

NOTITIE KIWK

Maatregелеffectiviteit beek- en rivierherstel

Macrofaunarespons op de beekherinrichting en aanpassingen in de RWZI in
het Groesbeek stroomgebied



Gea van der Lee, Annalieke Bakker, Ralf Verdonschot, Ronald Gylstra, Arnold Osté, en
Piet Verdonschot

Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

Oktober 2021

Auteurs

Gea van der Lee, Annalieke Bakker, Ralf Verdonschot, Arnold Osté, Ronald Gylstra en Piet Verdonschot
(correspondentie: gea.vanderlee@wur.nl)

Opdrachtgever

Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) – Waterschap Rivierenland

Projectgroep

Gebruikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit Systeemkennis ecologie en waterkwaliteit

Wijze van citeren

van der Lee G.H., Bakker A., Verdonschot R.C.M., Osté A., Gylstra R. en Verdonschot P.F.M. (2021). Macrofaunarespons op de herinrichting en aanpassingen in de RWZI in het Groesbeek stroomgebied. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 20 pp.

Trefwoorden

Groesbeek, Leigraaf, macrofauna, beekherstel, RWZI

Beeldmateriaal

Waterschap Rivierenland

DOI: <https://doi.org/10.18174/556026>

Dit project is uitgevoerd in opdracht van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK).

© 2021 Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

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

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

Inhoud

Inhoud	1
Samenvatting	2
1 Inleiding	3
2 Materiaal en methoden	5
2.1 Metingen	5
2.2 Taxonomische afstemming	7
2.3 Data-analyse	7
3 Resultaten	9
3.1 Algemene trends	9
3.2 PCA ordinatie	10
3.3 PRC analyse	11
3.4 Taxa gerelateerd aan verandering in PRC	12
4 Conclusies en aanbevelingen	16
5 Literatuur	17
6 Supplement 1	18

Samenvatting

Eén van de doelen van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) is het kwantificeren van de effectiviteit van lokale maatregelen in verschillende watertypen op verschillende organismengroepen. In dit document is het effect van de beekherinrichting en een aanpassing in de rioolwaterzuivering (RWZI) Groesbeek op de macrofaunagemeenschap in de beken in het stroomgebied Groesbeek geanalyseerd. De beekherinrichting van de Groesbeek betrof de aanleg van meanders en natuurvriendelijke oevers. De beekherinrichting lijkt niet direct een duidelijke verandering in de macrofaunagemeenschap tot gevolg te hebben gehad. De toename vanaf 2011 van de hoeveelheid toegediend ijzerchloride om het lozingswater van de palingkwekerij te zuiveren, gaf wel veranderingen in de macrofaunagemeenschap t.o.v. het controle meetpunt aan op beide meetpunten die onder invloed staan van de RWZI Groesbeek. Enkele ubiquistische taxa duiden op een toename in stroming en de organisch slibafzettingen in een genormaliseerde (mogelijk plantenrijke) beek. Alle toegenomen en afgenomen taxa hebben een preferentie voor zoet water ($Cl < 300$ mg/L). De chloride concentratie op deze meetpunten is dan ook niet verder toegenomen dan 100 mg/L. Het effluent van de RWZI vormt een groot aandeel in het debiet van de beek. De aanpassing in de RWZI Groesbeek om het lozingswater van de palingkwekerij te zuiveren heeft mogelijk niet alleen geleid tot een hogere chloride concentratie, maar ook tot een toename in stroming en organisch slibafzettingen zoals de macrofaunagemeenschap aangaf.

1 Inleiding

Eén van de doelen van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) is het kwantificeren van de effectiviteit van lokale maatregelen in verschillende watertypen op verschillende organismengroepen. In dit document is het effect van de beekherinrichting en de aanpassing in de rioolwaterzuivering (RWZI) Groesbeek op de macrofaunagemeenschap in de beken in het stroomgebied Groesbeek geanalyseerd.

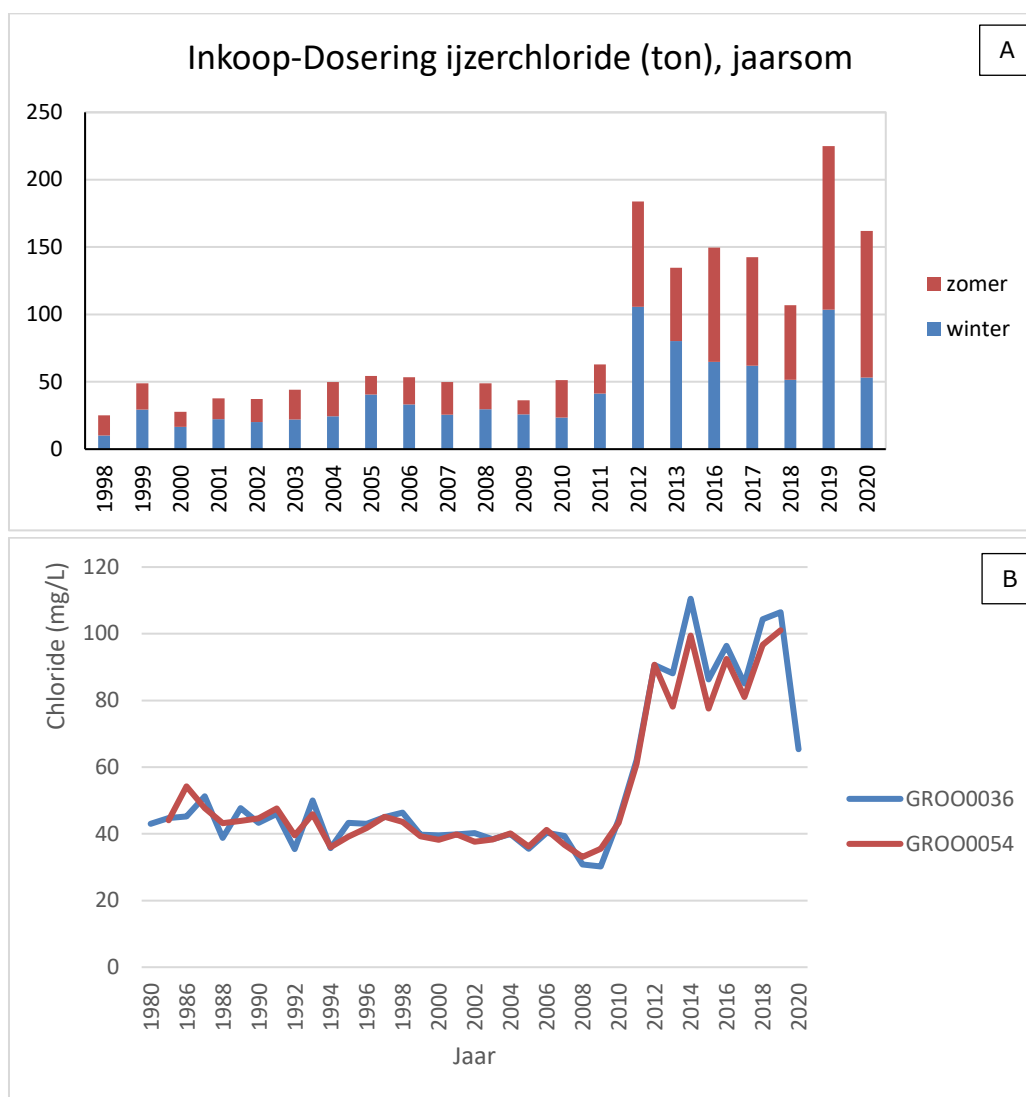
Het stroomgebied Groesbeek is circa 2.650 hectare groot. In het deelgebied Groesbeek ontspringen vier beken op de stuwwal van Groesbeek, dit zijn de Groesbeek, de Drulsebeek, Middenbeek en de Leigraaf (Figuur 1). De Groesbeek (Ren) ontspringt in het centrum van Groesbeek (KRW watertype R4). De beek voegt samen met de Leigraaf en na het passeren van stuw de Horst verlaat de beek Nederland (KRW watertype R5). In Duitsland heet de beek de Groesbecker Bach. Sinds de jaren 60 was de Groesbeek in het dorp overkluisd en in beton gehuld, zodat het water het dorp snel verliet. In 2014 is de beek weer naar bovengronds verlegd. De Leigraaf is een langzaam stromende middenloop/benedenloop (KRW type R5). De Leigraaf loopt vanaf de Breedeweg langs het natuurgebied de Bruuk en mondt dan uit in de Groesbeek.

