

Rapport

Analyse van het effect van recente droge jaren op de ecologische waterkwaliteit in KRW-waterlichamen van Rijn en IJssel

2026

Waterschap Rijn en IJssel
WATERBEHEER: VEILIG EN OP MAAT

DOCUMENTKENMERKEN	
Projectnaam:	Verantwoording KRW
Auteurs:	Bastiaan van Zuidam (senior ecoloog), Stefan Witteveen, Stef Koop
Opdrachtgever:	Albert Thijssen
Projectleider:	Mireille van Rijn - Bogaart
Projectnummer:	611701
Documentnaam:	Analyse van het effect van recente droge jaren op de ecologische waterkwaliteit in KRW-waterlichamen van Rijn en IJssel
Status:	Definitief

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding ..... Error! Bookmark not defined.
2. Aanpak 8
2.1 Meetgegevens 8
2.2 Analyse abiotische gegevens 11
2.3 Analyse gegevens ecologische waterkwaliteit 12
3. Resultaten 14
3.1 Neerslagtekort 14
3.2 Relatie neerslagtekort en debiet 14
3.3 Watertemperatuur 18
3.4 Zuurstofconcentratie 21
3.5 Relatie EKR Vis met abiotische variabelen 23
3.6 Relatie EKR Macrofauna met abiotische variabelen 33
3.7 Relatie EKR Overige waterflora met abiotische variabelen 39
3.8 Relatie EKR Fytoplankton met abiotische variabelen 46
4. Discussie 47
5. Conclusie 51
Literatuur 53

BESTUURSSAMENVATTING

Dit rapport bevat de statische analyses en duiding van de resultaten van het onderzoek naar de verbanden tussen weersextremen en toestand m.b.t. biologische KRW-doelen. Dit onderzoek is uitgevoerd binnen de context van de KRW-verantwoording SGBP3. Deze bestuurssamenvatting geeft een korte uiteenzetting van de belangrijkste onderzoeksresultaten. Hierbij wordt ook de relatie gelegd met het maatregelenpakket voor SGBP4, zoals vastgesteld door het AB op 30 juni 2026. Ook wordt aangegeven op welke wijze de resultaten doorwerken in de KRW-verantwoording van het waterschap, zoals vastgesteld door het college op 25 augustus 2026.

Ons watersysteem is in het verleden zeer kwetsbaar gemaakt voor de weersextremen die nu plaatsvinden

De meeste van onze KRW-doelen zijn relatief laag, maar kunnen niettemin enkel en alleen gehaald worden indien er voldoende stroming is. In het verleden is ons watersysteem in vergaande mate ingericht op het zo snel mogelijk afvoeren van water. Hierdoor is de grondwateraanvulling beperkt. Voor droge perioden betekent dit dat er weinig voeding van grondwater naar oppervlaktewater plaatsvindt, en er in de waterlichamen nauwelijks nog stroming plaatsvindt. Wanneer droogteperioden toenemen wordt dit effect snel groter. Bovendien zijn, vanwege deze snelle afwatering, onze waterlichamen sterk verbreed, verdiept en vaak rechtgetrokken om de grote afvoerpieken aan te kunnen. Dat betekent dat de stroming nóg sneller wegvalt, omdat het weinige beschikbare water onder droge omstandigheden zich verspreidt over een brede en diepe watergang. Kort gezegd is het watersysteem daarmee dus zeer kwetsbaar gemaakt voor klimaatverandering. Dat betekent aan de andere kant dat er veel mogelijkheden zijn om KRW-waterlichamen en watersysteem klimaatrobuust in te richtingen en daarmee op termijn KRW-doelen te halen. Het gaat hier om relatief kleinschalige maatregelen zoals het versmallen van het natte profiel, het ontwikkelen van bosoevers voor lagere watertemperaturen, hout in de beek voor meer stromingsvariatie en daardoor hogere zuurstofconcentraties of het aanleggen van diepe beschaduwde kommen voor verbeterde overleving van soorten tijdens weersextremen. Ook zet het waterschap in op meer water vasthouden voor landbouw, natuur en landschapsbehoud. Water vasthouden in de bodem draagt ook sterk bij aan het waarborgen van schone stromende beken onder toenemende klimaatverandering. Om deze reden kan het waterschap deze verantwoordingsstrategie toepassen waarin de huidige doelen - ondanks de invloed van klimaatverandering - kunnen worden gehandhaafd.

De mate waarin de weersextremen zijn opgetreden in de planperiode van SGBP3, kon niet worden voorzien

Dit rapport geeft een uitgebreide statische analyse ter onderbouwing van het standpunt dat weersextremen een significante negatieve invloed hebben op de ecologische toestand, en dat daardoor de KRW-doelen niet gehaald konden worden in 2027, ondanks de uitvoering van maatregelen in planperiode 2022-2027. Het rapport toont aan dat deze negatieve invloed door weersextremen met de kennis die beschikbaar was ten tijde van de doelbepaling niet kon worden voorzien. In vergelijking met de KNMI klimaatscenario's van 2014 zien we namelijk dat de KNMI klimaatscenario's van 2023 een sterke toename in jaren met hoge neerslagtekorten geeft, die bovendien al eerder in het voorjaar starten in combinatie met hogere luchttemperaturen dan voorheen ingeschat. De waarnemingen vanaf het jaar 2018 van het waterschap zelf bevestigen dit beeld. Sterker nog, onze waarnemingen laten een nog extremer beeld zien. Omdat het watersysteem binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel vrijwel volledig afhankelijk is van lokale neerslag en verdamping, zijn juist onze KRW-waterlichamen bijzonder kwetsbaar voor

weersextremen. Er zijn recentelijk vijf uitzonderlijk droge jaren voorgekomen. In 2018, 2019, 2020, 2022 en 2025 liep het neerslagtekort op tot tussen de 293 en 381 mm. Ook 2026 gaat zich in dit rijtje van droge jaren scharen. Daarmee zijn deze jaren uitzonderlijk droog: de neerslagtekorten vanaf 2000 t/m 2017 bedroegen gemiddelde 139 mm en enkel de jaren 1911, 1921, 1959 en 1976 hebben vergelijkbaar hoge neerslagtekorten als de bovengemelde recente reeks van droge jaren.

Neerslagtekort, zomerdebiet, watertemperatuur en zuurstofconcentraties zijn gebruikt als indicatoren voor de invloed van droogte op de waterkwaliteit
Het neerslagtekort is het verschil tussen de hoeveelheid water die door verdamping verloren gaat en de hoeveelheid neerslag (regen) die in dezelfde periode valt. Het is daarmee een belangrijke indicator voor de invloed van droogte op onze KRW-waterlichamen. Ook gegevens van het zomerdebiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie zijn geanalyseerd. Deze indicatoren hebben veel met elkaar te maken. Hoger neerslagtekort betekent lagere debieten. De hogere temperaturen - die het neerslagtekort en lagere debieten grotendeels veroorzaken – leidt ook tot een hardere stijging van de watertemperatuur. De lagere hoeveelheid water en gebruik aan aanvoer van koud grondwater leidt tot sneller opwarming van het water. Verlaging van de zuurstofconcentratie – soms tot onder de kritische ondergrens – is hier ook sterk aan gekoppeld. Immers: warmer water heeft minder zuurstof en bij droogval is er helemaal geen zuurstof.

Doorwerking van de resultaten van dit rapport in de onderbouwing van de KRW-uitzonderingsgrond onhaalbaarheid vanwege weersextremen
De statistische analyses in dit rapport tonen niet alleen aan dat er sinds 2018 significant lage zomerdebieten zijn, maar ook dat door hoge luchttemperatuur het water significant warmer is en dat de zuurstofconcentraties significant lager zijn dan in 2010 t/m 2017 (zie sectie 3.1 t/m 3.4). Deze verbanden geven op zichzelf al een goede onderbouwing dat weerextremen niet voorzien hadden kunnen worden ten tijde van het vaststellen van doelen. Dit is een belangrijke juridische voorwaarde voor een geslaagd beroep op deze uitzonderingsgrond. Vervolgens analyseert dit rapport – ter nadere onderbouwing - per waterlichaam de directe relatie tussen indicatoren van weersextremen en de toestand van biologische KRW-doelen vis, macrofauna, overige waterflora en fytoplankton (sectie 3.5 t/m 3.8). Hierbij moet el worden benadrukt dat wanneer hier een statisch significant negatieve relatie wordt gevonden in een waterlichaam, dat dan – ondanks het positieve effect van maatregelen die in deze planperiode 2022-2027 zijn genomen – er toch een significante achteruitgang in de toestand van biologische doelen is. Dat is zeer onwenselijk en extreem. Over het algemeen zien we dit soort verbanden in mindere mate op het niveau van een individuele waterlichamen. Vooral op het niveau van watertypen is een duidelijk verband tussen toestand biologische KRW-doelen en de indicatoren van weersextremen. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de KRW-systematiek stromende typen (R-typen) en stilstaande gegraven typen (M-typen). De onderliggende maatlatten verschillen sterk. Dat betekent dat de soorten die goed scoren voor een M-typen, niet scoren voor een R-typen en omgekeerd.

- Voor R-typen (stromend water) zien we een direct significant negatief verband tussen de toestand en de indicatoren voor weersextremen. Dit betreft 22 van de 32 biologische doelen die niet gehaald worden in ons beheergebied. Dit is dus de belangrijke onderbouwing voor het niet halen van de KRW-doelen die toegepast wordt in de KRW-verantwoording.
- Voor M-typen (stilstaand water) is duidelijk een ander patroon waar te nemen. In deze watertypes zijn de EKR-scores voor vis en macrofauna juist toegenomen en dit valt samen met hogere neerslagtekorten in recente jaren. Deze resultaten zijn niet verassend gezien de maatlatten van deze watertypen. Het wegblijven van neerslag, betekent dat er minder nutriënten inspoelen en er daardoor water helderder blijft. Deze wateren houden vaak water opgestuwd en de soorten die hier tellen voor het KRW-doel hebben geen stroming nodig. In alle waterlichamen met deze stagnante watertypen hebben we de doelen voor vis

bereikt en heeft het dus geen invloed op de KRW-verantwoording. Voor de 10 biologische doelen in stilstaande M-typen die niet gehaald hebben verschillende oorzaken zoals de niet tijdig realisering van fysieke maatregelen (bijv. Grenskanaal), het intreden van de Amerikaanse rivierkreeft (bijv. Wijde Wetering – Zevenaarse Wetering), overmatige inlaat van nutriëntenrijk water (bijv. Bolksbeek). Voor meer detail, zie de Routekaart uitzonderingen biologie zoals opgenomen in bijlage 1 bij het voorstel KRW-verantwoording waterschap Rijn en IJssel SGBP3.

Dit rapport is een achtergronddocument, en waar relevant zal hier steeds naar worden verwezen in de KRW-verantwoording zoals opgenomen in de factsheets. Door de KRW wordt namelijk voor de verantwoording veel waarde gehecht aan empirische en wetenschappelijke onderbouwingen van onhaalbaarheid. In de tweede plaats levert dit rapport belangrijke inzichten om effectieve maatregelen te nemen.

1. INLEIDING

Recentelijk zijn er vijf uitzonderlijk droge en warme jaren voorgekomen (2018, 2019, 2020, 2022, 2025). In deze droge jaren zijn debieten in de waterlichamen lager en treedt er meer afvoerloosheid en droogval op dan in andere jaren. Dit kan ook resulteren in hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties. Uit eerdere studies blijkt dat afvoerloosheid en droogval negatieve gevolgen heeft voor de ecologie, vooral in beken die in gemiddelde weerjaren niet droogvallen of zelfs jaarrond watervoerend blijven (Panagiotopoulos et al., 2026; Verdonschot et al., 2020). Door de klimaatverandering is de verwachting dat de temperatuur verder stijgt en dat droge periodes in de toekomst vaker voor komen en langer duren. Het is daarom relevant om meer inzicht te krijgen in de effecten van droogte op de ecologie in het beheergebied van Rijn en IJssel.

Inzicht in de reactie van het ecosysteem op de uitzonderlijk droge jaren is ook relevant in het kader van de afronding van de derde planperiode van de KRW. Eind 2027 eindigt de derde planperiode van de KRW. De KRW doelen moeten dan bereikt zijn. Het waterschap moet bij de afronding van de derde planperiode verantwoording afleggen voor alle doelen die niet gehaald zijn. Het niet halen van een doel mag volgens de KRW alleen als daar een geldige reden voor is. In die gevallen kan er een beroep worden gedaan op een uitzonderinggrond. Een voorbeeld hiervan is, als een doel niet gehaald is vanwege natuurlijke omstandigheden die aan het begin van de planperiode niet voorzien werden, zoals een calamiteit. Als er sprake is van een achteruitgang als gevolg van uitzonderlijke droogte die niet werd voorzien, dan is dit ook relevant voor de verantwoording.

Dit rapport beschrijft de analyse die is uitgevoerd om, op basis van meetgegevens, na te gaan welk effect de droge jaren hadden op de toestand in de KRW waterlichamen. De mate van droogte is in beeld gebracht aan de hand van het neerslagtekort. Ook is het verloop van abiotische variabelen die beïnvloedt kunnen worden door droogte (debiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie) in beeld gebracht. Tenslotte is nagegaan of er een relatie was tussen het optreden van droogte en de ecologische waterkwaliteit. Onder ecologische waterkwaliteit vallen de KRW-kwaliteitselementen vis, macrofauna, overige waterflora en fytoplankton.

Onderzoeksvragen

Doel van de hier beschreven analyse is om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

Welk effect hebben de recente uitzonderlijk warme en droge jaren gehad op de abiotische omstandigheden en de ecologische waterkwaliteit?

Deze hoofdvraag is uitgesplitst in de volgende 3 deelvragen:

1. Welk effect hebben de droge jaren gehad op de abiotische omstandigheden, kijkend naar neerslagtekort, debiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie in het water?
2. Welk effect hebben de droge jaren gehad op de ecologische waterkwaliteit?
3. Via welke abiotische factoren heeft droogte een effect op de KRW-kwaliteitselementen vis, macrofauna, overige waterflora en fytoplankton?

2. AANPAK

2.1 Meetgegevens

Voor het neerslagtekort is gebruikgemaakt van het potentieel cumulatief neerslagtekort op dagbasis van 2000 t/m 2026 dat door het KNMI is bepaald, specifiek voor het beheergebied van Rijn en IJssel. Voor elk jaar is tussen 1 april en 1 oktober het maximale neerslagtekort bepaald. Voor de debieten is gebruikgemaakt van de gemeten debieten van de meetpunten binnen de KRW waterlichamen. Van deze debietmeetpunten zijn eerst daggemiddelde debieten berekend op basis van de uurgemiddelde waarden. Voor watertemperatuur en zuurstofconcentratie in het water zijn meetgegevens van maandelijkse steekmonsters van het waterschap gebruikt van alle meetpunten in de KRW-waterlichamen.

Voor de ecologische waterkwaliteit is gebruikgemaakt van EKR-scores van de meetpunten in de KRW waterlichamen, voor de kwaliteitselementen vis, macrofauna, overige waterflora en fytoplankton. Hiervoor is de output van de Aquo-kit gebruikt, van meest recente toestandsbeoordeling die bij de start van de analyse beschikbaar was. Dit is de toestandsbeoordeling die in 2025 is uitgevoerd en deze bevat monsters uit 2008 t/m 2024.

