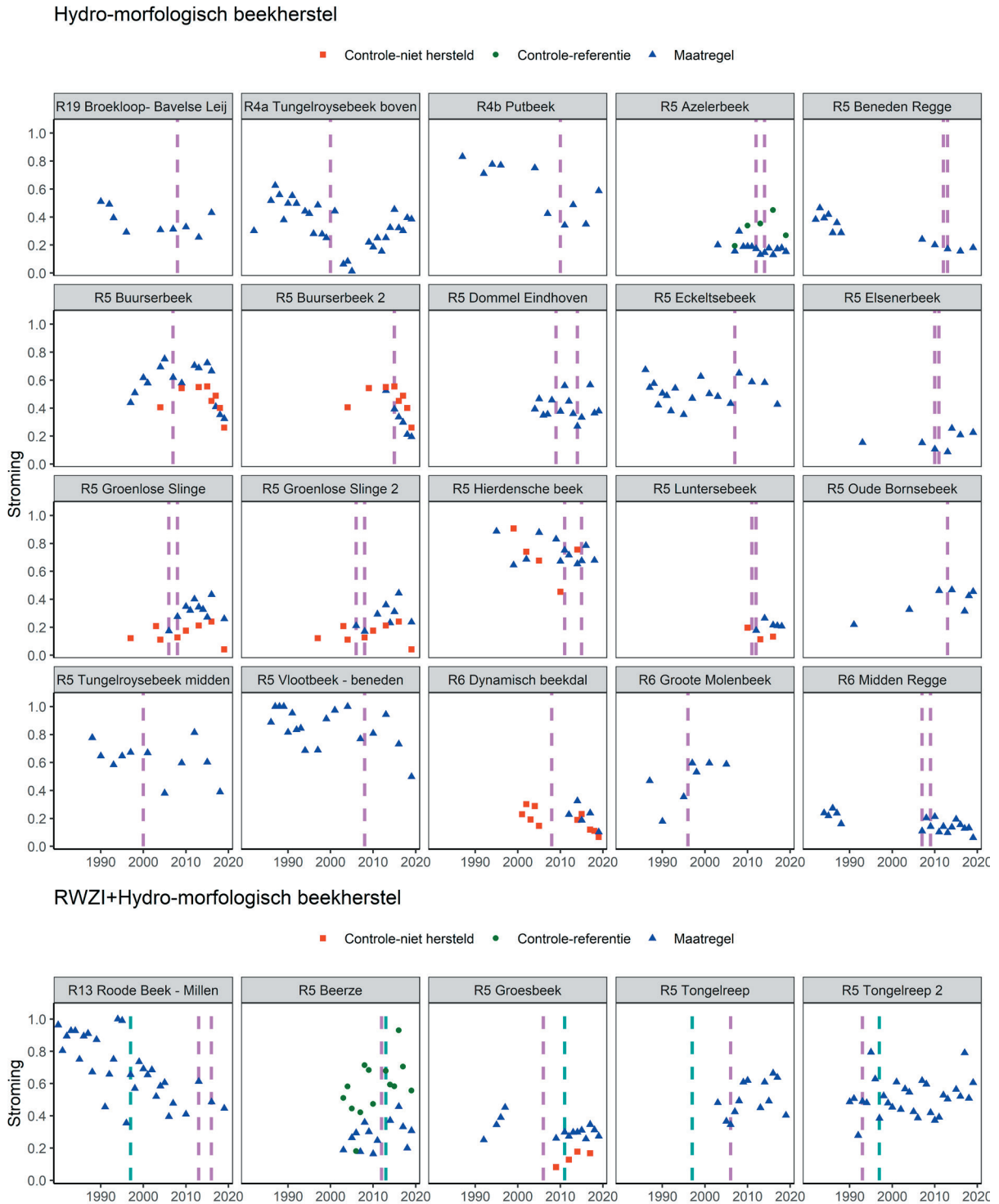
FIGUUR S2 (DEEL 2)

Diagnostische stressscore per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Gestreepte lijnen geven moment van maatregelen(periode) aan, waarbij roze = hydro-morfologisch beekherstel, turquoise = aanpassing in RWZI, geel = duurzame/natuurvriendelijke oever, grijs = overige maatregelen. Details van de maatregelen in tabel 3.