Het landgebruik in het Groesbeek stroomgebied wordt gekenmerkt door een groot areaal bos, grasland, akkerbouw en stedelijk gebied in de woonkernen Groesbeek, Breedeweg en De Horst. De oorspronkelijke beken zijn ten behoeve van de waterhuishouding en herinrichting van het landschap in de loop van de jaren vergraven. In 2006 zijn delen van de Leigraaf heringericht (Figuur 1). Een deel van de Leigraaf na natuurgebied de Bruuk is verlegd om de beek te laten meanderen. De totaal beschikbare breedte in het tracé was 16 meter, om de bochten aan te leggen. Rondom de beek is een deel van de oude bomen behouden en zijn nieuwe bomen aangeplant en zijn ruigtes aangelegd.

Het stroomgebied Groesbeek staat onder invloed van de rioolwaterzuiveringsinstallatie Groesbeek. Het effluentwater komt samen met water van achtereenvolgens de Drulsebeek, Middenbeek in de Leigraaf en vervolgens in de Groesbeek (Figuur 1). De hoeveelheid ijzerchloride die wordt gebruikt in de RWZI Groesbeek is vanaf 2011 verhoogd om het lozingswater van een palingkwekerij te zuiveren. De lozing van de palingkwekerij kent een sterk verhoogd fosfaatgehalte. De inkoop-dosering van ijzerchloride is in 2012 aangepast (Figuur 2A). De chloride concentratie benedenstrooms van de RWZI is vanaf 2011 hoger (Figuur 2B).



Figuur 1: A) Kaart van het stroomgebied van de Groesbeek met daarin de monsterlocaties van de macrofaunagemeenschap aangegeven met een groene ster. Ook is de route van het heringerichte traject met de meanders en natuurvriendelijke oevers aangegeven (groene lijn) en de weg van het effluent (rode lijn). B) Foto van de Leigraaf.



Figuur 2: A) De inkoop-dosering van ijzerchloride voor de RWZI in de zomer en de winter en per jaar. B) De jaargemiddelde chloride concentratie (mg/l) op twee meetpunten benedenstrooms van de RWZI.

2 Materiaal en methoden

2.1 Metingen

De macrofauna is op 16 locaties in de beken van het stroomgebied Groesbeek bemonsterd met een standaard macrofaunanet (Supplement 1 Tabel S1 en Figuur S1). Drie locaties liggen benedenstrooms van de RWZI Groesbeek (Tabel 1). Meetpunt GROO003 is alleen in 1992 en 2000 bemonsterd en is niet meegenomen in de analyse (Tabel 2). Meetpunt GROO0036 en GROO0054 zijn 13 en 28 jaar bemonsterd in het voorjaar (maart-mei) en een beperkt aantal keer in andere seizoenen (Tabel 2). Op beide meetpunten is de gemiddelde chloride concentratie toegenomen sinds 2011. Daarnaast is het traject met daarin het meetpunt GROO036 in 2006 heringericht. Als controle is meetpunt GROO0066 genomen. Dit meetpunt ligt in de Nieuwe Leigraaf en is niet beïnvloed door RWZI effluent. De overige meetpunten in het Groesbeek stroomgebied zijn niet voldoende frequent bemonsterd of liggen in andere watertypes en zijn daarom niet meegenomen in de analyse. Voor de homogeniteit van de analyse zijn alleen monsters uit het voorjaar meegenomen, aangevuld door de twee monsters genomen in de vroege zomer van 2009 om tot voldoende monsters voor meetpunt GROO0066 te komen.

Tabel 1: Details van de geselecteerde macrofaunamonsterlocaties van boven naar benedenstrooms.

Locatie	Code	Coördinaten	Ligging
Groesbeek - Ashorst - Watergang	GROO0003	51.76369, 5.95610	juist benedenstrooms RWZI
Groesbeek - Ketelstraat - Leigraaf	GROO0036	51.77421, 5.98110	verder benedenstrooms RWZI in herinrichtingstraject
De Horst - Kreuzfurth - Groesbeekse beek	GROO0054	51.77758, 5.98746	meest benedenstrooms RWZI en herinrichtingstraject
Groesbeek - Hogewaldseweg - A- watergang	GROO0066	51.76164, 5.97174	controle, onbelast door RWZI en bovenstrooms van herinrichtingstraject

Tabel 2: Overzicht van het aantal beschikbare monsters per locatie en seizoen. Jaar waarin de Leigraaf is heringericht is aangegeven met licht grijze arcering en jaar waarin de RWZI is aangepast is aangegeven met een donker grijze markering.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Totaal
najaar																														
GROO0003		1																												1
GROO0036		1			1	1																								3
GROO0054		1			1	1			1																					4
GROO0066																														0
voorjaar																														
GROO0003		1								1																				2
GROO0036		1			1	1	1														1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
GROO0054	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28
GROO0066																						1		1						3
zomer																														
GROO0003																														0
GROO0036							1												1											2
GROO0054							1				1								1											2
GROO0066																			1											1

2.2 Taxonomische afstemming

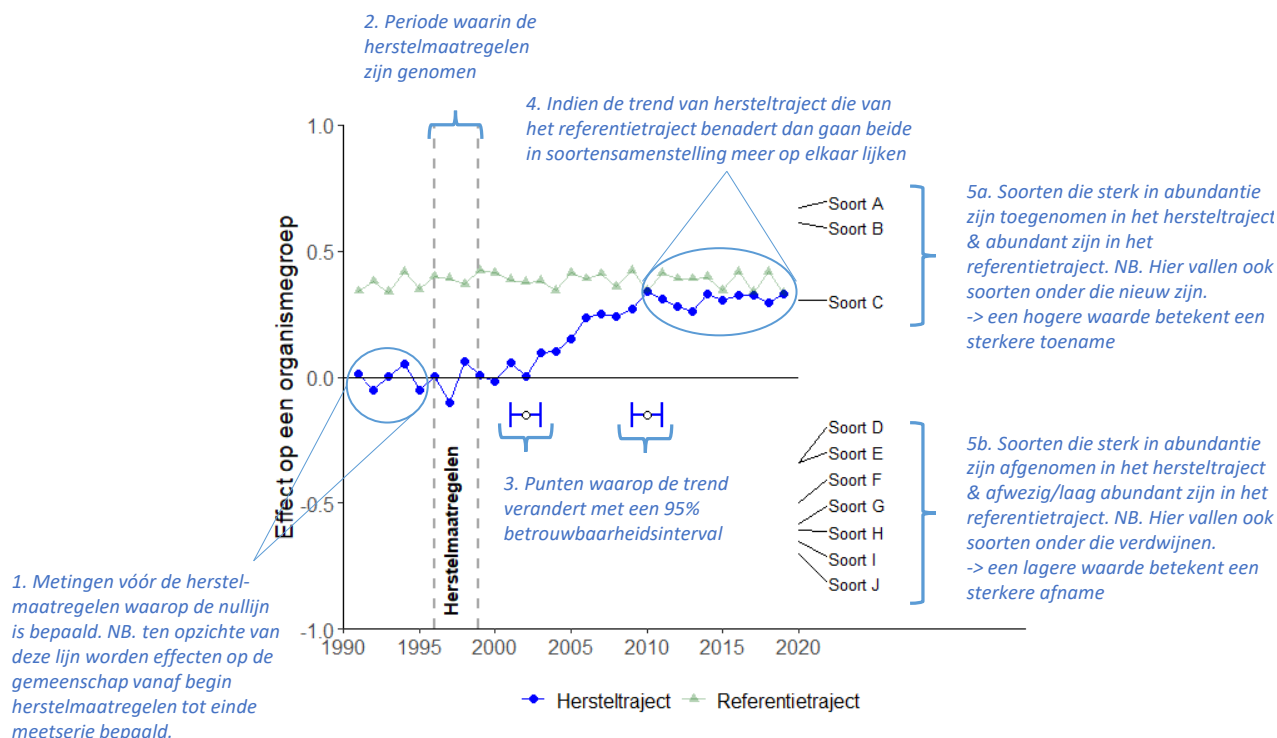
De taxonomische lijsten, afkomstig uit verschillende jaren en van verschillende locaties, laten verschillen zien in taxonomische niveaus. Voor de analyse is een eenduidig gegevensbestand noodzakelijk. Daarom is voor de analyse de oorspronkelijke macrofaunadata taxonomisch afgestemd op basis van frequentie van voorkomen in de monsters en totale abundantie per taxon. Indien een genus op een paar uitzonderingen na was gedetermineerd tot op soortniveau, is het genus verwijderd en zijn de soorten gehandhaafd. Indien de frequentie waarmee het genus voorkomt echter hoog was, is de data geaggregeerd op genusniveau. Voor de genera *Glyptotendipes* en *Chironomus* zijn alle gegevens geaggregeerd naar genusniveau, omdat determinatie van deze groep niet consistent is uitgevoerd en minder betrouwbaar is. Bij de Tubificidae zijn naast de soorten ook de gehele groep Tubificidae meegenomen, omdat een groot aantal juveniele Tubificidae indicatief is voor bepaalde milieumomstandigheden.