Koppeling ecologische waterkwaliteit met abiotische metingen

Voor de analyse van de ecologische waterkwaliteit zijn de biologische meetpunten gekoppeld aan een bijpassend debietmeetpunt en waterkwaliteitsmeetpunt.

Voor elk KRW-waterlichaam zijn is gezocht naar het meest dichtbijgelegen representatieve debietmetingen per meetpunt van de ecologische waterkwaliteit. Doorgaans werden meerdere meetpunten van de ecologische waterkwaliteit aan één debietmeetpunt gekoppeld. De dagdebieten van de geselecteerde debietmeetpunten zijn daarna gebruikt om 10 verschillende variabelen te berekenen om het debiet van het jaar voorafgaand aan de bemonstering van het KRW ecologische waterkwaliteitselementen (het voorgaande jaar) te karakteriseren (tabel 1).

Voor watertemperatuur en zuurstofconcentratie werd elk meetpunt van de ecologische waterkwaliteit gekoppeld met het bijpassende chemische meetpunt dat in hetzelfde waterlichaam ligt. De maandelijkse meetgegevens van de geselecteerde chemische meetpunten zijn vervolgens gebruikt om voor watertemperatuur en zuurstofconcentratie respectievelijk 7 en 6 verschillende variabelen (tabel 1) te berekenen, om het jaar voorafgaand aan de bemonstering van de ecologische waterkwaliteit te karakteriseren. De bemonstering van vis, macrofauna, overige waterflora en fytoplankton vinden op verschillende momenten plaatst. Daarom is voor elke van deze KRW-kwaliteitselementen een andere periode gebruikt om het jaar voorafgaan aan de bemonstering (het voorgaande jaar) te karakteriseren (zie tabel 1).

Tabel 1: periode die gebruikt is om het jaar voorafgaand aan de bemonstering te karakteriseren. De tabel laat een periode van twee kalenderjaren zien. Elke biologische groep is in een eigen kolom weergegeven. In het tweede jaar is de bemonstering aangegeven met 'x'. De gekleurde blokken geven aan van welke maanden de abiotische gegeven gebruikt zijn om het jaar voorafgaand aan de bemonstering te karakteriseren.

maand	seizoen	macrofauna	waterflora	vis	fytoplankton
jan	w				
feb	w				
mrt	l				
apr	l				
mei	l				
jun	z				
jul	z				
aug	z				
sept	h				
okt	h				
nov	h				
dec	w				
jan	w				
feb	w				
mrt	l				
apr	l	x			
mei	l	**x**			x
jun	z		x		x
jul	z		**x**		x
aug	z			x	**x**
sept	h			**x**	x
okt	h			x	
nov	h				
dec	w				
		x = maand waarin bemonstering plaatsvindt			
		x = maand met grootste deel van de bemonstering			

Tabel 2: beschrijving van de abiotische variabelen die in de analyse zijn gebruikt om relaties met de ecologische waterkwaliteit kwantificeren.

Grootheid	Variabele	Omschrijving
neerslagtekort	tekort	neerslagtekort 1 april-1oktober van het jaar van bemonstering
neerslagtekort	tekort.lag1	neerslagtekort 1 april-1oktober van een jaar voor het jaar van bemonstering
debiet	meand	gemiddelde debiet in het jaar voorafgaand aan de bemonstering (het voorgaande jaar)
debiet	meandz	zomergemiddeld debiet, op basis van juni t/m augustus van het jaar van bemonstering
debiet	dp8	8% percentielwaarde van de gemeten debieten in het voorgaande jaar. Dit is een waarde die in dat jaar ca 4 weken werd onderschreden.
debiet	aandd0	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet van 0 m^3/s
debiet	aandd0.05	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan of gelijk aan 0,05 m^3/s
debiet	aanddzgm	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan het zomergemiddelde debiet van de gehele debietreeks
debiet	aandd50.kwart	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan een kwart van de 50% percentielwaarde van de gehele debietreeks
watertemperatuur	meant	gemiddelde watertemperatuur in het voorgaande jaar
watertemperatuur	meantz	zomergemiddelde temperatuur, op basis van juni t/m augustus van het jaar van bemonstering
watertemperatuur	tp10	10% percentielwaarde van de watertemperatuur in het voorgaande jaar
watertemperatuur	tp90	90% percentielwaarde van de watertemperatuur in het voorgaande jaar
watertemperatuur	aandt5	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met watertemperatuur lager dan 5 °C
watertemperatuur	aandt22	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met watertemperatuur hoger dan 22 °C
watertemperatuur	aandt25	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met watertemperatuur hoger dan 25 °C
zuurstofconcentratie	meano	gemiddelde zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar
zuurstofconcentratie	meanoz	zomergemiddelde zuurstofconcentratie, op basis van juni t/m augustus van het jaar van bemonstering
zuurstofconcentratie	op10	10% percentielwaarde van de zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar
zuurstofconcentratie	op90	90% percentielwaarde van de zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar
zuurstofconcentratie	aando5	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met zuurstofconcentratie lager dan 5 mg/l
zuurstofconcentratie	aando10	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met zuurstofconcentratie hoger dan 10 mg/l

2.2 Analyse abiotische gegevens

Neerslagtekort

Het maximale neerslagtekort per jaar is uitgezet in een staafdiagram. De verschillen zijn visueel beoordeeld.

Debiet

Voor de geselecteerde debietmeetpunten zijn reeksen met daggemiddelde debieten berekend (gemiddeld debiet per dag in m^3/s). De verwachting was dat hogere neerslagtekorten leiden tot lagere debieten. Om na te gaan of de jaren met een uitzonderlijk hoog neerslagtekort ook geleid hebben tot lagere debieten is de relatie tussen neerslagtekort en debiet in beeld gebracht op basis van de meetgegevens. Dit is gedaan door de gemiddelde debieten per maand te berekenen. Deze maandgemiddelde debieten zijn vervolgens uitgezet tegen het gemiddelde neerslagoverschot van de betreffende maand. Deze grafieken zijn voor alle debietmeetpunten gemaakt en het patroon in deze grafieken is aan de hand van één voorbeeld zichtbaar gemaakt.

Watertemperatuur en zuurstofconcentratie

Om meer inzicht te krijgen in het verloop van de watertemperatuur en de zuurstofconcentratie in de tijd zijn GAM (Generalized Additive Models) regressiemodellen gebruikt. In deze GAM modellen was watertemperatuur of zuurstofconcentratie de onafhankelijke variabele. Om verschillende aspecten van het tijdsverloop te analyseren werden meerdere afzonderlijke regressiemodellen gemaakt. In elk regressiemodel werd een andere verklarende variabelen opgenomen en geïnterpreteerd:

- De trend over de hele meetreeks is bepaald door de datum op te nemen als verklarende variabelen.
- Het verschil tussen vóór en na 2018 is bepaald door een factor “vanaf 2018” op te nemen. Deze factor was 0 in 2010-2017 en 1 in 2018-2025.
- Om de verschillen tussen jaren inzichtelijk te maken werden jaren als factor opgenomen.
- Om voor elk seizoen de verschillen tussen jaren inzichtelijk te maken werden jaren en seizoenen (beide als factor) en hun interactie-effect opgenomen als verklarende variabelen.

In alle regressiemodellen is ook rekening gehouden met het (storende) effect van verschillen tussen meetpunten, fluctuatie door het jaar (seizoenen) en het tijdstip van bemonstering. Dit is gedaan door meetpunt, dag van het jaar en tijdstip van bemonstering ook op te nemen als afhankelijke variabelen. Voor deze laatste twee is een vloeiende, niet-lineaire relatie gefit door een smooth-functie op te nemen voor deze termen.

Het effect van de verklarende variabele van interesse is getoetst met een anova. De verschillen tussen jaren zijn voor de hele meetreeks en per seizoen in beeld gebracht met post-hoc tests. Hiervoor werden de jaren paarsgewijs vergeleken en getoetst welke paren van jaren significant van elkaar verschilden. Bij het model regressiemodel met seizoenen als verklarende variabele werden binnen elk seizoen de jaren paarsgewijs vergeleken. Een verschil werd significant beschouwd als deze een overschrijdingskans $p < 0,05$ had en de methode van Sidak werd toegepast om te corrigeren voor meervoudige vergelijkingen. Vervolgens werden jaren die onderling verschilden aangegeven met verschillende letters, zodat homogene subsets zichtbaar werden als groepen van jaren met gemeenschappelijke letters. Deze letters werden gebruikt in boxplots van de watertemperatuur of zuurstofconcentratie per jaar voor de hele meetreeks en opgesplitst per seizoen.

De GAM modellen werden gefit met de R package mgcv versie 1.9-4. Voor de paarsgewijze vergelijkingen werd de 'emmeans' functie uit de R package emmeans versie 2.0.2 gebruikt. De 'cld' functie uit de R package multcomp versie 1.4-30 werd gebruikt voor de compacte letterweergave van homogene subsets.

2.3 Analyse gegevens ecologische waterkwaliteit

Regressie model

Om de invloed van neerslagtekort, debieten, watertemperatuur en zuurstofconcentratie in het water op de ecologische waterkwaliteit te kwantificeren is voor de KRW-kwaliteitselement vis, macrofauna, overige waterflora en fytoplankton een aparte regressieanalyse uitgevoerd.

In deze regressiemodellen vormde de EKR-score de response variabele en werd een selectie van abiotische variabelen gebruikt als verklarende variabelen. Hierbij is gebruikgemaakt van lineair mixed regressiemodellen (lmer uit de lme4 package). In alle regressiemodellen, behalve die voor fytoplankton, is een random intercept per ecologiemeetpunt meegenomen. Dat is gedaan om er rekening mee te houden dat waarnemingen van het zelfde meetpunt meer op elkaar lijken dan waarnemingen van verschillende meetpunten. Een tweede reden om een random intercept per meetpunt op te nemen, is om er rekening mee te houden dat de abiotische meetgegevens van één debiet- of chemiepunt voor meerdere ecologiemeetpunten werd gebruikt.

In de regressiemodellen voor fytoplankton werd geen random effect opgenomen, omdat fytoplankton op slechts één meetpunt per waterlichaam wordt gemeten en een random effect per meetpunt dus niet te onderscheiden is van een (interactie)effect van het waterlichaam. Daarom werd er bij fytoplankton een conventionele (niet mixed) lineaire regressie toegepast.

Vooraf werden ook modellen geprobeerd met een random intercept per meetpunt (1 + variabele | meetpunt) en met random effect met een geneste structuur van meetpunten binnen waterlichamen (1 | waterlichaam/meetpunt). Deze complexere regressiemodellen leverden problemen op met de modelfit en zijn daarom niet gebruikt voor de analyse.

De response variabele, de EKR-scores, is begrensd tussen 0 en 1. Deze variabele voldoet hierdoor duidelijk niet aan de eisen van het lineaire regressiemodel. De EKR-scores zijn daarom eerst logit getransformeert (Warton 2011). Hiervoor is eerst een constante van 0.01 resp. opgeteld en afgetrokken bij de EKR-scores van 0 en 1. Daarna is de EKR-score logit getransformeert: EKR' = log(EKR / (1 - EKR)). Een alternatief zou zijn om een generalized lineair model te gebruiken met een logit-linkfunctie en waarin een quasi-binominale error-verdeling wordt aangenomen. Dit is niet gedaan, omdat dit niet mogelijk is als mixed model, in combinatie met het random intercept per meetpunt.

Voor de regressieanalyse de lmer functie gebruikt uit de lme4 package in R versie 4.5.3.

Selectie van abiotische variabelen

Voor elke verklarende variabele afzonderlijk is bepaald hoe goed deze de variatie in de EKR-scores verklaarde. Voor elke grootheid (neerslagtekort, debiet, watertemperatuur, zuurstofconcentratie) is de best verklarende variabele gekozen en deze werd gebruikt in de verdere analyse.

Hiervoor is voor elke kandidaatvariabele een regressiemodel gefit met daarin de volgende verklarende variabelen:

- watertype (niveau per watertype),
- het directe effect van de abiotische variabele (helling),

- het interactie-effect van de abiotische variabele en watertype (helling per watertype),
- het effect van waterlichaam (niveau per waterlichaam) en
- het interactie-effect van de abiotische variabele en waterlichaam (helling per waterlichaam).

In pseudo R-code zag dit regressiemodel er als volgt uit:
mod <- lmer(EKR' ~ watertype + variabele + variabele:watertype + waterlichaam + variabele:waterlichaam + (1 | eco-meetpunt) , …)

Van elk regressiemodel is de AIC-waarde (Akaike Information Criterion) en deze AIC-waarde is gebruikt om de best verklarende variabelen te selecteren. Binnen elke grootheid is gezocht naar het regressiemodel met de laagste AIC-waarde en de abiotische variabele in dat model werd beschouwd als de best verklarende variabele voor die grootheid.

Van het geselecteerde regressiemodel met de best verklarende variabele werd het effect van elke term getoetst met een type III analysis of variance table met F-toetsen en p-waardes gebaseerd op de methode van Satterthwaite voor het aanpassen van vrijheidsgraden en het bepalen van de F-waarde.

Als het interactie-effect van een abiotische variabele met het watertype en of waterlichaam significant was, dan is er ook gekeken bij welke watertypes en/of bij welke waterlichamen er sprake was van een significante relatie tussen de abiotische variabele en de EKR-score. Om een eenduidig beeld te krijgen van de relatie per watertype en waterlichaam respectievelijk, zijn eenvoudigere regressiemodellen gebruikt, waar het effect van andere factoren uit werd weggelaten:

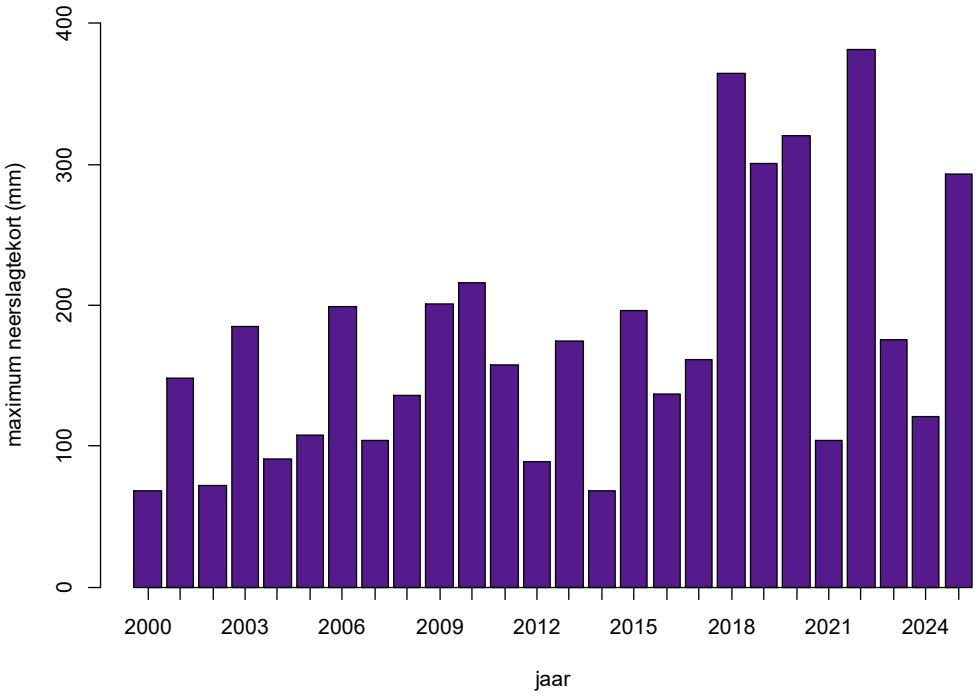
- De relaties per watertype zijn beoordeeld op basis van een regressiemodel met daarin het directe effect van watertype, het interactie-effect van het watertype en de abiotische variabele en een random intercept per meetpunt. In pseudo R-code:
  mod6 <- lmer(EKR' ~ watertype + variabele:watertype + (1 | eco-meetpunt) , …)
- De relaties per waterlichaam zijn beoordeeld op basis van een regressiemodel met daarin het directe effect van waterlichaam, het interactie-effect van het waterlichaam en de abiotische variabele en een random intercept per meetpunt. In pseudo R-code:
  mod7 <- lmer(EKR' ~ waterlichaam + variabele:waterlichaam + (1 | eco-meetpunt) , …)

De parameterschattingen van deze modellen werden gebruikt om te beoordelen bij welke watertypes en waterlichamen er sprake was van een significante relatie met de abiotische variabele. Er werd een t-toets uitgevoerd (gecorrigeerd met Satterthwaite's methode) en de relatie werd significant geacht als de parameterschatting volgens deze t-toets significant afweek van 0, bij een overschrijdingskans van 5% ($p < 0,05$).