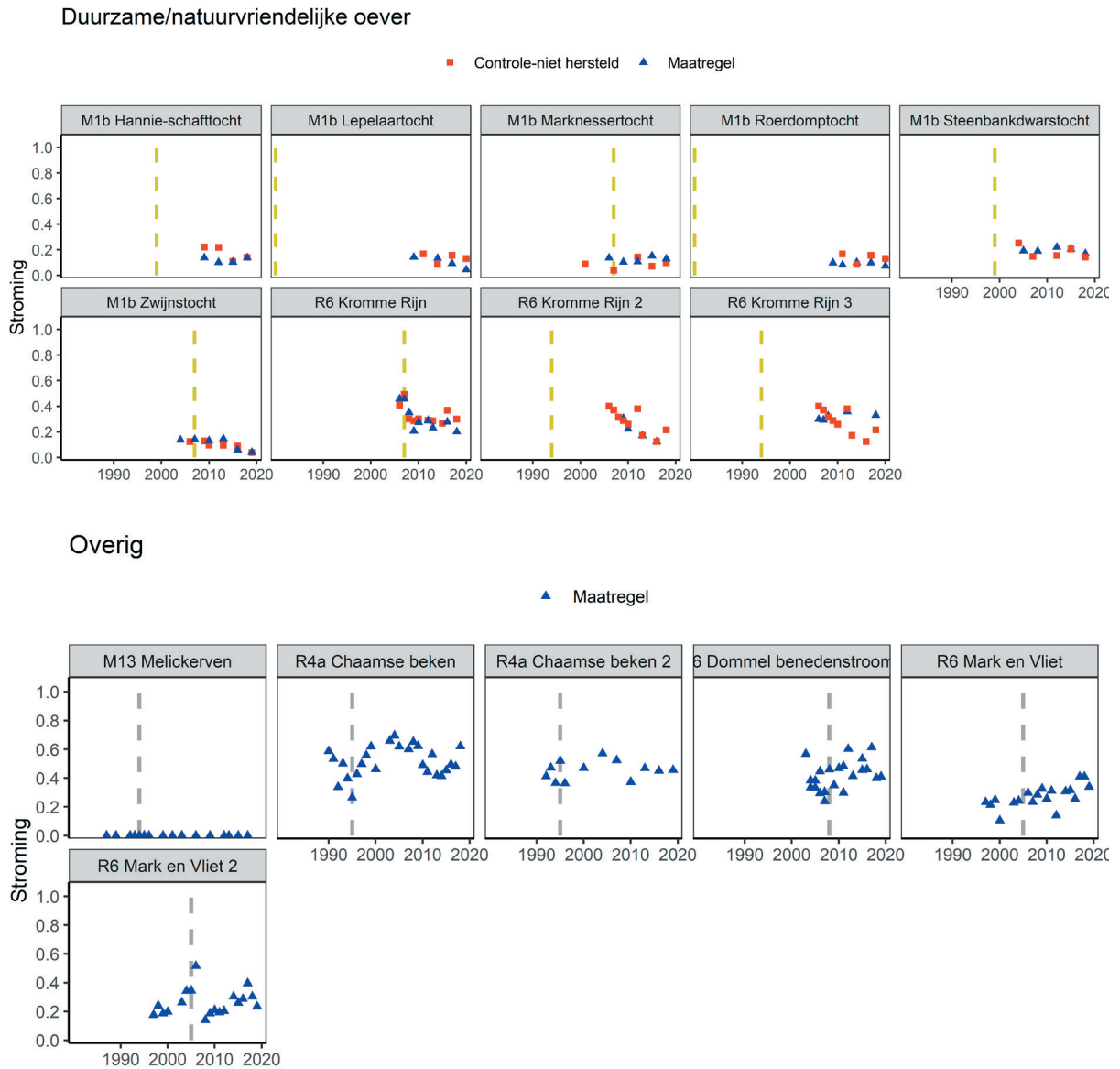
FIGUUR S3 (DEEL 1)

Diagnostische stressscore per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Gestreepte lijnen geven moment van maatregelen(periode) aan, waarbij roze = hydro-morfologisch beekherstel, turquoise = aanpassing in RWZI, geel = duurzame/natuurvriendelijke oever, grijs = overige maatregelen.