2.3 Data-analyse

De abundantie van de macrofauna is eerst $\log_{10}(x+1)$ getransformeerd om het effect van hoge dichtheden te verminderen en de rol van laag-abundante soorten te vergroten. De data is met een Principale-ComponentenAnalyse (PCA) techniek geanalyseerd en geplot om de patronen in de macrofaunagemeenschap tussen de meetpunten te verkrijgen. De data is vervolgens geanalyseerd met de 'Principal Response Curve (PRC)' methode (Van den Brink & ter Braak, 1999; zie Box 1 voor uitgebreide uitleg). Deze methode biedt de mogelijkheid om veranderingen in de gemeenschap bij verschillende maatregelen (zogenoemde 'treatments') uit te zetten tegen de tijd. Dit resulteert per meetpunt in een grafiek met de tijd op de x-as en de verandering in de gemeenschap (zogenoemde 'canonical coefficient C_{dt} ') ten opzichte van de mediaan van de gemeenschap voor de maatregelen (hier beekherinrichting en ijzerchloride dosering) op de y-as. Vervolgens is voor GROO0054 een 'change point analysis' gebruikt om aan te geven wanneer (met een 95% betrouwbaarheidsinterval) een eventuele verandering in de trend over tijd in macrofaunasamenstelling heeft plaatsgevonden (Zeileis et al., 2003). Het optimale aantal breekpunten wordt automatisch bepaald op basis van de resterende som van de kwadraten. Voor de andere meetpunten zijn te weinig datapunten om een 'change point analysis' toe te passen, dus hebben we de grafiek 'op het oog' geïnterpreteerd.

Ieder taxon krijgt in de analyse een gewicht (zogenoemde 'species weight b_k ') toegekend, wat aangeeft in welke mate het taxon het patroon van de respons volgt. Taxa met een positief gewicht volgen de verandering, taxa met een negatief gewicht vertonen een tegenovergestelde respons en taxa met een gewicht van bijna nul vertonen geen respons of een respons die niet gerelateerd is aan het patroon dat in het diagram wordt getoond. Voor de macrofauna hebben we deze score vergeleken met de KRW-maatlatwaarden van soorten voor watertype R5 (Altenburg et al., 2018), de WEW autecologie score voor stromings-, chloride- en habitatpreferentie (Verberk et al., 2012) en de Duitse saprobie index (Friedrich & Herbst, 2004; German saprobic Index new version). Voor de KRW-maatlatwaarden hebben we onderscheid gemaakt tussen dominant negatieve taxa (N) en positieve/kenmerkende taxa (P/K). Voor de stroming hebben we onderscheid gemaakt tussen soorten met een affiniteit voor stilstaand tot zeer langzaam stromend (< 10 cm/s), langzaam stromend (10-15 cm/s) en matig tot snelstromend (> 15 cm/s) (Verberk et al. 2012). Voor chloride hebben we onderscheid gemaakt tussen soorten met affiniteit voor zoet (<300 mg Cl/l), zeer zwak brak (300-1000 mg Cl/l), zwak brak (1000-3000 mg Cl/l), matig brak (3-10 g Cl/l), sterk brak tot marien (>10 g Cl/l). Voor de habitatpreferentie hebben we onderscheid gemaakt tussen soorten met affiniteit voor zand, klei/leem, waterplanten, grove detritus/ hout, grind/stenen. Alle analyses zijn gedaan in R (versie 3.6.3) met softwarepakket *vegan* (Oksanen et al., 2019).

Box 1: Uitleg bij de grafiek van de 'Principal Response Curve' (PRC) analyse



De bovenstaande figuur laat een hypothetisch voorbeeld zien van de uitkomst van de 'Principal Response Curve' analyse waarmee de resultaten grafisch inzichtelijk worden gemaakt. Het voorbeeld volgt een zogenaamd BACI-ontwerp met jaarlijkse metingen vóór (Before) en ná (After) het nemen van de herstelmaatregelen in een referentietraject met de gewenste situatie (dit wordt de Control, genoemd en kan bijvoorbeeld een natuurgebied bovenstrooms zijn) en met jaarlijkse metingen vóór (Before) en ná (After) in het hersteltraject, het traject waar de maatregelen zijn genomen (Impact). In plaats van een referentietraject kan de Control ook bestaan uit een traject dat vergelijkbaar is met het hersteltraject, maar waar geen maatregelen zijn genomen. In dat geval zou de lijn rond de nullijn moeten lopen omdat die situatie bijna gelijk is aan die in het hersteltraject voor het nemen van de maatregelen.

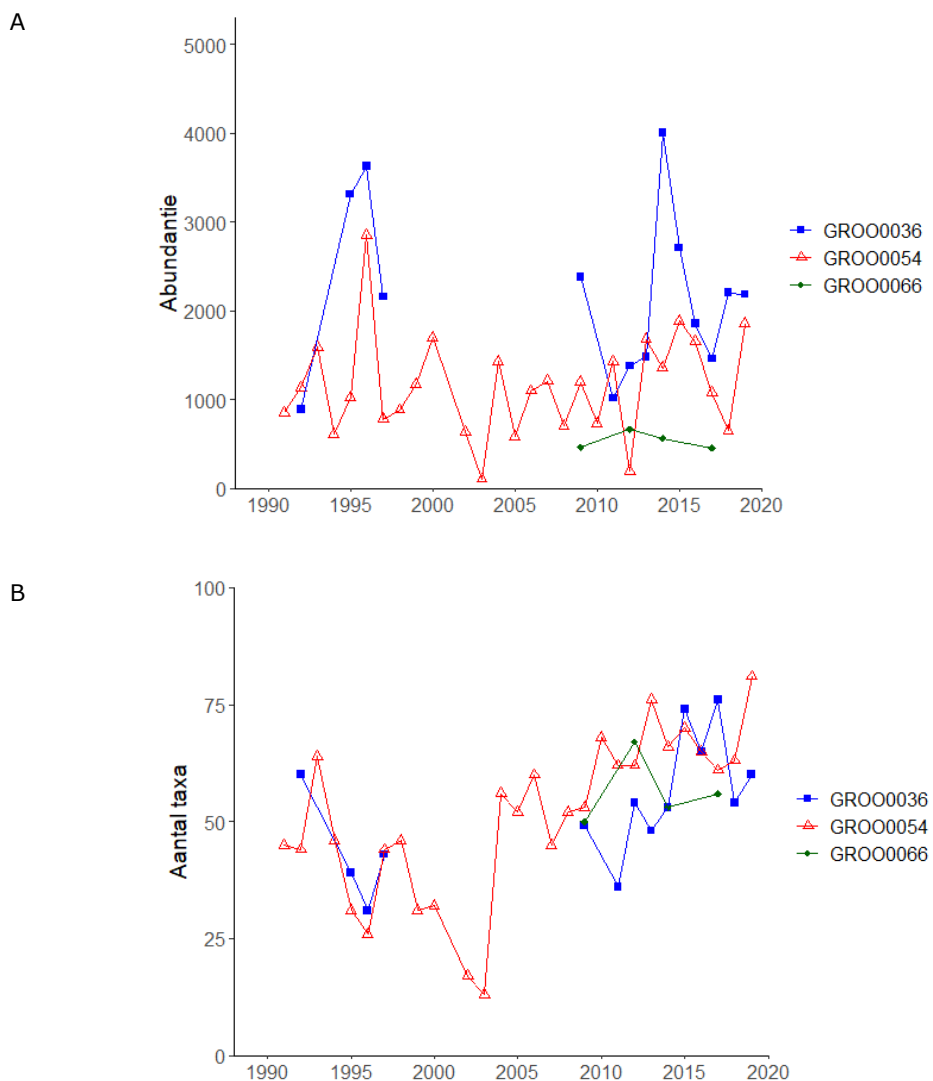
In de grafiek staat tijd op de x-as en de (eventuele) verandering in de gemeenschap (zogenoemde 'canonical coefficient C_{dt} ') op de y-as. De verandering in de gemeenschap wordt uitgezet tegen de mediaan van de gemeenschap vóór de herstelmaatregelen, de zogehete nullijn (het traject aangeduid door tekstblok 1). Om deze nullijn goed te definiëren is het belangrijk dat er voldoende meetjaren beschikbaar zijn. De periode waarin de herstelmaatregelen zijn genomen wordt in de grafiek aangegeven met twee verticale grijze stippellijnen, in dit geval tussen 1996 en 1999 (aangeduid met tekstblok 2). In dit voorbeeld hebben de maatregelen een effect gehad op de samenstelling van de gemeenschap, aangezien de C_{dt} score van het hersteltraject van de nullijn gaat afbewegen na de uitvoering van het herstel. Dit betekent hoe hoger de C_{dt} score wordt des te groter is het effect van de maatregel(en). Als er geen verandering optreedt dan blijft de C_{dt} score van het hersteltraject rondt de nullijn schommelen. Indien er voldoende data beschikbaar is (minimaal 10 meetjaren), kan met een zogenaamde 'changepoint analysis' worden aangegeven of en wanneer verandering in de trend heeft plaatsgevonden (aangeduid met tekstblok 3). In het bovenstaande voorbeeld laten deze punten met het 95% betrouwbaarheidsinterval (de horizontale blauwe lijnstukken) zien dat de gemeenschap tussen 2002 en 2010 is veranderd. We zien ook dat de lijn van het hersteltraject de lijn van het referentietraject gaat benaderen (aangeduid met tekstblok 4). Dit betekent dat de herstelmaatregelen een positief effect hebben gehad op deze gemeenschap. Aan de rechterkant van de grafiek is af te lezen welke soorten het sterkst aan deze verandering hebben bijgedragen (zogenaamde 'species weight b_k '). Soorten die zijn toegenomen in het hersteltraject en abundant zijn in het referentietraject hebben een positieve score (aangeduid met tekstblok 5a) en soorten die zijn afgenomen in het hersteltraject en minder abundant/afwezig zijn in het referentietraject hebben een negatieve score (aangeduid met tekstblok 5b).