3. RESULTATEN

3.1 Neerslagtekort

Recentelijk zijn er uitzonderlijk droge jaren voorgekomen. In 2018, 2019, 2020 2022 en 2025 werd een neerslagtekort bereikt van 293 tot 381 mm (zie figuur 1). Daarmee waren deze jaren duidelijk droger dan de andere jaren. Het maximum neerslagtekort van de vijf droge jaren was gemiddeld 332 mm, terwijl het maximum neerslagtekort in de andere jaren sinds 2000 gemiddeld 139 mm was (varieerde tussen de 68 en de 216 mm). Enkel de zomers van 1911, 1921, 1959 en 1976 waren net zo droog of zelfs nog droger, maar deze vallen buiten de scope van deze studie.



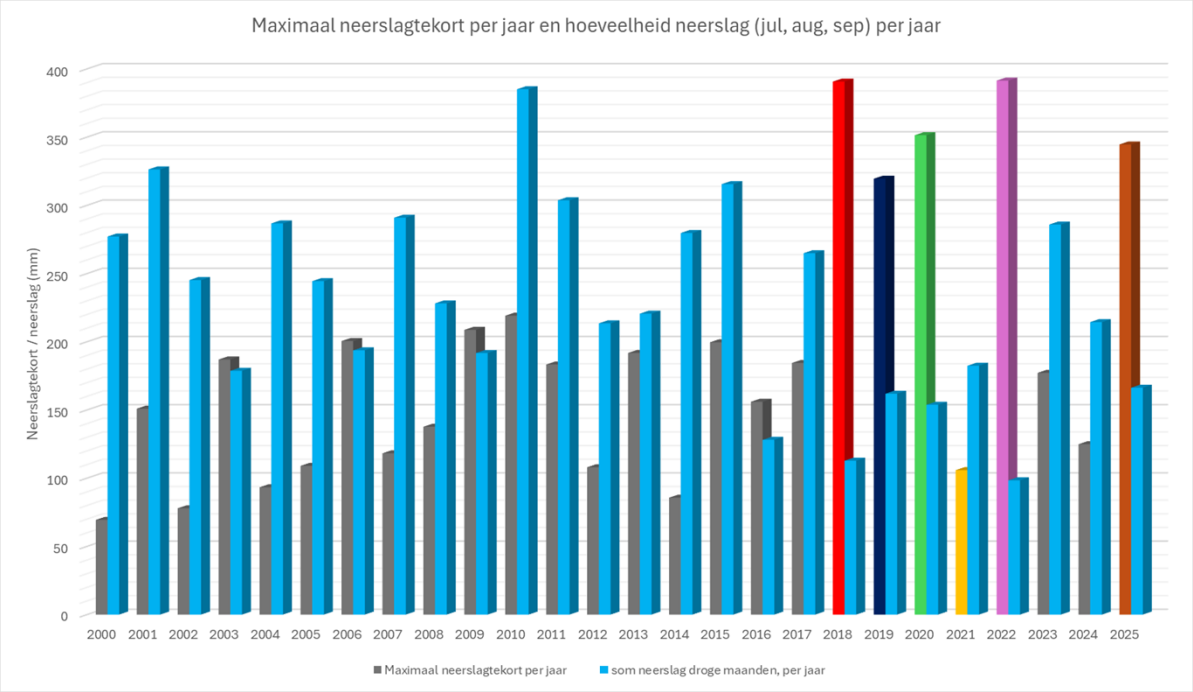
Figuur 1: maximum neerslagtekort (1 april tot 1 oktober) per jaar in het beheergebied van Rijn en IJssel.

3.2 Relatie neerslagtekort en debiet

Een groot neerslagtekort geeft aan dat het droog is. De verwachting is dat, naarmate het neerslagtekort toeneemt, er ook minder water tot afvoer komt in de waterlichamen. Om na te gaan of de jaren met een uitzonderlijk hoog neerslag tekort ook geleid hebben tot lagere debieten is de relatie tussen neerslagtekort en debiet in beeld gebracht op basis van de meetgegevens.

Neerslagtekort

Op basis van de neerslag en verdamping van het KNMI station Winterswijk is het neerslagtekort berekend. In figuur 2 zijn de jaarlijkse maximale neerslagtekorten in mm gepresenteerd.



Figuur 2: maximaal neerslagtekort en cumulatieve neerslag van juli-sept per jaar.

Uit de grafiek is af te lezen dat t/m 2017 het neerslagtekort nagenoeg altijd onder de 200 mm is gebleven. In 2018 is bijna een verdubbeling van het tekort ten opzichte van het jaar daarvoor met een tekort van 390 mm, evenals 2022. Daarnaast zijn de jaren 2019, 2020 en 2025 jaren met fors hogere neerslagtekorten die ruim boven 300 mm liggen.

De kolommen met de hoogste neerslagtekorten zijn gekleurd. Deze kleuren komen terug bij de analyses van de debieten. Het jaar 2021 is ook gekleurd, omdat dat jaar in de laatste vijf jaar het laagste neerslagtekort had, zodat die dan ook weer terug te zien moeten zijn in de debietanalyse.

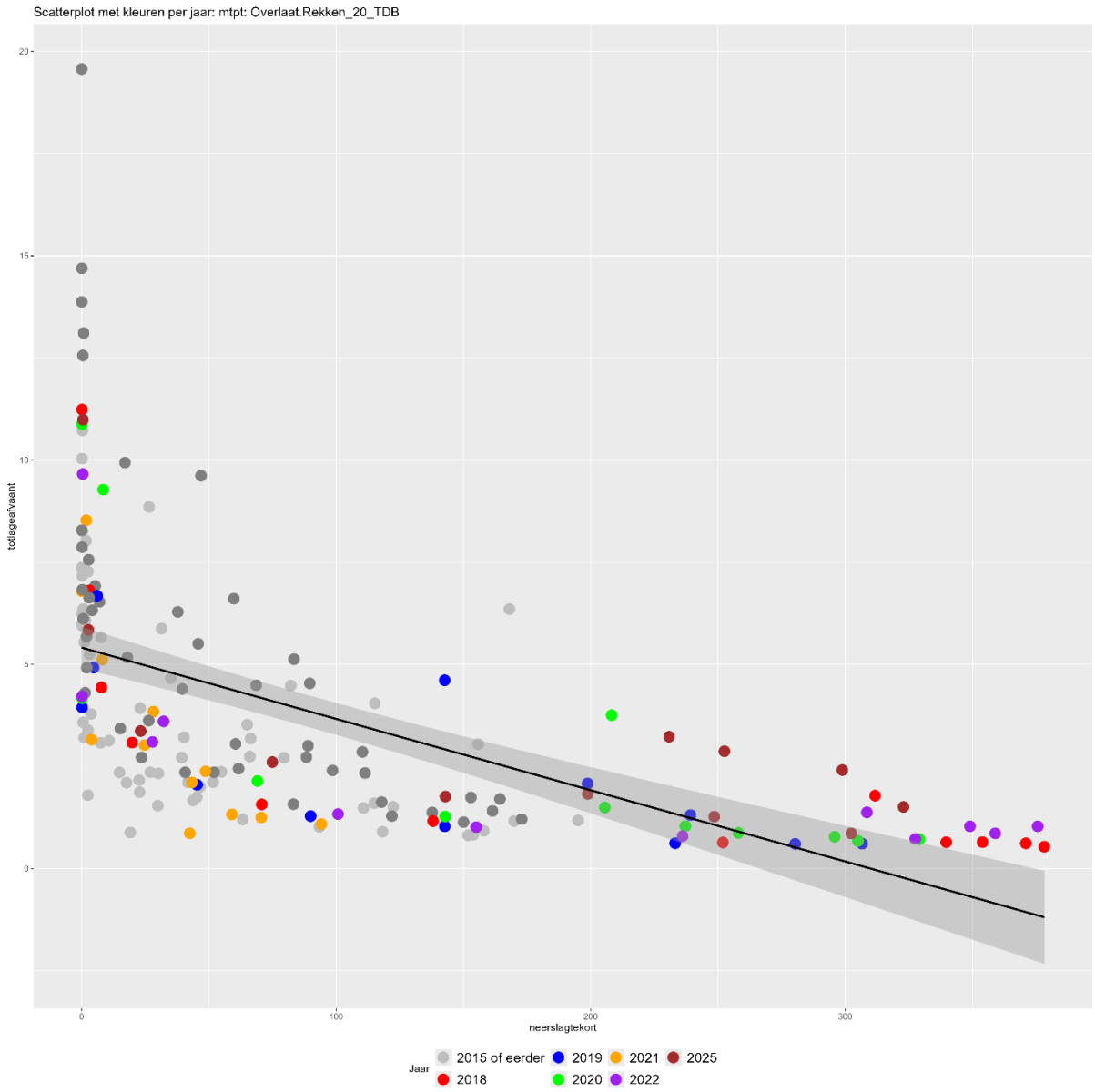
Debiet

Voor de KRW waterlichamen in het beheergebied zijn de meetpunten voor de 4 KRW-kwaliteitselementen voor ecologische waterkwaliteit gekoppeld aan de meest dichtbij gelegen debietmeetpunten. Op basis van de lijst die daaruit is gekomen zijn reeksen met debieten samengesteld op basis van gemiddeld debiet in m^3/s per dag.

Om de relatie tussen debiet en neerslagtekort te duiden zijn de gemiddelde debieten per maand afgeleid uit de datasets van de debietmeters. Deze gemiddelde maanddebieten zijn vervolgens uitgezet tegen het gemiddelde neerslagoverschot per maand. Vervolgens zijn de grafieken beoordeeld op twee aspecten, namelijk:

1. Is te zien dat bij een hoger neerslagtekort op de x-as, er sprake is van een duidelijke afname in debiet?
2. Is het in de relatie terug te zien dat de jaren met hoge neerslagtekorten ook daadwerkelijk de laagste debieten hebben?

Deze twee aspecten zijn onderzocht voor alle debietmetingen in dit onderzoek. Onderstaand is één voorbeeld uitgewerkt (zie figuur 3).

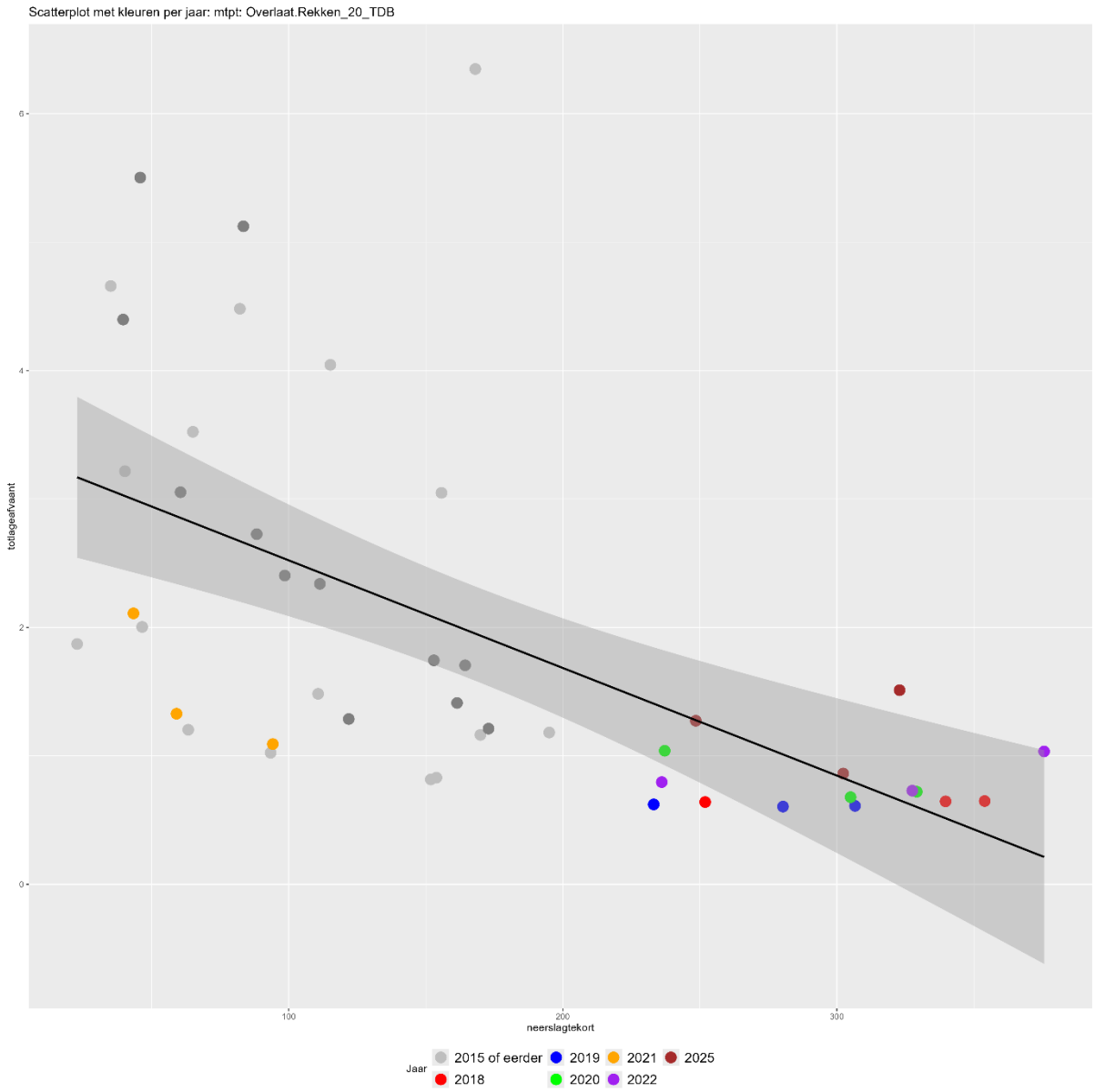


Figuur 3: relatie tussen het neerslagtekort per maand en het maandgemiddelde debiet voor meetpunt overlaat Rekken.