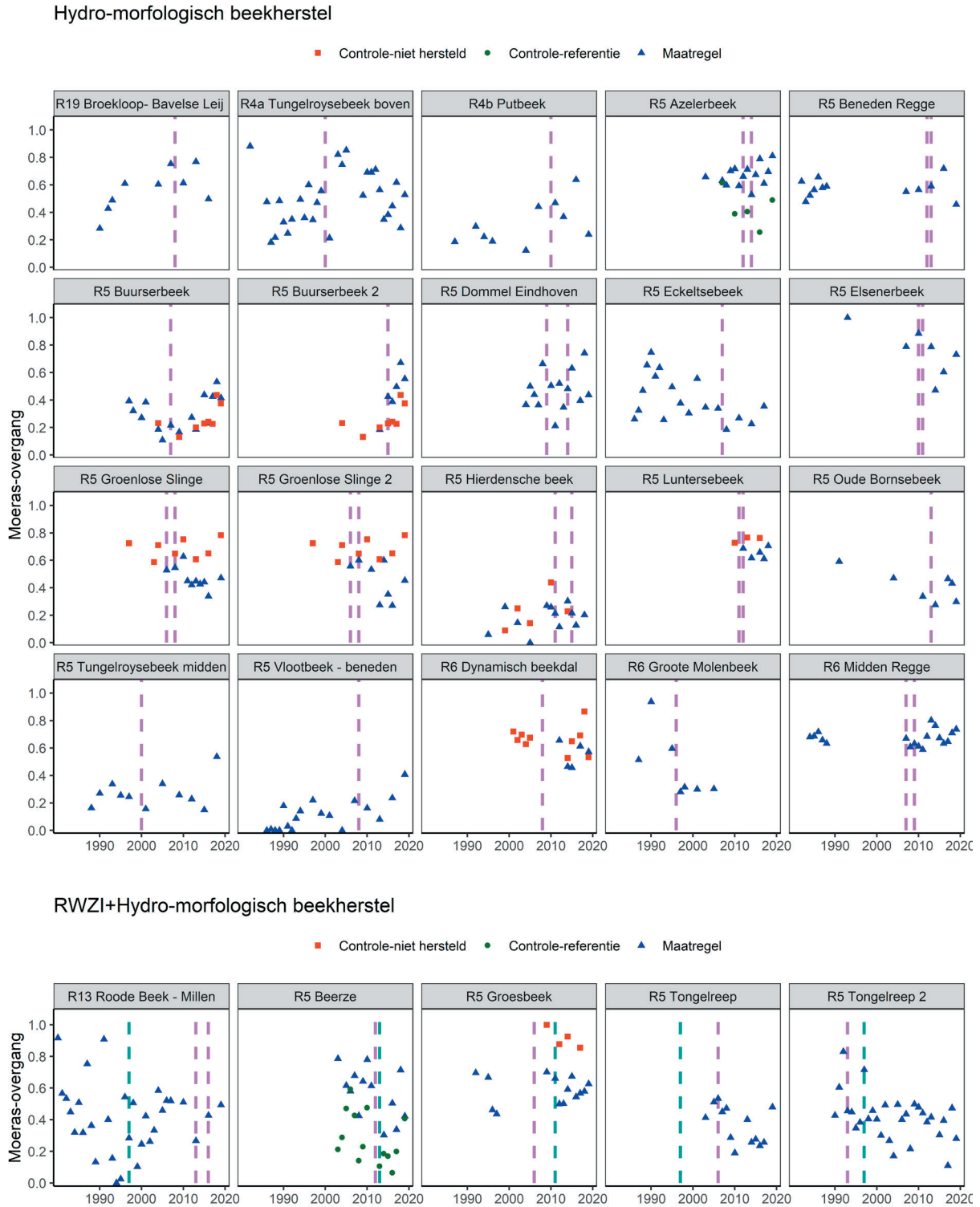
FIGUUR S3 (DEEL 2)

Diagnostische stressscore per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Gestreepte lijnen geven moment van maatregelen(periode) aan, waarbij roze = hydro-morfologisch beekherstel, turquoise = aanpassing in RWZI, geel = duurzame/natuurvriendelijke oever, grijs = overige maatregelen. Details van de maatregelen in tabel 3.