De analyse kan in principe ook worden gedaan met alleen een BA- of CI-ontwerp. Bij een BA-ontwerp is het echter niet uit te sluiten of de veranderingen door de herstelmaatregelen worden veroorzaakt of in het hele gebied hebben plaatsgevonden. Bij een CI design moet de nullijn worden bepaald op basis van de mediaan van de Control (de waarnemingen in het referentie- of controletraject). Als de Control in milieu-omstandigheden (typologisch) niet goed vergelijkbaar is met de situatie in het herstel van voor de maatregelen dan zullen alleen deze verschillen worden weergegeven in de grafiek. Ook is niet uit te sluiten dat de veranderingen al voor de herstelmaatregelen waren begonnen.

3 Resultaten

3.1 Algemene trends

De totale abundantie van de bemonsterde macrofaunagemeenschap op de drie meetpunten is redelijk constant over tijd (Figuur 3A). De abundantie in de Leigraaf (GROO0036; blauwe lijn) is over het algemeen iets hoger dan in de Groesbeek (GROO0054; rode lijn) en in de Nieuwe Leigraaf (GROO0066; groene lijn) en laat een grotere fluctuatie zien (Figuur 3A). Het gemiddeld (\pm sd) aantal taxa in de Groesbeek (GROO0054: 53 ± 14) is vergelijkbaar met de Leigraaf (GROO0036: 51 ± 17) en de Nieuwe Leigraaf (GROO0066: 56 ± 7) (Figuur 3B). Op basis van de data van de Groesbeek (GROO0054) lijkt het aantal taxa licht te stijgen over tijd. Voor de andere meetpunten mist data tussen 1997 en 2011, waardoor het onbekend is hoe de macrofaunagemeenschap zich in die tijd ontwikkelde.

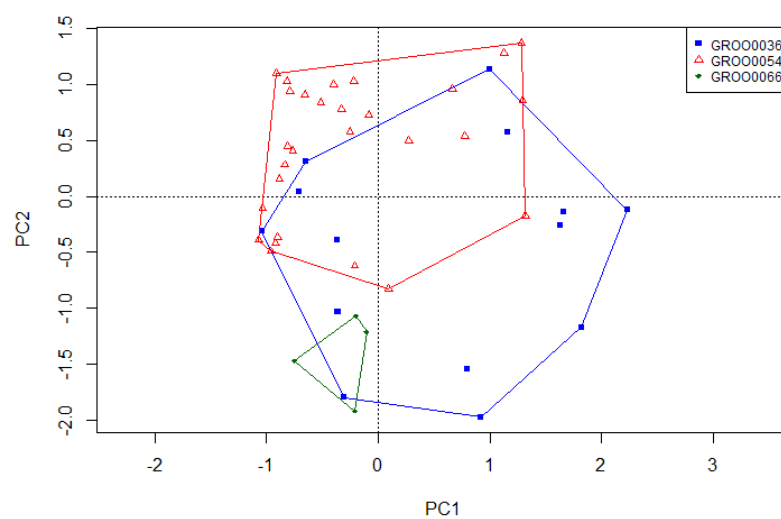


Figuur 3: A) Abundantie en B) aantal taxa op drie meetpunten (GROO0036, GROO0054, GROO0066) over de jaren 1991-2019.

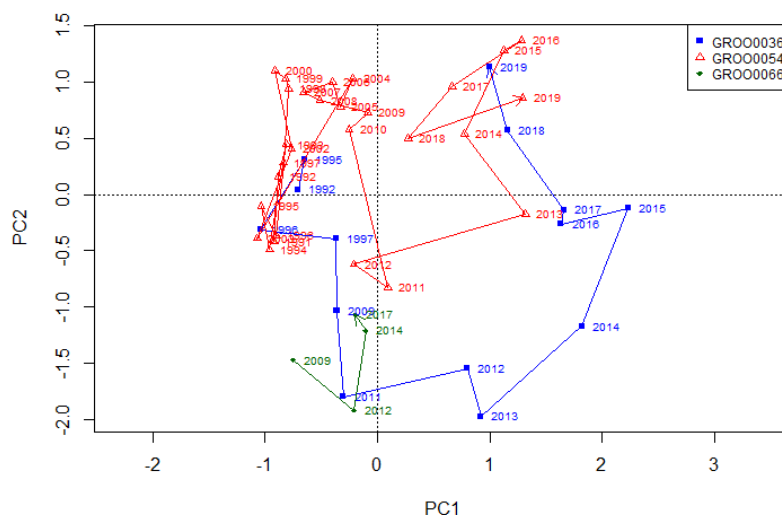
3.2 PCA ordinatie

De PCA ordinatie laat zien dat de macrofaunagemeenschap op de twee meetpunten die worden beïnvloed door de RWZI Groesbeek (GROO0036 in blauw en GROO0054 in rood) grotendeels overlappen. Daarnaast overlapt het controle meetpunt in de Nieuwe Leijgraaf (GROO0066 in groen) met het meetpunt in de Leijgraaf (GROO0036), maar niet met het meetpunt in de Groesbeek (GROO0054). De verschillen tussen de meetpunten lijken voornamelijk aanwezig te zijn langs de tweede PC-as (Figuur 4A). Wanneer in dezelfde plot de trend van de meetpunten in de tijd wordt weergegeven door opeenvolgende jaren te verbinden met een pijl, volgen de pijlen van de twee meetpunten die worden beïnvloed door RWZI Groesbeek, ongeveer een vergelijkbaar patroon langs de eerste PC-as (Figuur 4B). De macrofaunagemeenschap op meetpunt GROO0054 laat twee veranderingen op de eerste PC-as zien. Eerst is er een kleine verschuiving naar rechts op PC1 tussen 2003 en 2005, waarna een grotere verandering zichtbaar is rond het jaar 2011 (Figuur 4B; rode pijl). Bij meetpunt GROO0036 ontbreekt data tussen 1997 en 2011, waarna een verandering in dezelfde richting als voor meetpunt GROO0054 plaatsvindt (Figuur 4B; blauwe pijl). Opvallend is dat meetpunt GROO0066 deze verandering in de tijd niet volgt en vergelijkbaar blijft met de situatie op GROO0036 in 2009 en 2011 (Figuur 4B; groene pijl).