In figuur 3 is de lineaire trend weergegeven voor het gemiddelde debiet per maand (op de y-as) tegen het gemiddelde neerslagtekort per maand (x-as). Het betreft het debietmeetpunt in de Berkel bij de overlaat in Rekken. Er is gekeken naar alle maanden. De bolletjes zijn gekleurd per jaar. Aan de linkerkant van de grafiek zijn veel hogere debieten te zien bij een neerslagtekort van 0 mm. Dit is vooral het geval in de wintermaanden. Naarmate de zomer vordert is de verwachting dat het debiet afneemt met toenemend neerslagtekort.

Wat al wel duidelijk opvalt is dat de jaren met de grootste neerslagtekorten zich ook bevinden aan de rechterkant van de grafiek. Het effect van de droogte heeft daar dus duidelijk effect gehad. 2018 en 2022 liggen helemaal aan de buitenzijde. De kleuren komen overeen met de gekleurde kolommen in het histogram met de neerslagtekorten. Ter controle is ook te zien dat de oranje bolletjes (een van de laatste jaren maar met een klein neerslagtekort, zich ook weer aan de linkerzijde van de grafiek bevindt.

Hoewel er duidelijke neerwaartse trend zichtbaar is, lijkt deze nog vertroebeld door de wintermaanden met geen neerslagtekort en wel hoge debieten. Om dat uit te sluiten is de stap gemaakt om naar de droogste maanden in het jaar te kijken, te weten: juli, augustus en september (zie figuur 4).



Figuur 4: Relatie tussen het neerslagtekort per maand en het maandgemiddelde debiet voor meetpunt overlaat Rekken. In deze grafiek zijn alleen de gegevens van juli, augustus en september weergegeven.

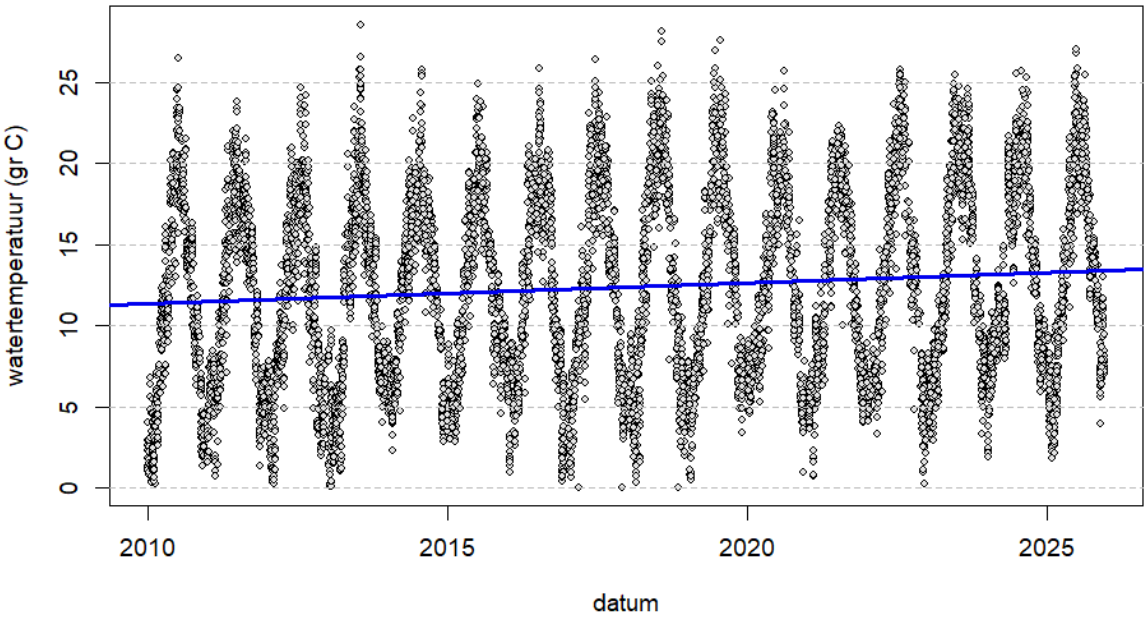
Het beeld van de droge zomermaanden maken nog meer duidelijk dat er in de droge periode een duidelijke relatie is tussen neerslagtekort en afnemende debieten. Ook is duidelijk dat de laatste jaren met de hoge neerslagtekorten ook allemaal gemiddeld genomen zeer lage debieten hebben.

Hiermee kan geconcludeerd worden dat met de laatste warmere, drogere jaren er een duidelijk effect zichtbaar is op de afvoeren in de beken van het waterschap. Het geschetste beeld voor dit debietpunt is overeenkomstig met alle andere onderzochte debietpunten.

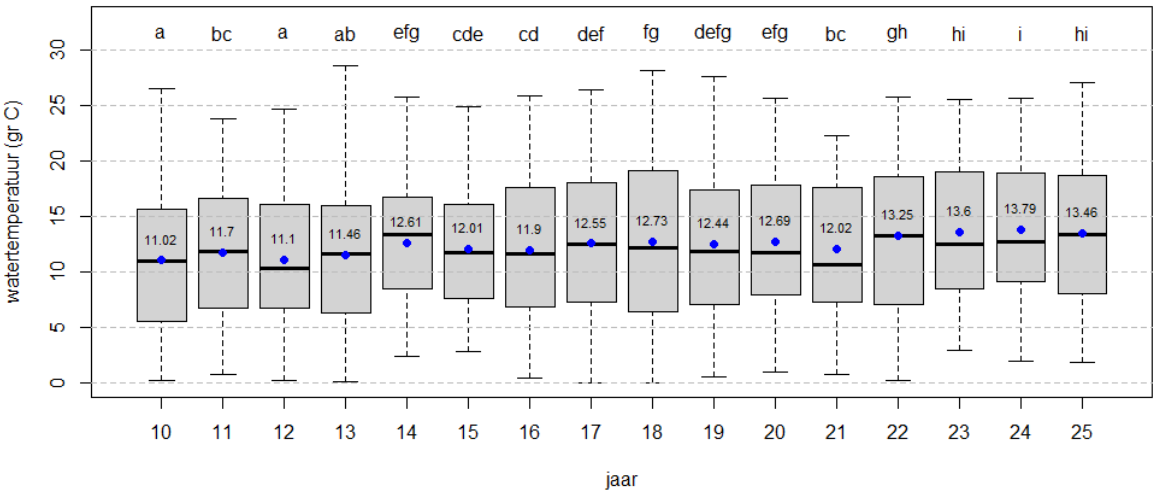
3.3 Watertemperatuur

Verschillen tussen jaren

De watertemperatuur vertoont een significante positieve trend ($F(1, 8757) = 545$, $p < 0{,}0001$; figuur 5). De watertemperatuur stijgt gemiddeld met 0,13 graden per jaar en is over de hele meetreeks 1,9 graden gestegen. Vanaf 2018 was de watertemperatuur gemiddeld 0,93◦C hoger dan daarvoor en dit verschil is significant ($F(1, 8757) = 323$, $p < 0{,}0001$). Een vergelijking tussen de jaren laat zien dat de laatste vier jaren van de reeks (2022 t/m 2025) opvallend warm waren, en significant ($p < 0.05$) warmer waren dan 2010 t/m 2017 (figuur 6). De jaren 2018 t/m 2020 nemen een tussenpositie in. Daarentegen was 2021 relatief koel.



Figuur 5: Gemeten watertemperatuur uitgezet tegen de tijd met lineaire trendlijn. De metingen zijn afkomstig van de maandelijkse bemonstering van meetpunten in de KRW waterlichamen. De watertemperatuur is significant toegenomen ($p < 0{,}0001$).

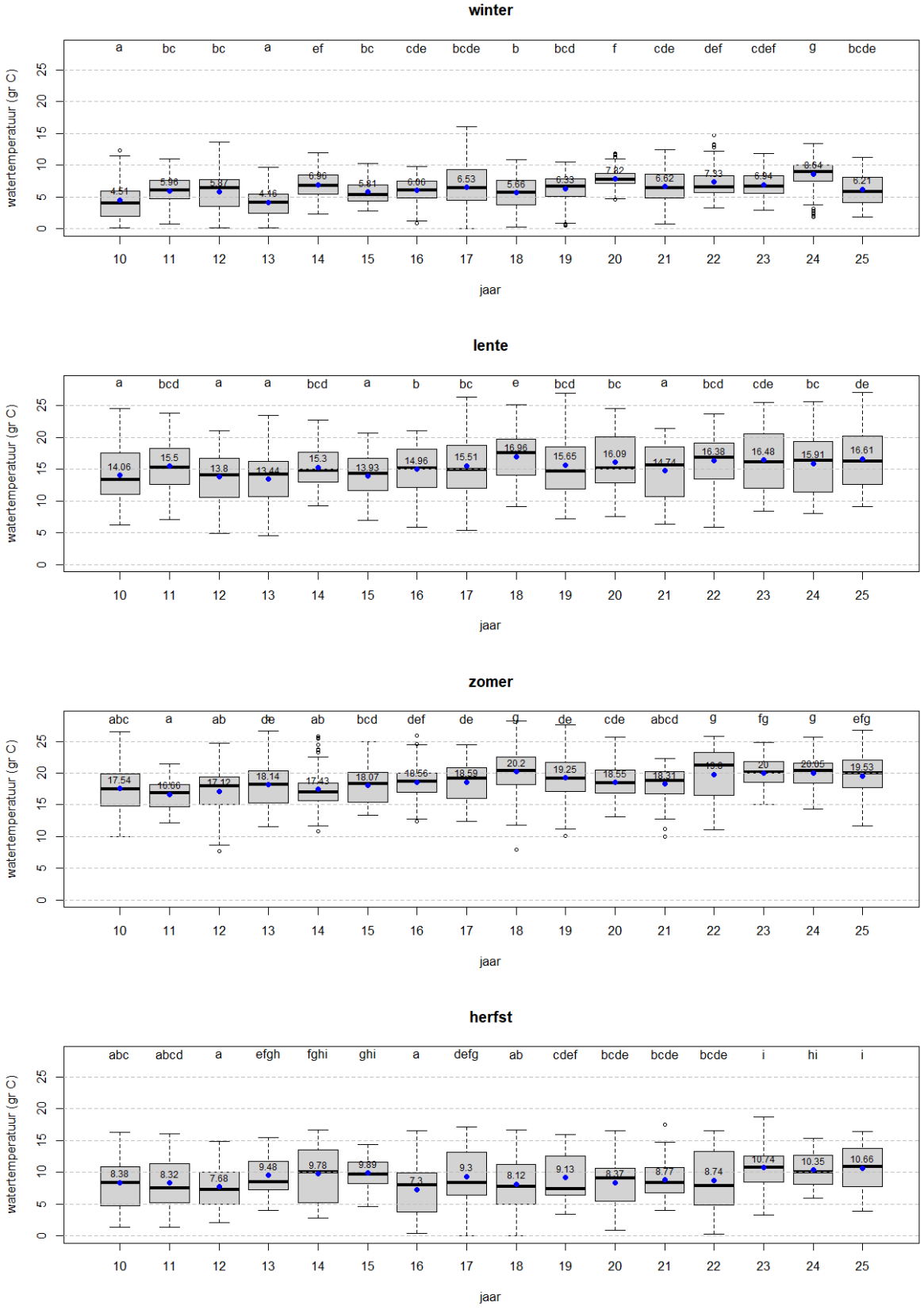


Figuur 6: Boxplot van de watertemperatuur per jaar. De gemiddelde jaartemperatuur is met een blauw punt aangegeven. De letters boven de grafiek geven de homogene subsets weer. Jaren die geen letter gemeenschappelijk hebben verschillen significant van elkaar ($p < 0,05$).

Verschillen tussen jaren per seizoen

De opwarming in de loop van de jaren is ook zichtbaar in het verloop van de watertemperatuur per seizoen afzonderlijk (figuur 7). Bij elk van de seizoenen geldt dat de gemiddelde watertemperatuur aan het einde van de meetreeks doorgaans hoger is dan aan het begin. Dit verschil is in de zomer (ca 3 graden) groter dan in de andere drie seizoenen (ca 2 graden). Vooral in de zomer en de herfst komen opvallend warme jaren voor aan het einde van de meetreeks. In de winter en lente is dit minder uitgesproken.

- In de zomers van 2018, 2022, 2023, 2024 en 2025 was het water significant warmer dan in de andere jaren.
- In de herfsten van 2023 t/m 2025 was het water warmer dan in de andere jaren. 2013 t/m 2015 waren ook opvallend warm.
- De winters van 2020 en 2024 waren warmer dan andere jaren. 2014 was ook opvallend warm.
- De lentes van 2018, 2023 en 2025 waren warmer dan andere jaren.



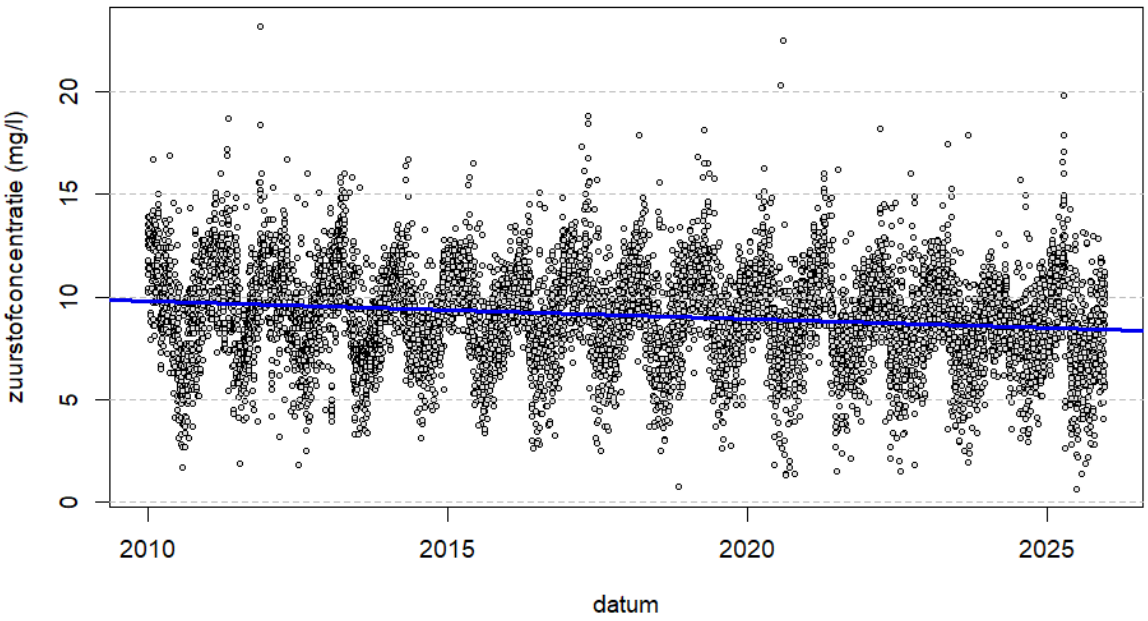
Figuur 7: Boxplot van de watertemperatuur per seizoen en per jaar. Elk paneel geeft een seizoen weer, de jaren staan naast elkaar. Het blauwe punt en het bijbehorende getal geven het jaargemiddelde aan. De letters boven de grafiek geven de homogene subsets weer. Jaren die geen letter gemeenschappelijk hebben verschillen significant van elkaar ($p < 0,05$).