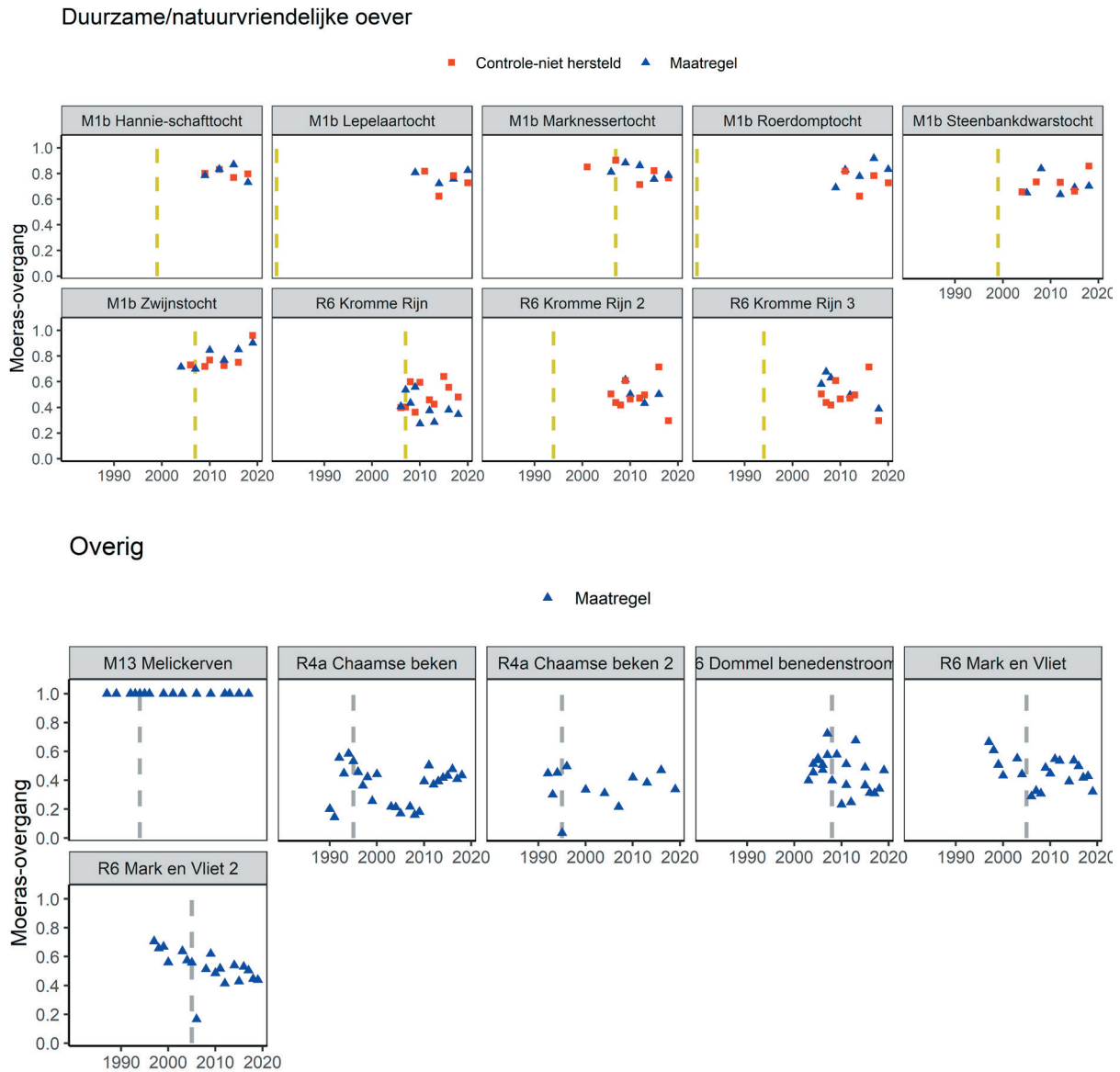
FIGUUR S4 (DEEL 1)

Diagnostische stressscore per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor moeras-overgang. Gestreepte lijnen geven moment van maatregelen(periode) aan, waarbij roze = hydro-morfologisch beekherstel, turquoise = aanpassing in RWZI, geel = duurzame/natuurvriendelijke oever, grijs = overige maatregelen. Details van de maatregelen in tabel 3.



FIGUUR S4 (DEEL 2)

Diagnostische stressscore per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor moeras-overgang. Gestreepte lijnen geven moment van maatregelen(periode) aan, waarbij roze = hydro-morfologisch beekherstel, turquoise = aanpassing in RWZI, geel = duurzame/natuurvriendelijke oever, grijs = overige maatregelen. Details van de maatregelen in tabel 3.





Kennisimpuls
WATERKWALITEIT