A



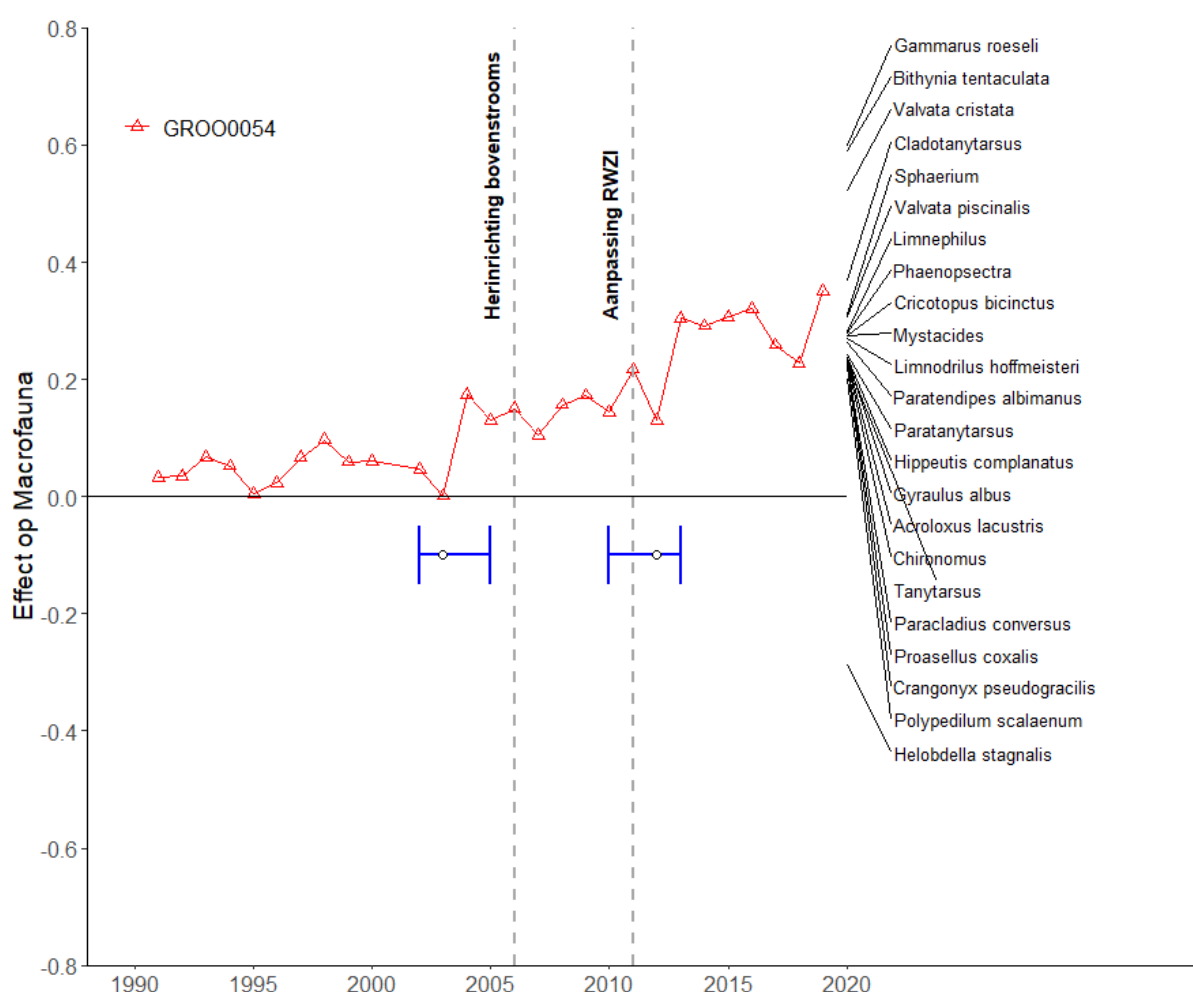
B



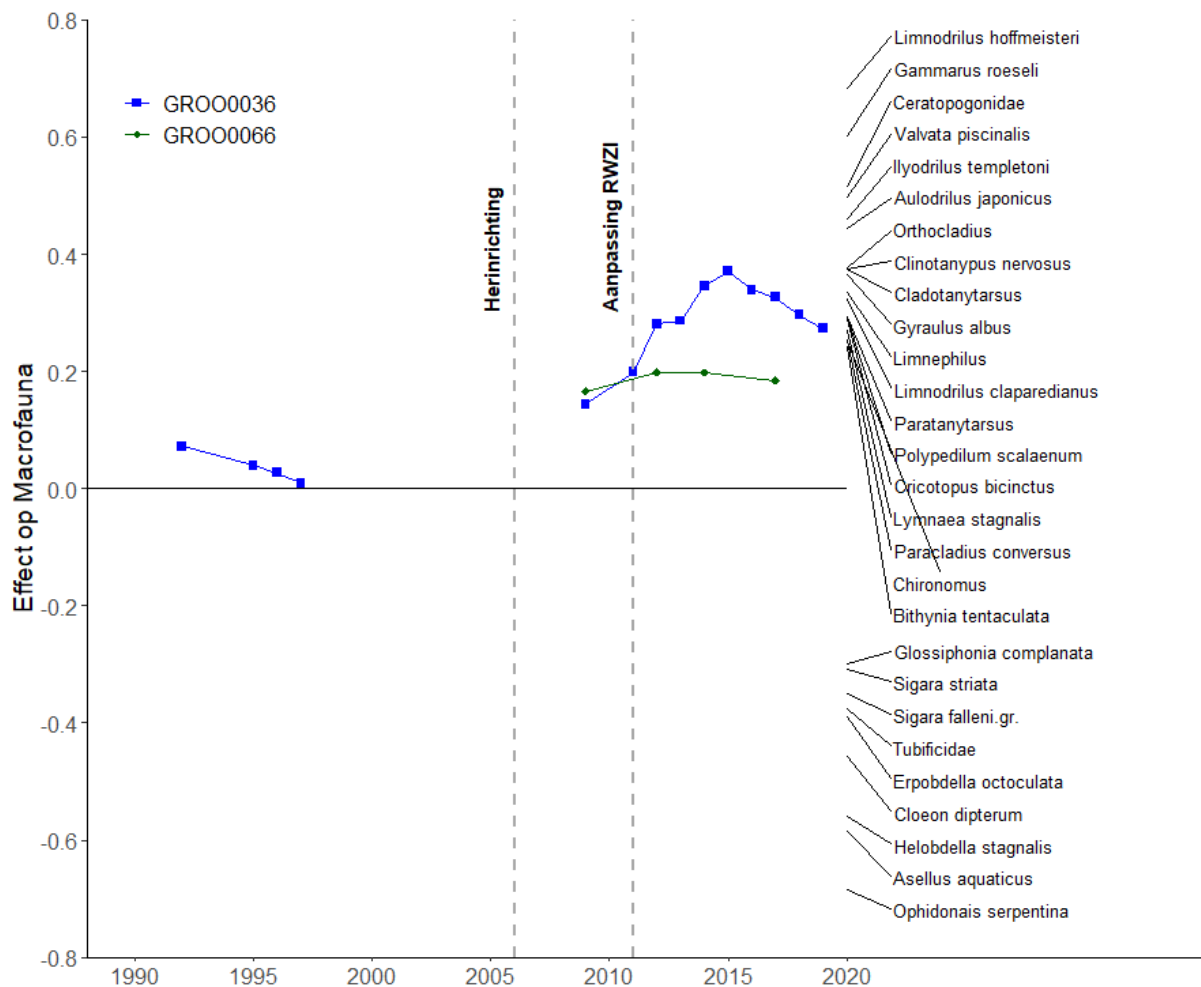
Figuur 4: Ordinatie (PCA) van de macrofaunagemeenschap op de meetpunten in de beken van het stroomgebied Groesbeek. A) De verschillende locaties aangeduid met een polygoon om de meetpunten. B) De trends die de macrofaunagemeenschap op elke locatie volgt aangeduid met een pijl. Meetpunt GROO0036 is aangeduid in blauw, meetpunt GROO0054 in rood en meetpunt GROO0066 in groen.