3.4 Zuurstofconcentratie

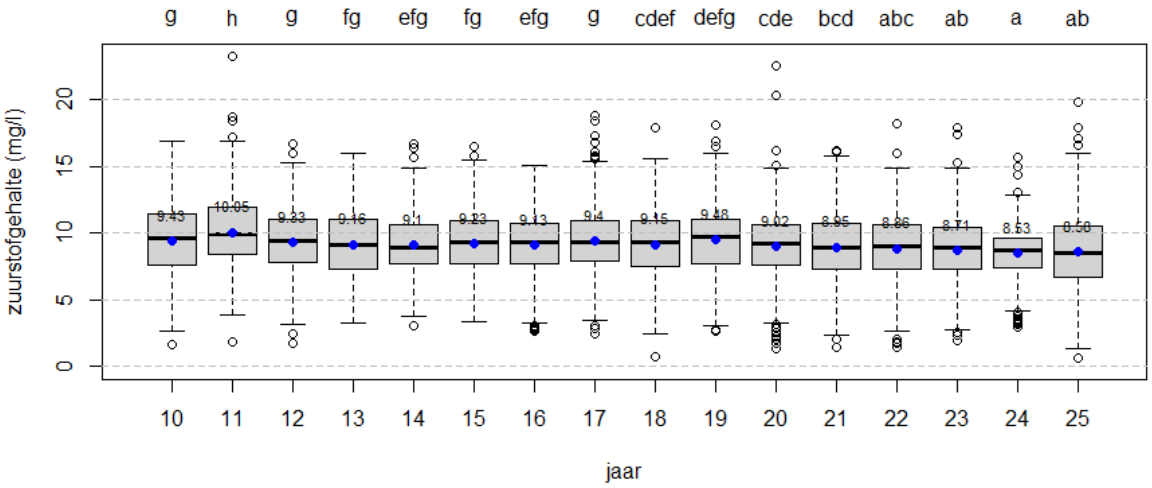
Verschillen tussen jaren

De zuurstofconcentratie vertoont een significante negatieve trend ($F(1, 8758) = 365$, $p < 0{,}0001$; figuur 8). De zuurstofconcentratie is gemiddeld met 0,088 mg/l per jaar afgenomen, over de hele meetreeks is dit gemiddeld een afname van 1,31 mg/l. Vanaf 2018 was de zuurstofconcentratie gemiddeld 0,69 mg/l lager dan daarvoor en dit verschil was significant ($F(1, 8756) = 259$, $p < 0{,}0001$).

Een vergelijking tussen de jaren laat zien dat de zuurstofconcentratie in 2021-2025 significant lager was dan in 2010-2017 (figuur 9). De zuurstofconcentraties in 2018-2020 nemen een tussenpositie in.



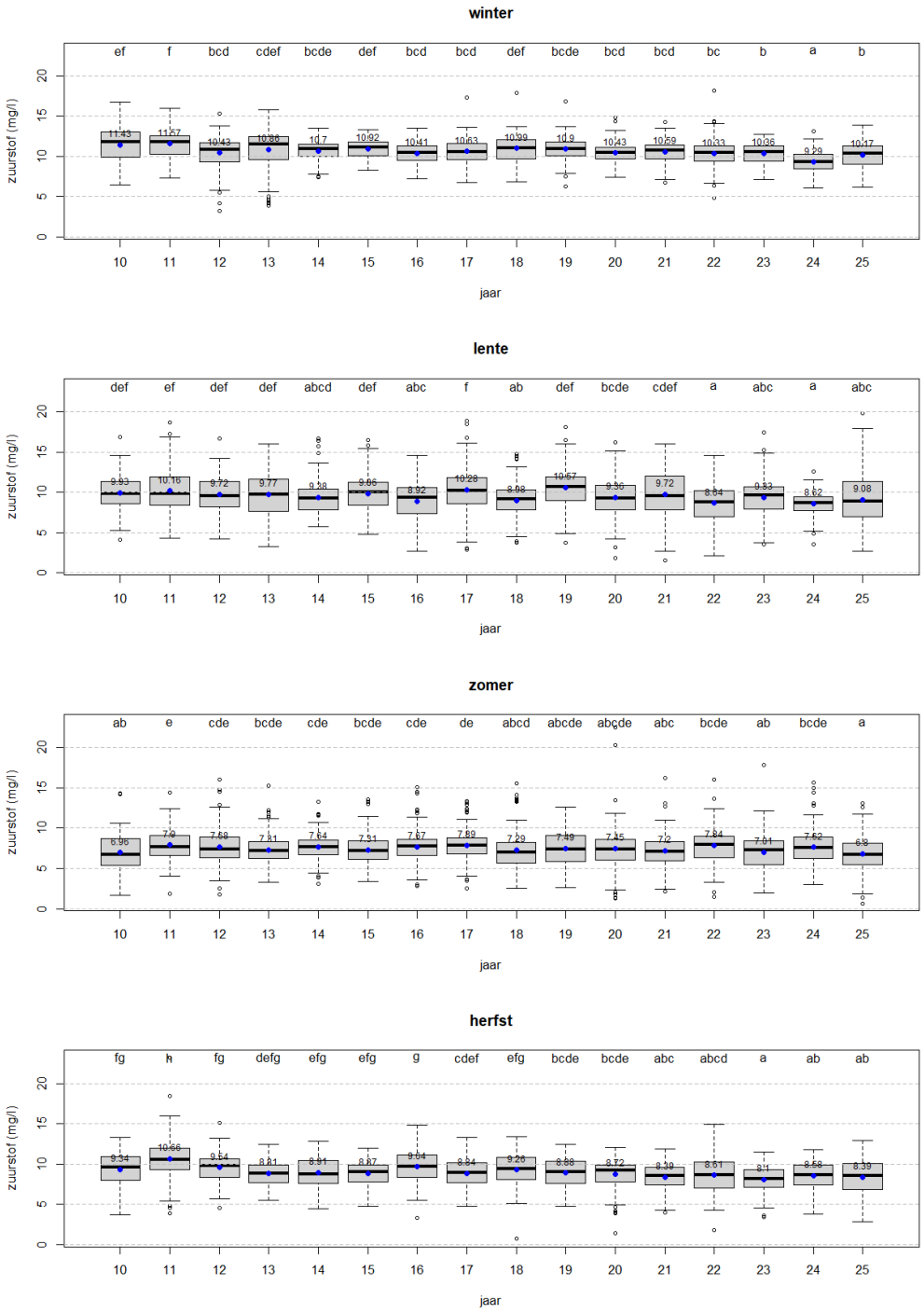
Figuur 8: Gemeten zuurstofconcentratie uitgezet tegen de tijd met lineaire trendlijn. De dalende trend is significant (p<0,0001).



Figuur 9: Boxplot van het zuurstofconcentratie per jaar. De blauwe stip en het bijbehorende getal geven het jaargemiddelde aan. De letters boven de grafiek geven de homogene subsets weer. Jaren die geen letter gemeenschappelijk hebben verschillen significant van elkaar ($p < 0{,}05$).

Verschillen tussen jaren per seizoen

De afname van de zuurstofconcentratie over de jaren is ook zichtbaar in het verloop van de zuurstofconcentratie per seizoen afzonderlijk (figuur 9). Bij elk seizoen is het gemiddelde zuurstofconcentraties aan het einde van de meetreeks doorgaans lager dan aan het begin. Dit verschil lijkt het grootste te zijn in winter en de herfst (afname ca 1,5 mg/l), minder in de lente (afname ca 1 mg/l) en het minste in de zomer (afname < 1 mg/l). In de herfsten van 2021 t/m 2025 was de gemiddelde zuurstofconcentratie significant lager dan in de herfsten van 2010 t/m 2016.



Figuur 7: Boxplot van de zuurstofconcentratie per seizoen en per jaar. Elk paneel geeft een seizoen weer, de jaren staan naast elkaar. Het blauwe punt en het bijbehorende getal geven het jaargemiddelde aan. De letters boven de grafiek geven de homogene subsets weer. Jaren die geen letter gemeenschappelijk hebben verschillen significant van elkaar ($p < 0,05$).

3.5 Relatie EKR Vis met abiotische variabelen

Best verklarende variabelen

Voor elke abiotische grootheid (neerslagtekort, debiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie) werden significante relaties met de EKR-scores voor vis gevonden (tabel 4). De best verklarende abiotische variabelen waren tekort, aandd50.kwart, meantz en op10.

Tabel 4: best verklarende abiotische variabele per grootheid.

Grootheid	Variabele	Omschrijving
neerslagtekort	tekort	neerslagtekort 1 april-1oktober van het jaar van bemonstering
debiet	aandd50.kwart	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan een kwart van de 50% percentielwaarde van de gehele debietreeks
watertemperatuur	meantz	zomergemiddelde watertemperatuur van het jaar van bemonstering, op basis van juni t/m augustus
zuurstofconcentratie	op10	10% percentielwaarde van de zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar

Significante relaties

Het directe effect van de abiotische variabelen was bij 3 van de 4 abiotische variabelen niet significant, maar de interactie-effecten van de abiotische variabele met watertype en waterlichaam wel (tabel 4b). De EKR-scores vertoonden dus wel een relatie met de abiotische variabelen, maar de helling van die relatie verschilde tussen watertypen en tussen waterlichamen. Debiet vormde hier een uitzondering op: bij de debiet-variabele was het directe effect wel significant en het interactie-effect van debiet met watertype niet. Net als bij de andere variabelen was bij debiet het interactie-effect met waterlichaam ook significant. Verder laten de resultaten zien dat de EKR-scores voor vis wezenlijk verschilden tussen watertypes en tussen waterlichamen, want watertype en waterlichaam droegen in alle gevallen significant bij aan de fit van het regressiemodel (tabel 4b).

Voor de variabelen waarbij het interactie-effect met watertype of waterlichaam significant was, geven tabellen 5 en 6 een overzicht van respectievelijk de watertypes en de waterlichamen waarvoor een significante relatie werd gevonden. Deze relaties worden onder de tabellen verder besproken.

Tabel 4b: p-waardes van de relatie van de EKR-score voor vis met de abiotische variabelen, watertype, waterlichaam en interactie-effecten. Significante relaties ($p < 0,05$) zijn groen gearceerd.

Grootheid >>	**neerslagtekort**	**debiet**	**temperatuur**	**zuurstof**
Variabele >>	tekort	aandd50.kwart	meantz	op10
Modelterm				
variabele (direct effect)	0,494	0,031	0,369	0,783
watertype	<0,001	<0,001	0,014	<0,001
variabele per watertype	0,002	0,066	0,002	0,003
waterlichaam	<0,001	<0,001	0,003	0,001
variabele per waterlichaam	0,008	0,006	0,003	<0,001

Tabel 5: Overzicht van significante relaties op het niveau van watertypes. De tabel is gebaseerd op het interactie-effect van de betreffende parameter met watertype. Enkel de significante relaties zijn opgenomen in de tabel en het symbool geeft aan of de relatie positief (+) of negatief (-) is. Het aantal sterren geeft de p-waarde aan: * bij p < 0,05, ** bij p < 0,01 en *** bij p < 0,001.

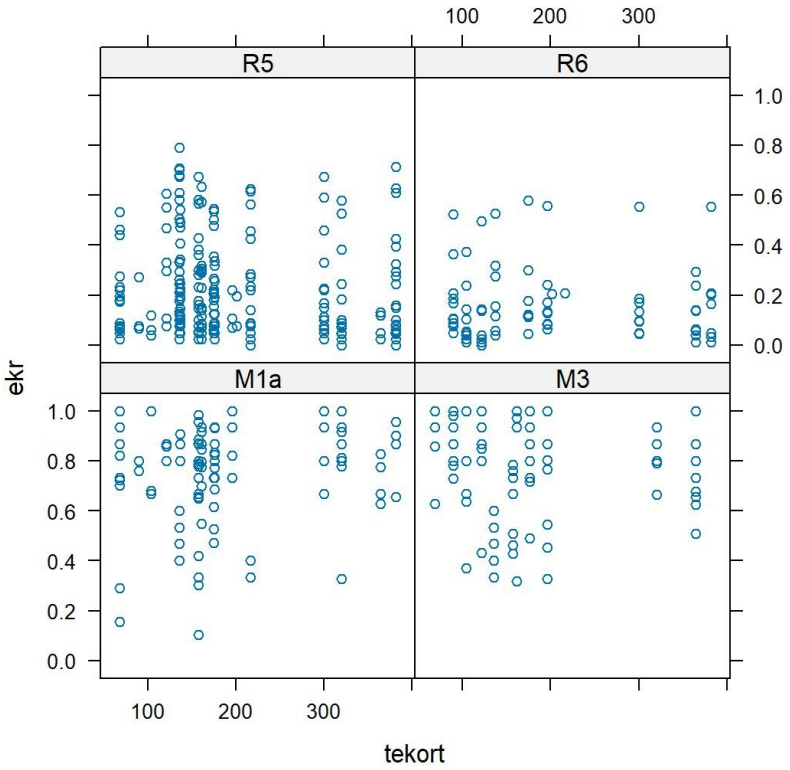
Watertype	**Neerslagtekort** effect tekort	**Debiet** effect aandd50.kwart	**Temperatuur** effect meantz	**Zuurstof** effect op10
M1a	**+ ***			**+***
M3			**+ *****	
R5	**- *****		**- *****	
R6			**- ***	

Tabel 6: Overzicht van significante relaties van abiotische variabelen met de EKR score voor vis per waterlichaam. De tabel is gebaseerd op het interactie-effect van de genoemde parameter met waterlichaam. Enkel de significante relaties zijn opgenomen in de tabel en het symbool geeft aan of de relatie positief (+) of negatief (-) is. Het aantal sterren geeft de p-waarde aan: * bij p < 0,05, ** bij p < 0,01 en *** bij p < 0,001.

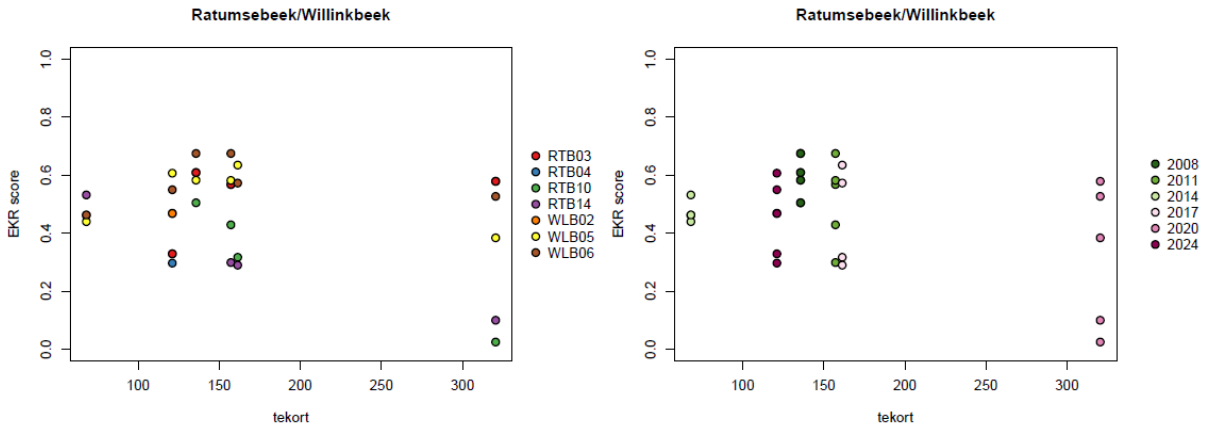
Waterlichaam	**Watertype**	**Neerslagtekort** effect tekort	**Debiet** effect aandd50.kwart	**Temperatuur** effect meantz	**Zuurstof** effect op10
Grenskanaal	M1a	**+*** **	**+** **		**+** **
Wehlsebeek	M1a				
Waalse Water	M1a			**+***	**+** **
Veengoot	M1a				
Meibeek-Nieuwe Waterleiding	M1a				
Grote Waterleiding	M1a			**-***	
Barchemse Veengoot	M1a				
Zuidelijk Afwateringskanaal	M1a	**+** **		**+*** **	**+*** **
Dortherbeek-Oost	M1a				
Dortherbeek	M1a				**+***
Oude Rijn	M3			**+*** **	**+** **
Wijdewetering-Zevenaarsewetering	M3				
Didamse Wetering	M3	**-** **	**-** **	**+*** **	**+** **
Bolksbeek	M3	**+***	**+***	**+***	
Keizersbeek	R5				
Bergerslagbeek	R5				
Boven Slinge	R5				
Grote Beek	R5				
Oosterwijkse vloed	R5				
Baakse Beek bovenstrooms	R5	**-***	**-***		
Baakse Beek benedenstrooms	R5				
Vierakkkerselaak	R5				
Ramsbeek	R5				
Leerinkbeek	R5				
Groenlose Slinge	R5				
Ratumsebeek-Willinkbeek	R5	**-***			
Eefse Beek	R5				
Dommerbeek	R5				
Buurserbeek	R5				
Zoddebeek	R5				
Elsbeek-Nieuwe Waterleiding	R5				
Oude Schipbeek Groeteboerswtg	R5				
Bielheimerbeek	R5	**-** **	**-***		
Oude IJssel	R6				
Berkel	R6				
Schipbeek	R6				

Neerslagtekort

De EKR-score voor vis was bij watertype R5 negatief en bij M1a positief gerelateerd aan het neerslagtekort (tabel 5, figuur 8). De relaties voor de afzonderlijke waterlichamen laten hetzelfde patroon zien. Bij 3 waterlichamen met type R5 werd een negatieve relatie met neerslagtekort gevonden (tabel 6). Bij de waterlichamen met een M-type (M1a en M3) werden overwegend positieve relaties met neerslagtekort gevonden (3 een positieve en 1 negatieve relatie, tabel 6). In figuur 9 zijn de gegevens van de Ratumsebeek-Willinkbeek weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een negatieve relatie.



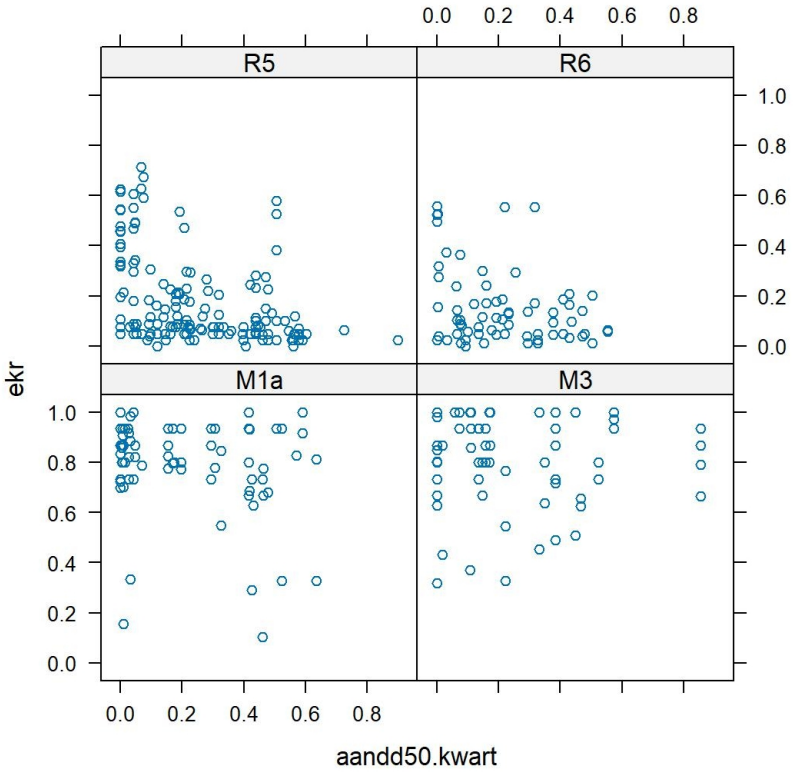
Figuur 8: relatie tussen neerslagtekort en de EKR-score voor vis per watertype.



Figuur 9: Relatie tussen neerslagtekort en de EKR-score voor vis in waterlichaam Ratumsebeek-Willinkbeek. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

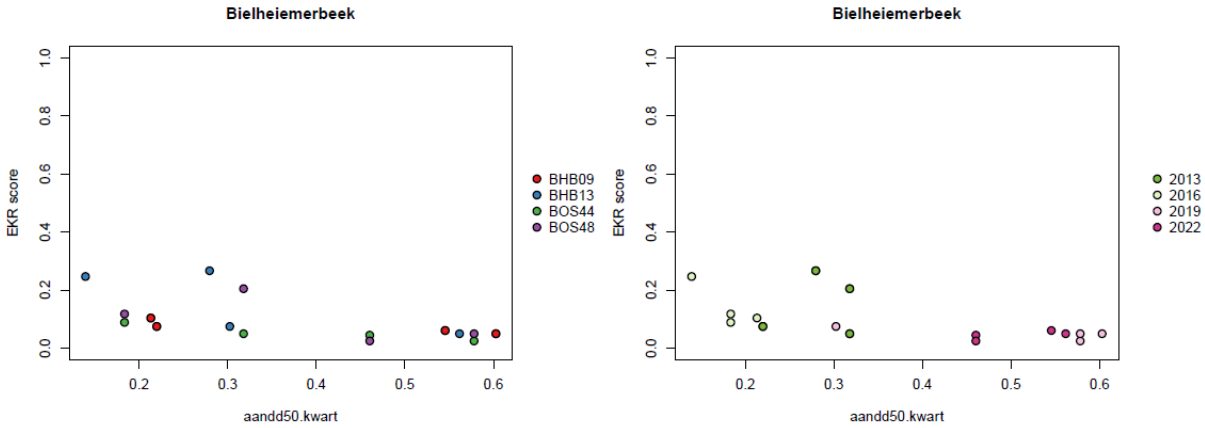
Debiet

De duur van lage debieten (aandd50.kwart) had een significant negatief direct effect. De EKR-scores voor vis waren dus doorgaans lager naarmate er meer dagen in het jaar waren met een laag debiet (figuur 10). Debiet is de enige abiotische variabele met een significant direct effect. Het interactie-effect met watertype was niet significant. Op het niveau van afzonderlijke waterlichamen waren er twee waterlichamen met watertype R5 waarvoor een significante negatieve relatie met debiet werd gevonden (tabel 6). Daarnaast werden er positieve relaties met debiet gevonden voor 2 waterlichamen met een M-type (1 met type M1a en 1 met type M3) en er werd een negatieve relatie met debiet gevonden voor één waterlichaam met type M3.



Figuur 10: relatie tussen de duur van lage debieten en de EKR-score voor vis per watertype. Op de x-as staat het aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan een kwart van de 50% percentielwaarde van de gehele debietreeks.

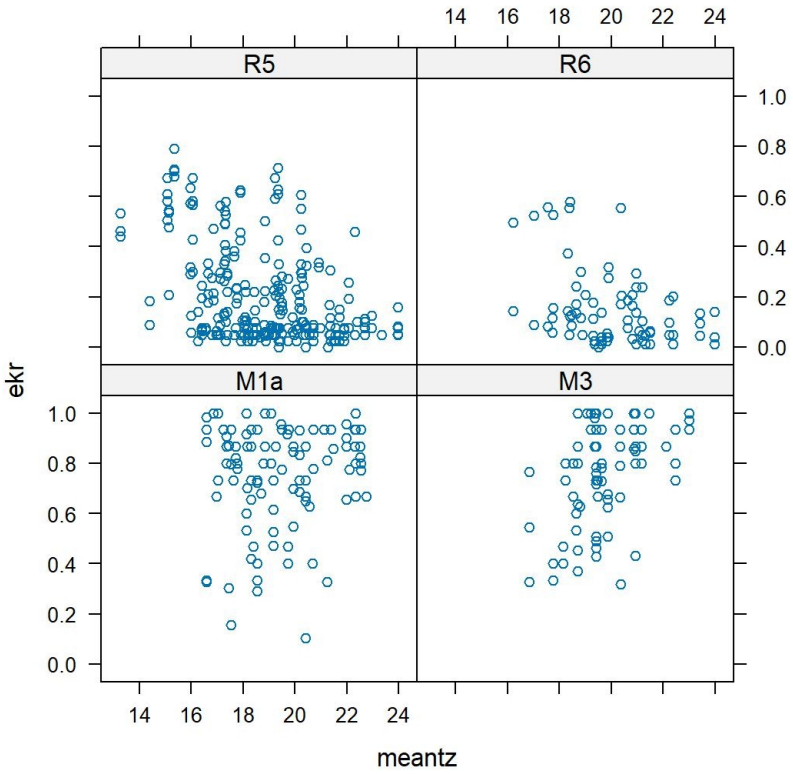
In figuur 11 zijn de gegevens van de Bielheimerbeek weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een negatieve relatie.



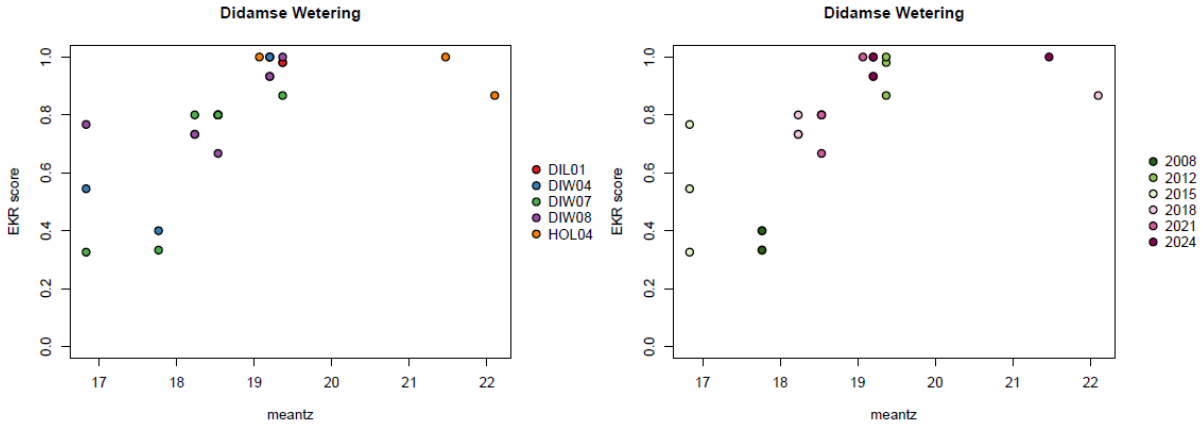
Figuur 11: Relatie tussen de duur van lage debieten en de EKR-score voor vis in waterlichaam Bielheimerbeek. Op de x-as staat het aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan een kwart van de 50% percentielwaarde van de gehele debietreeks. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

Watertemperatuur

Bij watertype M3 was de EKR-score voor vis positief gerelateerd aan de zomergemiddelde watertemperatuur (tabel 5, figuur 12). Bij watertypes R5 en R6 - de watertypen waar de visdoelstelling in de meeste waterlichamen nog niet gehaald wordt - zijn juist negatieve relaties met zomergemiddelde watertemperatuur gevonden. Op het niveau van individuele waterlichamen zijn enkel bij waterlichamen met een M-type (M1a en M3) significante relaties gevonden (tabel 6). Bij 5 waterlichamen was dit een positieve relatie en bij 1 waterlichaam (type M1a) was dit een negatieve relatie. In figuur 13 zijn de gegevens van de Didamse Wetering weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een positieve relatie.



Figuur 12: Relatie tussen de zomergemiddelde watertemperatuur en de EKR-score voor vis per watertype. Bij M1a en M3 is een positieve relatie tussen watertemperatuur en EKR score voor vis, bij R5 en R6 is dit een negatieve relatie.

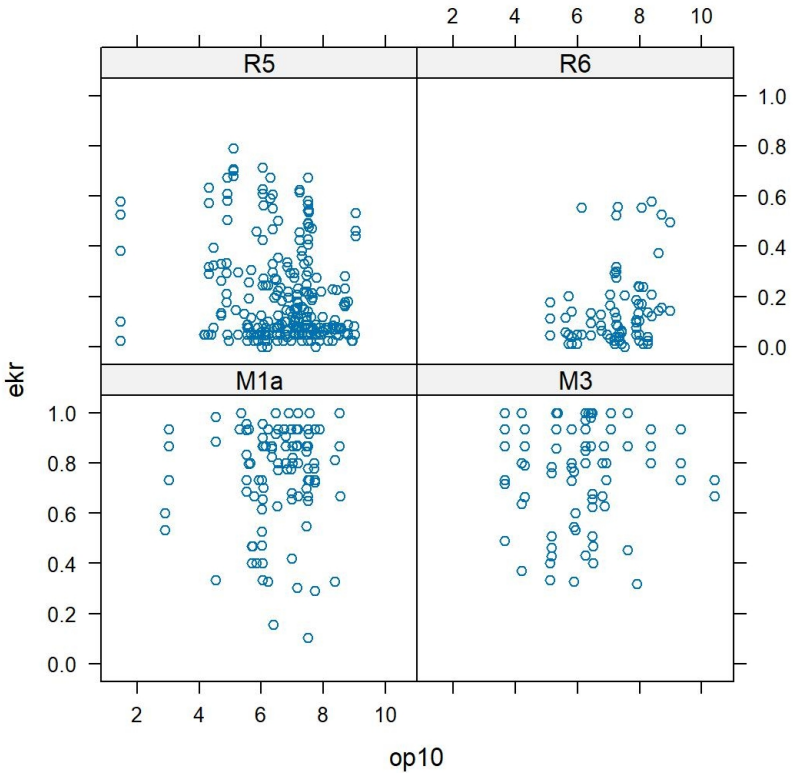


Figuur 13: Relatie tussen zomergemiddelde watertemperatuur en de EKR-score voor vis in waterlichaam Didamse Wetering. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

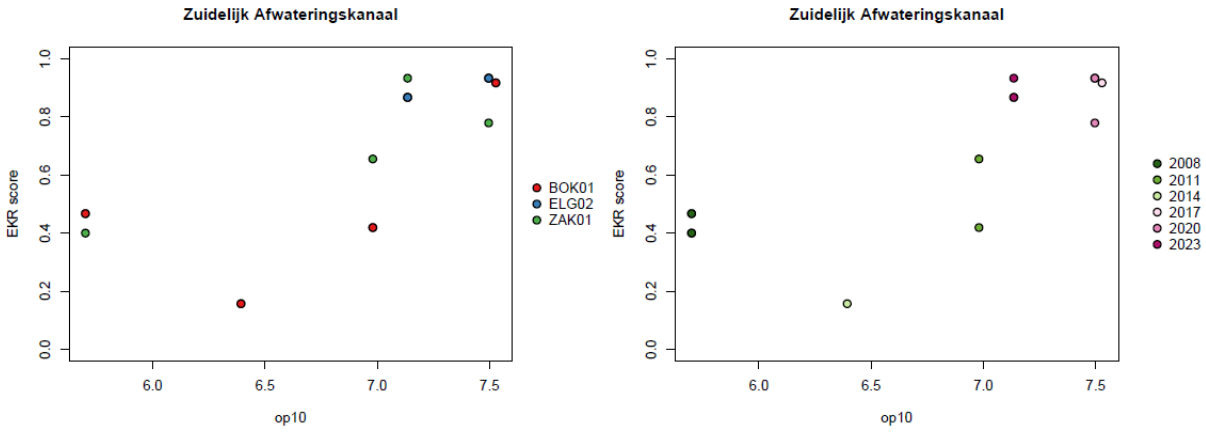
Zuurstofconcentratie

Enkel bij watertype M1a werd een significante relatie met zuurstofconcentratie gevonden (tabel 5, figuur 14). Bij dit watertype was er een positieve relatie tussen de 10-percentiel zuurstofwaarde en de EKR-score voor vis. De 10-percentiel waarde is een maat voor de laagste zuurstofconcentraties die in het jaar voor de bemonstering zijn gemeten. De positieve relatie geeft aan dat de EKR-scores voor vis bij M1a doorgaans hoger liggen als onderkant van het gemeten zuurstofbereik hoger ligt (laagste waardes wat minder laag). Op het niveau van individuele waterlichamen werden enkel bij waterlichamen met een M-type (M1a en M3) significante relaties gevonden (tabel 6). Bij 6

waterlichamen (4 met type M1a en 2 met type M3) werd een positieve relatie met zuurstofcontratie gevonden. In figuur 15 zijn de gegevens van het Zuidelijk afwateringskanaal weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een positieve relatie.