3.3 PRC analyse

Wanneer we, gebruik makend van een PRC-analyse, de macrofaunagemeenschap uitzetten in de tijd tegen de mediaan van de gemeenschap voor de beekherinrichting in 2006 zien we de trend die zichtbaar was langs de eerste as van de PCA ordinatie (Figuur 4B) terug voor GROO0054 (Figuur 5) en GROO0036 (Figuur 6). GROO0066 is als controle toegevoegd aan GROO0036 (Figuur 6), aangezien de macrofaunagemeenschap op dit meetpunt hiermee het meest vergelijkbaar was. De macrofaunagemeenschap op meetpunt GROO0054 laat twee significante veranderingen in de trend zien, namelijk in 2003 (95% betrouwbaarheidsinterval van 2002-2005) en in 2012 (95% betrouwbaarheidsinterval van 2011-2013) (Figuur 5). De macrofaunagemeenschap op meetpunt GROO0036 is veranderd ná 2011 (Figuur 6). GROO0066 is in deze periode echter niet veranderd. De timing dat de macrofaunagemeenschap is veranderd in GROO0054 (tweede verandering) en GROO0036 hangt samen met het moment waarop de RWZI Groesbeek is aangepast. Er is geen duidelijk effect zichtbaar van de beekherinrichting. De oorzaak achter de eerste verandering in GROO0054 voor de beekherinrichting in 2003 is onbekend.



Figuur 5: Verandering in de macrofaunagemeenschap op GROO0054 ten opzichte van de mediaan van de gemeenschap voor de beekherinrichting en gepresenteerd volgens de zogeheten Principal Response Curve. De blauwe foutbalk geeft de 95% betrouwbaarheidsinterval van een relevante verandering in de trend weer. De soortgewichten in het rechterdeel van het diagram vertegenwoordigen de affiniteit van elk taxon met de respons weergegeven in het diagram. Voor de duidelijkheid zijn alleen de afnemende taxa met een gewicht < -0.4 en de toenemende taxa met een gewicht > 0.4 weergegeven en zijn de waarden geschaald.



Figuur 6: Verandering in de macrofaunagemeenschap op GROO0036 en controle GROO0066 ten opzichte van de mediaan van de gemeenschap op GROO0036 voor de beekherinrichting en gepresenteerd volgens de zogeheten Principal Response Curve. De soortgewichten in het rechterdeel van het diagram vertegenwoordigen de affiniteit van elk taxon met de respons weergegeven in het diagram. Voor de duidelijkheid zijn alleen de afnemende taxa met een gewicht <-0.4 en de toenemende taxa met een gewicht >0.4 weergegeven en zijn de waarden geschaald.

3.4 Taxa gerelateerd aan verandering in PRC

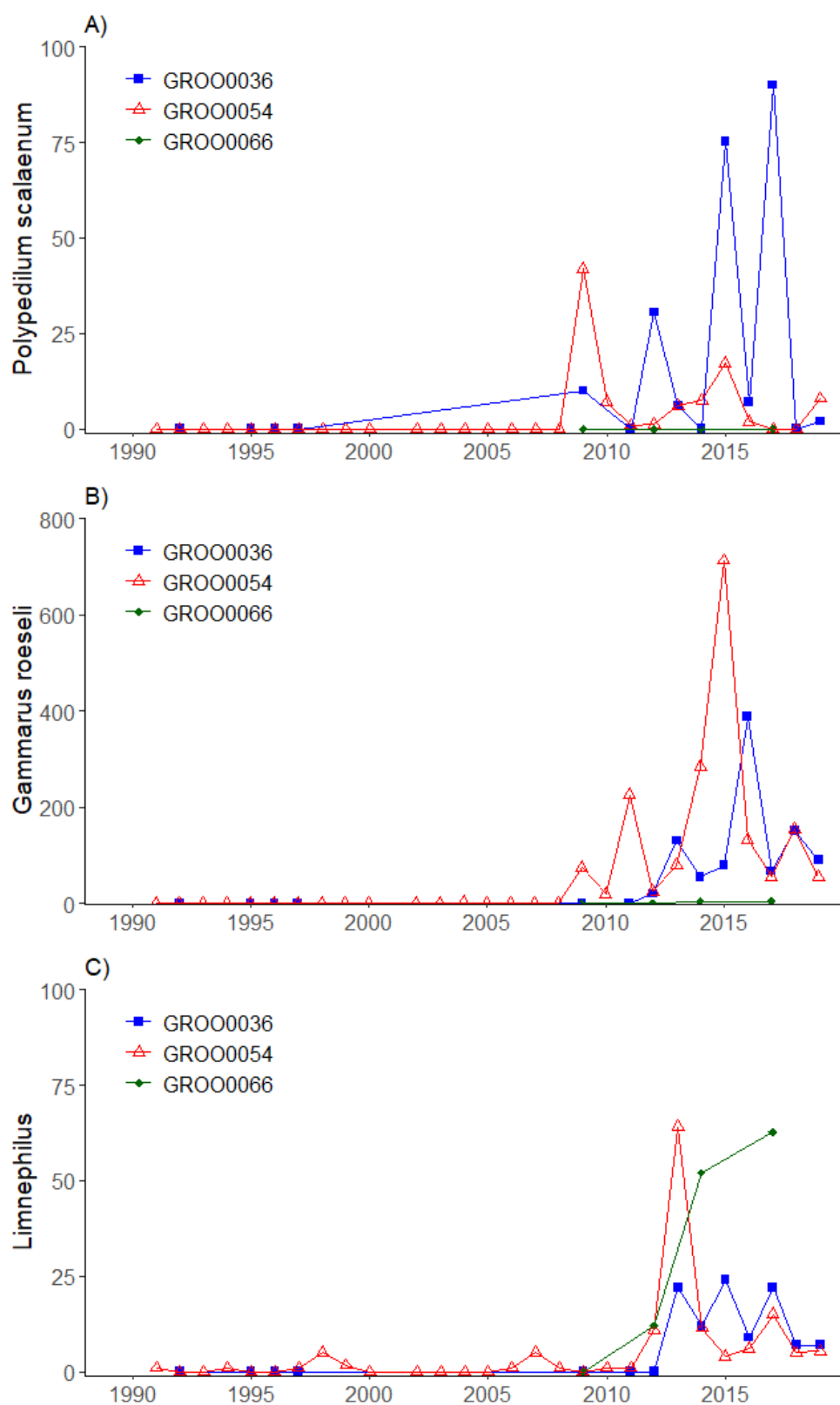
Wanneer we kijken naar de taxa met een gewicht <-0.4 en >0.4 zijn behalve *Helobdella stagnalis* alleen taxa toegenomen in abundantie op meetpunt GROO0054 (Tabel 3). Op meetpunt GROO0036 zijn meerdere negatief scorende taxa afgenomen met preferentie voor stilstaand tot zeer langzaam stromend water en een habitat van slib/ fijne detritus en waterplanten (Tabel 4; taxa met een gewicht <-0.4 en >0.4). Een aantal ubiquistische taxa toegenomen in abundantie met een preferentie voor matig tot snelstromend water, zoals *Gammarus roeseli*, *Limnephilus* en *Polypedilum scalaenum* (Tabel 4 en 5). *Limnephilus* is ook toegenomen op GROO0066, terwijl *Gammarus roeseli* en *Polypedilum scalaenum* alleen zijn toegenomen op GROO0036 en OGROO54 (Figuur 7). *Gammarus roeseli* en *Polypedilum scalaenum* scoren tevens positief op de KRW-maatlatten (Tabel 3 en 4; taxa met een gewicht <-0.4 en >0.4). Daarnaast is een aantal soorten toegenomen in abundantie met een preferentie voor stilstaand tot zeer langzaam stromend water en een habitat van slib/ fijne detritus en waterplanten. Een deel van de toegenomen taxa scoort negatief op de KRW-maatlatten. De toegenomen taxa duiden op een toename van stroming in een genormaliseerde (mogelijk plantenrijke) beek met organisch slibafzettingen in meer stilstaande beekdelen (RWZI effect). De stroming maakt dat er ook de zuurstofgevoeligere soorten, zoals *G. roeseli* kunnen voorkomen. Alle toegenomen en afgenomen taxa hebben een preferentie voor zoet water (CI <300 mg/L).

Tabel 3: Overzicht van preferentie voor stroming (volgens WEW autecologie), chloride, saprobie (volgens German Saprobie Index) en maatlatwaarde (volgens KRW watertype R5) en habitatpreferentie (volgens WEW autecologie) voor de macrofauna die het sterkst zijn gerelateerd aan de respons uit de PRC voor locatie GROO054 (soortgewicht < -0.4 of > 0.4). n.v.t. betekent dat (op dit taxonomisch niveau) geen informatie beschikbaar is.