Figuur 14: relatie tussen de 10-percentiel zuurstofwaarde en de EKR-score voor vis per watertype.



Figuur 15: Relatie tussen de 10-percentiel zuurstofwaarde en de EKR-score voor vis in waterlichaam Zuidelijk afwateringskanaal. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

Synthese

De hogere neerslagtekorten en lagere debieten die in de recente droge jaren zijn voorgekomen zijn bij watertype R5 gekoppeld lagere EKR-scores voor vis. Hogere watertemperaturen die in recente jaren voorkwamen waren zowel bij R5 als R6 gekoppeld aan lagere EKR-scores voor vis. De doelen voor vis in deze stromende watertypen hebben we overwegend nog niet bereikt.

Voor watertypes M1a en M3 werd duidelijk een ander patroon gevonden. Voor de M-types werden positieve relaties met neerslagtekort en watertemperatuur gevonden. In deze watertypes zijn de EKR-scores voor vis toegenomen en dit valt samen met hogere neerslagtekorten en hogere watertemperaturen in recente jaren. In alle waterlichamen met deze stagnante watertypen hebben we de doelen voor vis bereikt.

Daarnaast was er bij M1a een positieve relatie met de 10-precentielwaarde van de zuurstofconcentratie. Dit geeft aan dat de EKR-scores voor vis bij M1a doorgaans hoger liggen als onderkant van het gemeten zuurstofbereik hoger ligt (laagste zuurstofwaardes wat minder laag). In een klein deel van de waterlichamen is deze relatie significant. Het voorkomen van hogere 10-percentielwaarde zuurstof is niet duidelijk gekoppeld aan recente droge jaren.

3.6 Relatie EKR Macrofauna met abiotische variabelen

Best verklarende variabelen

Voor elke abiotische grootheid werden significante effecten op de EKR-scores voor marcofauna gevonden. De best verklarende abiotische variabelen waren tekort, meandz, meant en meano (tabel 7).

Tabel 7: best verklarende abiotische variabele per grootheid.

Grootheid	Variabele	Omschrijving
neerslagtekort	tekort	neerslagtekort 1 april-1oktober van het jaar van bemonstering
debiet	meandz	zomergemiddeld debiet van het jaar van bemonstering, op basis van juni t/m augustus
watertemperatuur	meant	gemiddelde watertemperatuur in het voorgaande jaar
zuurstofconcentratie	meano	gemiddelde zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar

Significante relaties

Bij debiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie was het directe effect van de abiotische variabelen op de EKR-score van macrofauna significant (tabel 7b). Bij watertemperatuur en zuurstofconcentratie was bovendien het interactie-effect van deze abiotische variabele met het waterlichaam significant. Bij debiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie vertoont de EKR-score voor macrofauna dus een generieke relatie met de abiotische variabelen. Bij watertemperatuur en zuurstofconcentratie zijn er bovendien waterlichamen waar de helling van de relatie met deze variabelen afwijkt van de generieke relatie.

Bij neerslagtekort was het directe effect niet significant, maar de interactie-effecten van neerslagtekort met watertype en waterlichaam wel (tabel 7b). De EKR-scores voor macrofauna vertoonden dus een relatie met het neerslagtekort en de helling van die relatie verschilde tussen de watertypes en de waterlichamen.

De EKR-scores voor macrofauna verschilt duidelijk tussen waterlichamen, want het waterlichaam droeg in alle gevallen significant bij aan de fit van het regressiemodel (tabel74b). De watertypes verschillen kennelijk niet structureel in EKR voor macrofauna, want bij 3 van de vier abiotische variabelen had watertype geen significant effect.

Bij macrofauna werden minder significante relaties gevonden dan bij vis. Dit komt waarschijnlijk doordat de veranderingen in EKR-scores bij vis duidelijk groter zijn dan bij macrofauna.

Voor de variabelen waarbij het interactie-effect met watertype of waterlichaam significant was, geven tabellen 8 en 9 een overzicht van respectievelijk de watertypes en de waterlichamen waarvoor een significante relatie is gevonden. Deze relaties worden onder de tabellen verder besproken.

Tabel 7b: p-waardes van de relatie van de EKR-score voor macrofauna met de abiotische variabelen, watertype, waterlichaam en interactie-effecten. Significante relaties (p < 0.05) zijn groen gearceerd.

Grootheid >>	neerslagtekort	debiet	temperatuur	zuurstof
Variabele >>	tekort	meandz	meant	meano
Modelterm				
variabele	0,166	0,023	0,012	0,003
watertype	0,069	0,007	0,065	0,221
watertype x variabele	0,038	0,709	0,065	0,123
waterlichaam	0,000	0,000	0,000	0,003
waterlichaam x variabele	0,000	0,119	0,000	0,000

Tabellen 8 en 9 geven een overzicht van de significante relaties. Deze relaties worden onder de tabellen verder besproken.

Tabel 8: Overzicht van significante relaties op het niveau van watertypes. De tabel is gebaseerd op het interactie-effect van de genoemde parameter met watertype. Enkel de significante relaties zijn opgenomen in de tabel en het symbool geeft aan of de relatie positief (+) of negatief (-) is. Het aantal sterren geeft de p-waarde aan: * bij p < 0,05, ** bij p < 0,01 en *** bij p < 0,001.

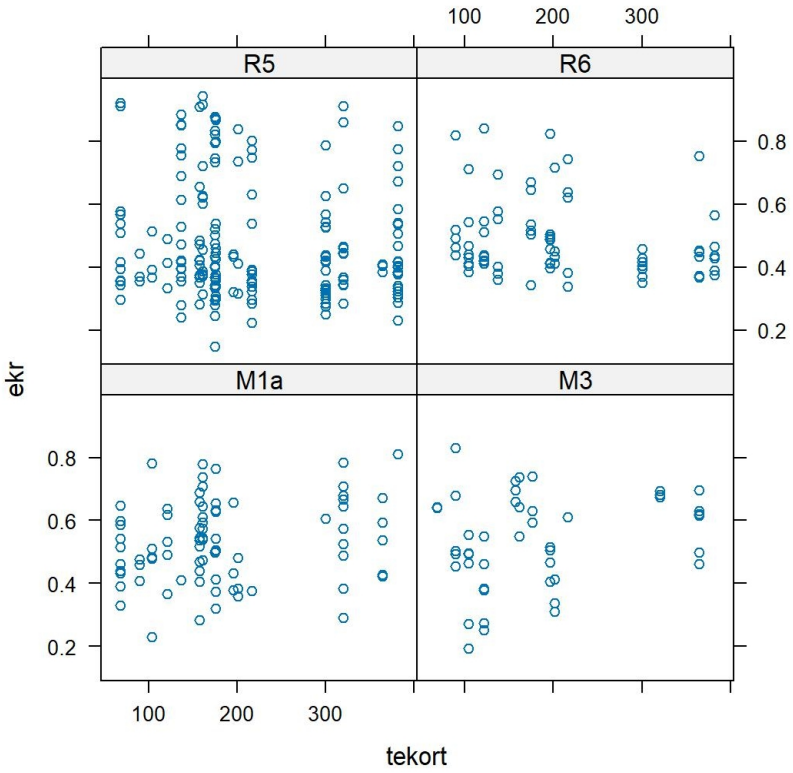
Watertype	**Neerslagtekort** effect tekort	**Debiet** effect meandz	**Temperatuur** effect meant	**Zuurstof** effect meano
M1a	**+***			
M3	**+***			
R5	**- *****			
R6				

Tabel 9: Overzicht van significante relaties met macrofauna per waterlichaam. De tabel is gebaseerd op het interactie-effect van de genoemde parameter met waterlichaam. Enkel de significante relaties zijn opgenomen in de tabel en het symbool geeft aan of de relatie positief (+) of negatief (-) is. Het aantal sterren geeft de p-waarde aan: * bij p < 0,05, ** bij p < 0,01 en *** bij p < 0,001.

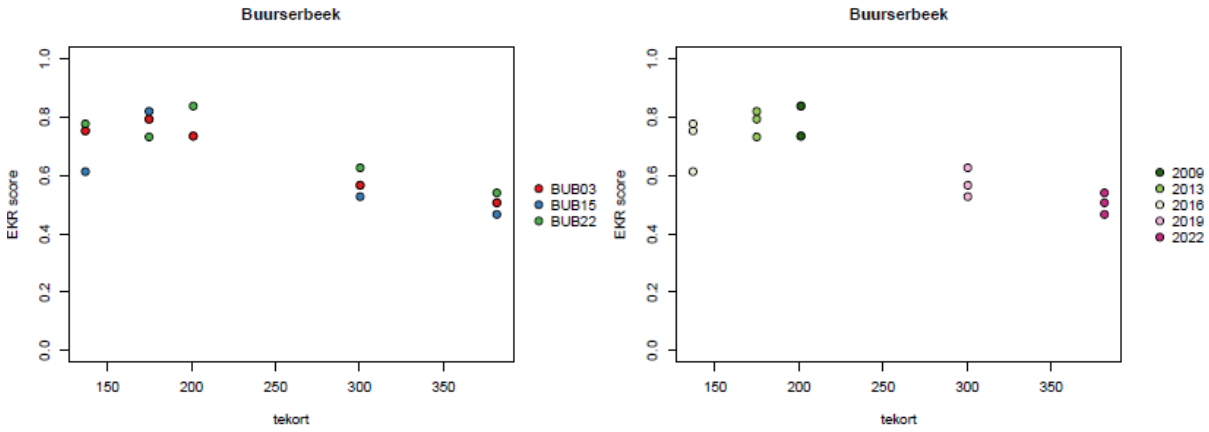
Waterlichaam	**Watertype**	**Neerslagtekort** effect tekort	**Debiet** effect meandz	**Temperatuur** effect meant	**Zuurstof** effect meano
Grenskanaal	M1a	**+***			**+***
Wehlsebeek	M1a				
Waalse Water	M1a	**+*****			
Veengoot	M1a				
Meibeek-Nieuwe Waterleiding	M1a	**-****		**-****	
Grote Waterleiding	M1a				
Barchemse Veengoot	M1a				**-***
Zuidelijk Afwateringskanaal	M1a				
Dortherbeek-Oost	M1a	**+****		**+****	**+****
Dortherbeek	M1a				
Oude Rijn	M3				
Wijdewetering-Zevenaarsewetering	M3	**+****		**-***	**+****
Didamse Wetering	M3				**+***
Bolksbeek	M3				
Keizersbeek	R5				
Bergerslagbeek	R5				
Boven Slinge	R5	**-*****		**-*****	
Grote Beek	R5				
Oosterwijkse vloed	R5				
Baakse Beek bovenstrooms	R5				
Baakse Beek benedenstrooms	R5				
Vierakkkerselaak	R5				
Ramsbeek	R5			**-***	
Leerinkbeek	R5				
Groenlose Slinge	R5				
Ratumsebeek-Willinkbeek	R5				**+***
Eefse Beek	R5				
Dommerbeek	R5				
Buurserbeek	R5	**-*****		**-*****	**+*****
Zoddebeek	R5				
Elsbeek-Nieuwe Waterleiding	R5				
Oude Schipbeek Groeteboerswtg	R5				
Bielheimerbeek	R5				
Oude IJssel	R6	**-***		**-****	**+****
Berkel	R6				
Schipbeek	R6				

Neerslagtekort

Er was geen significant direct effect van neerslagtekort. De interactie-effecten van neerslagtekort met watertype en waterlichaam waren wel significant. De EKR-score voor macrofauna vertoonde bij M1a en M3 een positieve relatie met het neerslagtekort en bij R5 een negatieve relatie (tabel 8, figuur 16). De relaties voor de afzonderlijke waterlichamen laten hetzelfde patroon zien. Van de 14 waterlichamen met een M-type (M1a en M3) werd er voor 4 een positieve relatie met neerslagtekort gevonden en voor 1 een negatieve relatie (tabel 9). Daarnaast zijn er 2 waterlichamen met type R5 en 1 met type R6 waarvoor een negatieve relatie met neerslagtekort werd gevonden. In figuur 17 zijn de gegevens van de Buurserbeek weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een negatieve relatie.



Figuur 16: relatie tussen neerslagtekort en de EKR-score voor macrofauna per watertype. Bij R5 is er een negatieve relatie tussen de EKR score voor macrofauna en het neerslagtekort, bij M1a en M3 is dit een positieve relatie. Voor R6 is geen relatie gevonden.



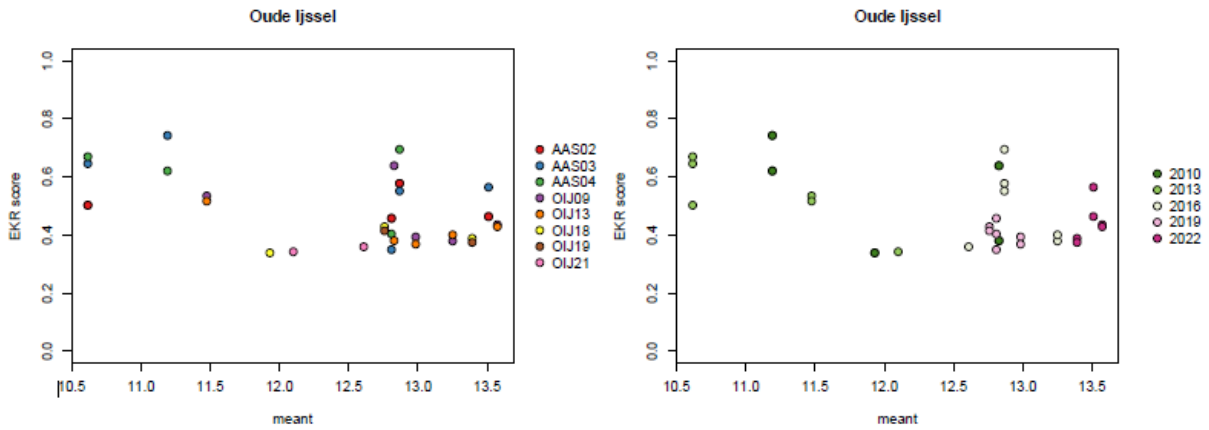
Figuur 17: Relatie tussen neerslagtekort en de EKR-score voor macrofauna in waterlichaam Buurserbeek. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan. In de Buurserbeek is een negatieve relatie tussen neerslagtekort en de EKR score. In droge jaren met hogere neerslagtekorten neemt de EKR-score voor macrofauna af.