Taxonnaam	Soort gewicht b _k	Stroming (WEW)	Chloride (Cl)	Saprobie (SIN)	Maatlat- waarde (KRW)	Habitat preferentie					
						slib/ fijne detritus	zand	klei/ leem	Water- planten	grove detritus /hout	grind/ stenen
<i>Gammarus roeseli</i>	1.20	>15 cm/s	<300 mg/l	2.2	Positief	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
<i>Bithynia tentaculata</i>	1.18	<10 cm/s	<300 mg/l	2.3	Negatief	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3
<i>Valvata cristata</i>	1.05	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Cladotanytarsus</i>	0.74	<10 cm/s	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5
<i>Sphaerium</i> (alle <i>S. corneum</i> /ovale/nucleus)	0.62	>15 cm/s	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Valvata piscinalis</i>	0.61	<10 cm/s	<300 mg/l	2.0	Negatief	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Limnephilus</i> (92% <i>Limnephilus lunatus</i>)	0.56	10-15cm/s	<300 mg/l	2.0	geen score	0.4	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0
<i>Phaenopsectra</i>	0.56	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0	0.4
<i>Cricotopus bicinctus</i>	0.55	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	geen score	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Mystacides</i>	0.55	n.v.t.	<300 mg/l	2.1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0.54	<10 cm/s	n.v.t.	3.3	Negatief	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Paratendipes albimanus</i>	0.53	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Paratanytarsus</i>	0.48	<10 cm/s	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Hippeutis complanatus</i>	0.48	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
<i>Gyraulus albus</i>	0.47	<10 cm/s	<300 mg/l	2.0	Negatief	0.1	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0
<i>Acroloxus lacustris</i>	0.47	<10 cm/s	n.v.t.	n.v.t.	geen score	0.1	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0
<i>Chironomus</i>	0.46	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	0.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0
<i>Tanytarsus</i>	0.46	<10 cm/s	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Paracladius conversus</i>	0.45	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	0.4	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
<i>Proasellus coxalis</i>	0.45	<10 cm/s	<300 mg/l	2.8	Negatief	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.6
<i>Crangonyx pseudogracilis</i>	0.44	n.v.t.	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Polypedilum scalaenum</i>	0.40	>15 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Positief	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Helobdella stagnalis</i>	-0.58	<10 cm/s	<300 mg/l	2.6	Negatief	0.2	0.1	0.0	0.5	0.0	0.3

Tabel 4: Overzicht van preferentie voor stroming (volgens WEW autecologie), chloride, saprobie (volgens German Saprobic Index) en maatlatwaarde (volgens KRW watertype R5) en habitatpreferentie (volgens WEW autecologie) voor de macrofauna die het sterkst zijn gerelateerd aan de respons uit de PRC voor GROO036 en GROO0066 (soortgewicht < -0.4 of > 0.4). n.v.t. betekent dat (op dit taxonomisch niveau) geen informatie beschikbaar is. *zijn alleen gerelateerd aan GROO0066.

Taxonnaam	Soort gewicht b_k	Stroming (WEW)	Chloride (Cl)	Saprobie (SIN)	Maatlatwaarde (KRW)	Habitat preferentie					
						slib/ fijne detritus	zand	klei/ leem	Water- planten	grove detritus/ hout	grind/ stenen
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	1.14	<10 cm/s	<300 mg/l	3.3	Negatief	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Gammarus roeseli</i>	1.00	>15 cm/s	<300 mg/l	2.2	Positief	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
<i>Ceratopogonidae</i>	0.86	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Valvata piscinalis</i>	0.83	<10 cm/s	<300 mg/l	2.0	Negatief	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ilyodrilus templetoni</i>	0.77	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	0.3	0.2	0.2	0.4	0.0	0.0
<i>Aulodrilus japonicus</i>	0.74	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	geen score	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Orthocladius</i>	0.63	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	geen score	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Clinotanytus nervosus</i>	0.63	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	0.4	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
<i>Cladotanytus</i>	0.62	<10 cm/s	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5
<i>Gyraulus albus</i>	0.61	<10 cm/s	<300 mg/l	2.0	Negatief	0.1	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0
<i>Limnephilus</i> (99% <i>Limnephilus lunatus</i>)	0.56	10-15cm/s	<300 mg/l	2.0	geen score	0.4	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0
<i>Limnodrilus claparedianus</i>	0.54	n.v.t.	n.v.t.	3.3	geen score	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Paratanytus</i>	0.49	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Polypedilum scalaenum</i>	0.48	>15 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Positief	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Cricotopus bicinctus</i>	0.48	NA	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Lymnaea stagnalis</i> *	0.45	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	0.2	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0
<i>Paracladius conversus</i>	0.42	n.v.t.	<300 mg/l	n.v.t.	geen score	0.4	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
<i>Chironomus</i> *	0.42	n.v.t.	n.v.t.	3.3	Negatief	0.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0
<i>Bithynia tentaculata</i> *	0.40	<10 cm/s	<300 mg/l	2.3	Negatief	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3
<i>Glossiphonia complanata</i>	-0.50	<10 cm/s	<300 mg/l	2.3	geen score	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5
<i>Sigara striata</i>	-0.51	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	0.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
<i>Sigara falleni gr.</i>	-0.59	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	0.2	0.2	0.2	0.4	0.0	0.1
<i>Tubificidae</i>	-0.63	n.v.t.	n.v.t.	3.6	Negatief	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Erpobdella octoculata</i>	-0.65	<10 cm/s	<300 mg/l	2.8	Negatief	0.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6
<i>Cloeon dipterum</i>	-0.76	<10 cm/s	<300 mg/l	2.3	Negatief	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
<i>Helobdella stagnalis</i>	-0.93	<10 cm/s	<300 mg/l	2.6	Negatief	0.2	0.1	0.0	0.5	0.0	0.3
<i>Asellus aquaticus</i>	-0.97	<10 cm/s	<300 mg/l	2.8	Negatief	0.2	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2
<i>Ophidonais serpentina</i>	-1.14	<10 cm/s	<300 mg/l	n.v.t.	Negatief	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.1



Figuur 7: Abundantie van verschillende soorten op meetpunt GROO0036 (blauw) en GROO0054 (rood) en GROO0066 (groen), waaronder A) *Polypedilum scalaenum*, B) *Limnephilus*, C), *Gammarus roeseli*. Let op y-as verschilt tussen grafieken.

4 Conclusies en aanbevelingen

De beekherinrichting in 2006 lijkt geen duidelijke verandering te hebben veroorzaakt in de macrofaunasamenstelling. De eerste verandering op meetpunt OGROO0054 heeft plaatsgevonden rond 2003 voor de herinrichting van de beek. De oorzaak achter deze verandering is onbekend. Voor meetpunt OGROO0036 was geen data beschikbaar uit deze periode. Vervolgens is de macrofaunagemeenschap op beide meetpunten onder invloed van de RWZI (GROO0036 en GROO0054) veranderd rond 2012, terwijl de macrofaunagemeenschap op het controle meetpunt GROO0066 zonder RWZI invloed in deze periode niet is veranderd. De veranderingen die zijn opgetreden in de macrofaunagemeenschap op beide meetpunten die onder invloed staan van de RWZI Groesbeek zijn mogelijk een gevolg van de aanpassing in de RWZI. In 2011 is de hoeveelheid ijzerchloride verhoogd om het lozingswater van een palingkwekerij te zuiveren. Enkele ubiquistische taxa duiden op een toename in stroming en de organisch slibafzettingen in een genormaliseerde (mogelijk plantenrijke) beek. Ook de nutriënten concentraties duiden op een voedselrijk systeem (Supplement 1 Figuur S2). Mogelijk zijn door het voedselrijke water (en sediment) geen effecten van de herinrichting terug te zien in de macrofauna. Alle toegenomen en afgenomen taxa hebben een preferentie voor zoet water ($Cl < 300 \text{ mg/L}$). De chloride concentratie op deze meetpunten is dan ook niet verder toegenomen dan 100 mg/L . Het effluent van de RWZI vormt een groot aandeel in het debiet van de beek en de mediaan van het zomerdebiet (Q50 waardes) lijkt rond 2012 iets toegenomen (Supplement 1 Figuur S3). De aanpassing in de RWZI Groesbeek om het lozingswater van de palingkwekerij te zuiveren heeft mogelijk niet alleen geleid tot een hogere chloride concentratie, maar ook tot een toename in stroming en organisch slibafzettingen zoals de macrofaunagemeenschap aangaf.

Hoewel de stroming op basis van de macrofaunagemeenschap iets lijkt toegenomen, is de beek nog onvoldoende geschikt voor de typische soorten van laaglandbeekmilieu's. Het kan worden aanbevolen om hydromorfologische processen en habitatheterogeniteit in de beek verder te verbeteren door middel van:

- Het bovenstreams langer water conserveren, vasthouden en bergen en vertraagd laten afvoeren.
- Het verkleinen van het zomerbed om de stroming bij lage afvoeren te waarborgen door bijvoorbeeld:
 - Het verder (laten) verondiepen van de stroomgeul, bijvoorbeeld met lage bodemdrempels en verzanding.
 - Het aanbrengen van beddingreliëf en structuren, zoals het inbrengen van dood hout.
 - Het achterwege laten van maaibeheer of overgaan tot een sequentie van 2-3 jaar alternerend pluksgewijs maaien.
- Het (verder) aanleggen van beekbegeleidende houtige vegetatie langs de watergang waardoor een deel beschaduwd wordt en de natuurlijke processen van inbreng en afbraak van organisch materiaal worden versterkt. Op langere termijn zal de beekbegeleidende houtige vegetatie zorgen voor beschaduwing waardoor minder maaibeheer nodig is en er meer habitatstructuren ontstaan.
- Verder terugdringen nutriënten in effluent. Deze zorgen voor voedselrijke omstandigheden.

5 Literatuur

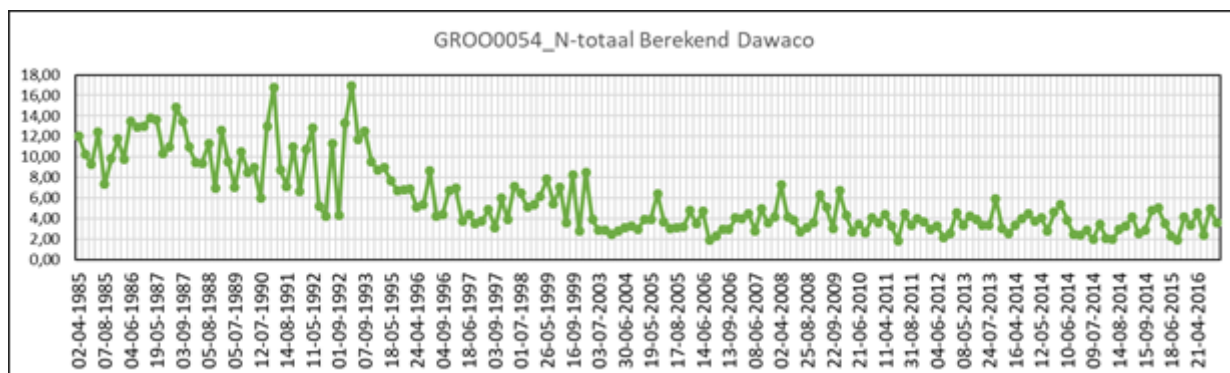
- Altenburg, W., Arts, G., Baretta-Bekker, J. G., van den Berg, M. S., van den Broek Broek, T., Buskens, R., ... & Evers, C. H. M. (2018). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027*. STOWA.
- Friedrich, G., & Herbst, V. (2004). Eine erneute Revision des Saprobiensystems-weshalb und wozu?. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 32(1), 61-74.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson G. L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Van den Brink, P. J., & Braak, C. J. T. (1999). Principal response curves: Analysis of time-dependent multivariate responses of biological community to stress. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 18(2), 138-148.
- Verberk, W. C. E. P., Verdonschot, P. F. M., Haaren, T. V., & Maanen, B. V. (2012). Milieu-en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwater-macrofauna. STOWA.

6 Supplement 1

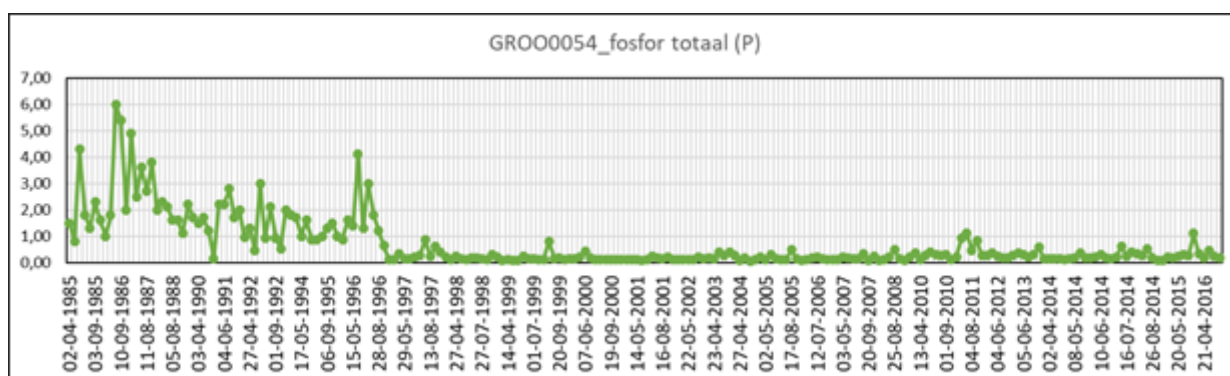
Tabel S1: Overzicht van het aantal beschikbare monsters per locatie en seizoen. Jaar waarin de ijzerchloride dosering is toegenomen is aangegeven met een grijze markering.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Totaal
najaar																														
GROO0003		1																												1
GROO0034		1																												1
GROO0035		1																												3
GROO0036		1			1	1																								3
GROO0040		1																												1
GROO0054		1			1	1			1																					4
GROO0062		1																												1
GROO0081		1																												1
GROO0111		1																												1
voorjaar																														
GROO0003		1								1																				2
GROO0016														1							1					1				1
GROO0017														1									1							5
GROO0018														1																2
GROO0034		1																												2
GROO0035		1			1	1	1																							4
GROO0036		1			1	1	1														1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
GROO0038														1							1		1		1					2
GROO0040		1												1																3
GROO0044										1														1						5
GROO0054	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28
GROO0062		1												1																2
GROO0066																						1					1			3
GROO0081		1																												1
GROO0111		1								1																				2
zomer																														
GROO0016							1											1												1
GROO0035																														1

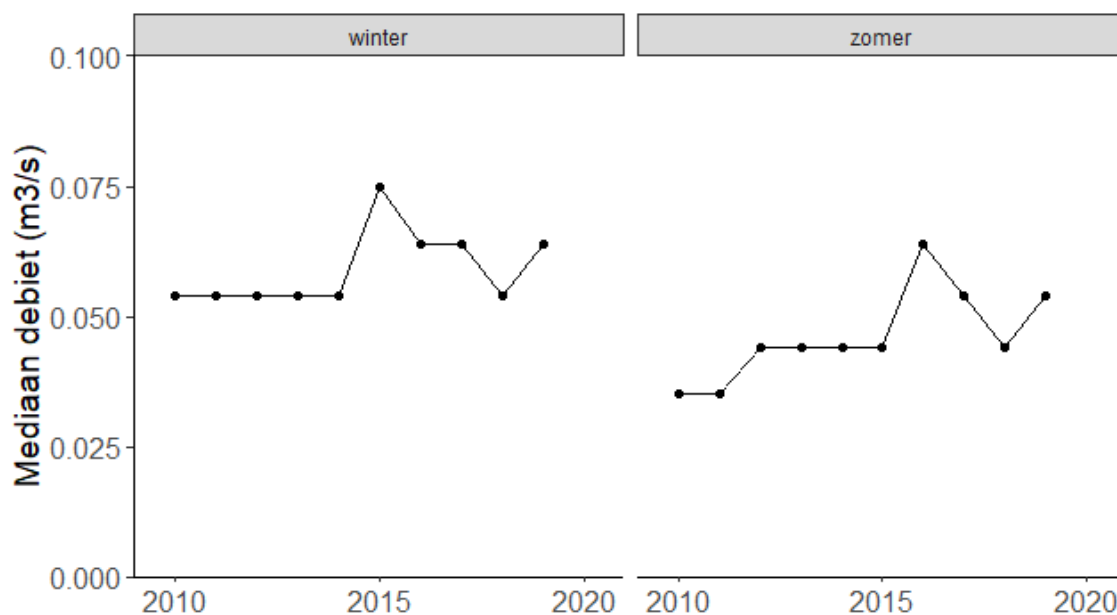
A



B



Figuur S2: Nutriënten concentraties op meetpunt GROO0054 met A) totaal N (mg/L) en B) totaal P (mg/L).



Figuur S3: Mediaan van het zomer en winterdebiet (Q50) bij de stuw Ashorst, net over de grens in Duitsland (Waterschap Rivierenland).