Debiet

Er was een significant positief direct effect van het zomergemiddelde debiet op de EKR-score voor macrofauna. De interactie-effecten van debiet met watertype en waterlichaam waren niet significant.

Watertemperatuur

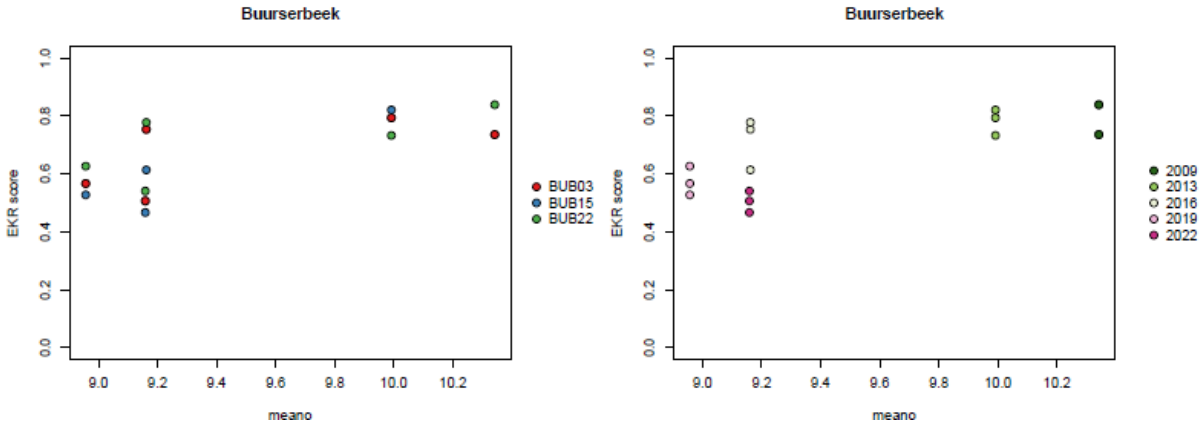
Er was een significant negatief direct effect van de jaargemiddelde watertemperatuur op de EKR-score voor macrofauna. Het interactie-effect van watertemperatuur met watertype was niet significant, het interactie-effect met waterlichaam daarentegen wel. Van de waterlichamen met een M-type (M1a en M3) werd er voor 2 een negatieve relatie met watertemperatuur gevonden en voor 1 een positieve relatie (tabel 9). Daarnaast zijn er 3 waterlichamen met type R5 en 1 met type R6 waarvoor een negatieve relatie met watertemperatuur werd gevonden. In figuur 18 zijn de gegevens van de Oude IJssel weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een negatieve relatie.



Figuur 18: Relatie tussen jaargemiddelde watertemperatuur en de EKR-score voor macrofauna in waterlichaam Oude IJssel. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

Zuurstofconcentratie

Er was een significant positief direct effect van het jaargemiddelde zuurstofconcentratie op de EKR-score voor macrofauna. Het interactie-effect van zuurstofconcentratie met watertype was niet significant, het interactie-effect met waterlichaam daarentegen wel. Het effect van de zuurstofconcentratie was op bij de afzonderlijke waterlichamen doorgaans positief. Dit geeft aan dat de EKR-score voor macrofauna doorgaans hoger is als het water meer zuurstof bevat. De lagere zuurstofconcentraties in de recente jaren zijn derhalve gekoppeld aan lagere EKR-scores. Van de waterlichamen met een M-type (M1a en M3) werd er voor 4 een positieve relatie met zuurstofconcentratie gevonden en voor 1 een negatieve relatie (tabel 9). Daarnaast zijn er 2 waterlichamen met type R5 en 1 met type R6 waarvoor een positieve relatie met zuurstofconcentratie werd gevonden. In figuur 19 zijn de gegevens van de Buurserbeek weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een positieve relatie.



Figuur 19: Relatie tussen jaargemiddeld zuurstofconcentratie en de EKR-score voor macrofauna in waterlichaam Buurserbeek. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

Synthese

De grotere neerslagtekorten die in de recente droge jaren zijn voorgekomen zijn bij watertype R5 gekoppeld lagere EKR-scores voor macrofauna. In de watertypes M1a en M3 zijn grotere neerslagtekorten juist gekoppeld aan hogere EKR-scores. De lagere debieten, hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties die in recente jaren voorkwamen waren in alle watertypes gekoppeld aan lagere EKR-scores voor macrofauna.

3.7 Relatie EKR Overige waterflora met abiotische variabelen

Best verklarende variabelen

Voor elke abiotische grootheid werden significante effecten op de EKR-scores voor waterflora gevonden. De best verklarende variabelen waren tekort, aanddzgm, tp90 en op90 (tabel 10).

Tabel 10: best verklarende abiotische variabele per grootheid.

Grootheid	Variabele	Omschrijving
neerslagtekort	tekort	neerslagtekort 1 april-1oktober van het jaar van bemonstering
debiet	aanddzgm	aandeel van de metingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan het zomergemiddelde debiet van de gehele debietreeks
watertemperatuur	tp90	90% percentielwaarde van de watertemperatuur in het voorgaande jaar
zuurstofconcentratie	op90	90% percentielwaarde van de zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar

Significante relaties

Het directe effect van neerslagtekort en watertemperatuur was significant, dat van debiet en zuurstofconcentratie niet (tabel 10b). Bij debiet en watertemperatuur was het interactie-effect met watertype significant. Bij alle abiotische variabelen was het interactie-effect van de abiotische variabele met waterlichaam significant.

Bij neerslagtekort en watertemperatuur was er dus een generieke relatie tussen deze variabelen en de EKR-score voor overige waterflora. De helling van deze relatie verschilde tussen waterlichamen en, in het geval van temperatuur, ook tussen watertypes. Bij debiet vertonen de EKR-scores een relatie met het debiet en de helling van deze relatie verschilt tussen watertypes en waterlichamen. Bij zuurstofconcentratie vertonen de EKR-scores een relatie met zuurstofconcentratie en de helling van deze relatie verschilt tussen waterlichamen.

Tabel 10b: p-waardes van de relatie van de EKR-score voor overige waterflora met de abiotische variabelen, watertype, waterlichaam en interactie-effecten. Significante relaties ($p < 0,05$) zijn groen gearceerd.

Grootheid >>	**neerslagtekort**	**debiet**	**temperatuur**	**zuurstof**
Variabele >>	tekort	aanddzgm	tp90	op90
Modelterm				
variabele	0,031	0,571	0,003	0,847
watertype	0,038	0,053	0,010	0,541
watertype x variabele	0,062	0,048	0,016	0,495
waterlichaam	0,000	0,000	0,000	0,001
waterlichaam x variabele	0,000	0,005	0,000	0,001

Tabel 11: Overzicht van significante relaties tussen de abiotische variabelen en de EKR-score van overige waterflora op het niveau van watertypes. De tabel is gebaseerd op het interactie-effect van de genoemde parameter met watertype. Enkel de significante relaties zijn opgenomen in de tabel en het symbool geeft aan of de relatie positief (+) of negatief (-) is. Het aantal sterren geeft de p-waarde aan: * bij p < 0,05, ** bij p < 0,01 en *** bij p < 0,001.

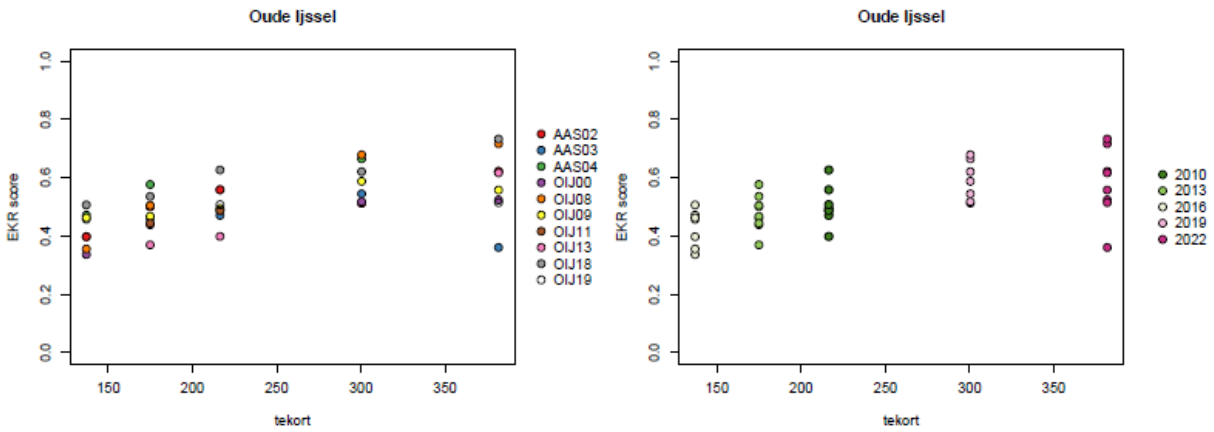
Watertype	**Neerslagtekort** effect tekort	**Debiet** effect aanddzgm	**Temperatuur** effect tp90	**Zuurstof** effect op90
M1a				
M3				
R5			+***	
R6			+*	

Tabel 12: Overzicht van significante relaties tussen de abiotische variabelen en de EKR-score van overige waterflora per waterlichaam. De tabel is gebaseerd op het interactie-effect van de genoemde parameter met waterlichaam. Enkel de significante relaties zijn opgenomen in de tabel en het symbool geeft aan of de relatie positief (+) of negatief (-) is. Het aantal sterren geeft de p-waarde aan: * bij p < 0,05, ** bij p < 0,01 en *** bij p < 0,001.

Waterlichaam	**Watertype**	**Neerslagtekort** effect tekort	**Debiet** effect aanddzgm	**Temperatuur** effect tp90	**Zuurstof** effect op90
Grenskanaal	M1a		-*		
Wehlsebeek	M1a				
Waalse Water	M1a				
Veengoot	M1a				
Meibeek-Nieuwe Waterleiding	M1a			+*	
Grote Waterleiding	M1a				
Barchemse Veengoot	M1a				
Zuidelijk Afwateringskanaal	M1a	-*	-*		
Dortherbeek-Oost	M1a				
Dortherbeek	M1a				
Oude Rijn	M3				
Wijdewetering-Zevenaarsewetering	M3			-*	
Didamse Wetering	M3	+*			
Bolksbeek	M3				
Keizersbeek	R5	-***			
Bergerslagbeek	R5				
Boven Slinge	R5				
Grote Beek	R5				-*
Oosterwijkse vloed	R5	+***		+***	+**
Baakse Beek bovenstrooms	R5				
Baakse Beek benedenstrooms	R5				
Vierakkkerselaak	R5				
Ramsbeek	R5				
Leerinkbeek	R5	+*		+**	-**
Groenlose Slinge	R5	+*	-*	+**	-***
Ratumsebeek-Willinkbeek	R5				
Eefse Beek	R5				
Dommerbeek	R5				
Buurserbeek	R5	+*		+***	
Zoddebeek	R5				
Elsbeek-Nieuwe Waterleiding	R5				
Oude Schipbeek Groteboerswtg	R5				
Bielheimerbeek	R5	+*	+*		
Oude IJssel	R6	+**	+**	+**	
Berkel	R6				
Schipbeek	R6				

Neerslagtekort

Er was een significant positief direct effect van het neerslagtekort op de EKR-score voor overige waterflora. Het interactie-effect van neerslagtekort met watertype was niet significant, het interactie-effect met waterlichaam daarentegen wel. Van de 14 waterlichamen met een M-type werd er voor 1 een negatieve relatie met watertemperatuur gevonden en voor 1 een positieve relatie (tabel 12). Daarnaast zijn er 5 waterlichamen met type R5 en 1 met type R6 waarvoor een positieve relatie met neerslagtekort is gevonden en 1 waterlichaam met type R5 met een negatieve relatie. Doorgaans zijn hogere neerslagtekorten dus gekoppeld aan hogere EKR-scores voor overige waterflora en dit is vooral zichtbaar bij de R-types. In figuur 20 zijn de gegevens van de Oude IJssel weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een negatieve relatie.

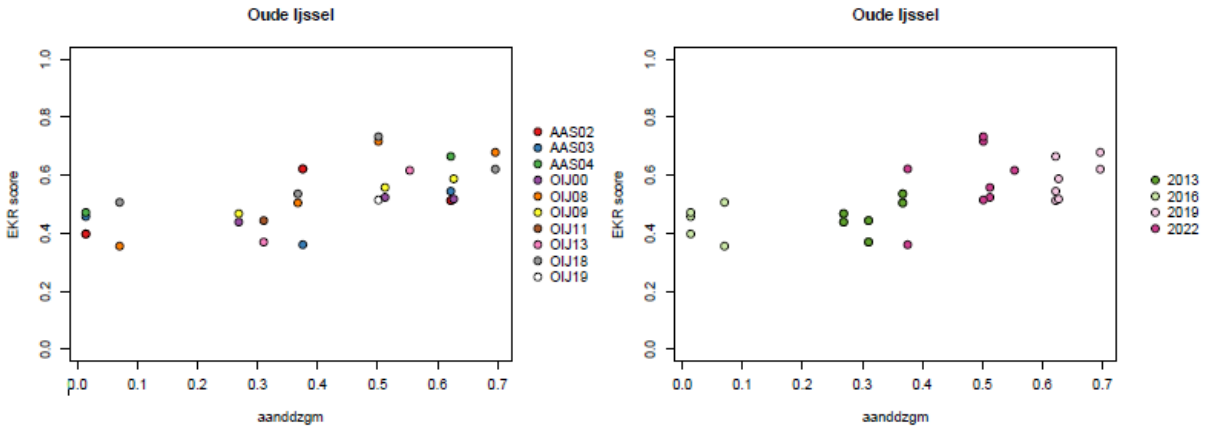


Figuur 20: de EKR-score voor overige waterflora in waterlichaam Oude IJssel uitgezet tegen het maximale neerslagtekort in het jaar van bemonstering. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan. Er is een significante positieve relatie ($p < 0.01$) tussen het neerslagtekort en de EKR score voor overige waterflora. In droge jaren met hogere neerslagtekorten is de EKR score hoger.

Debiet

Het directe effect van debiet was niet significant. Het interactie-effect van debiet met watertype wel. Er kan echter niet worden aangegeven bij welke watertypes de EKR-score een relatie met het debiet vertoont, want er zijn geen watertypes die een significante relatie lieten zien (parameterschattingen van debiet x watertype weken niet significant af van 0). De parameterschattingen voor M1a en M3 zijn beide negatief, die voor R5 en R6 zijn beide positief. De parameterschatting van R6 wijkt het meest af van 0, maar niet significant ($p=0.10$).

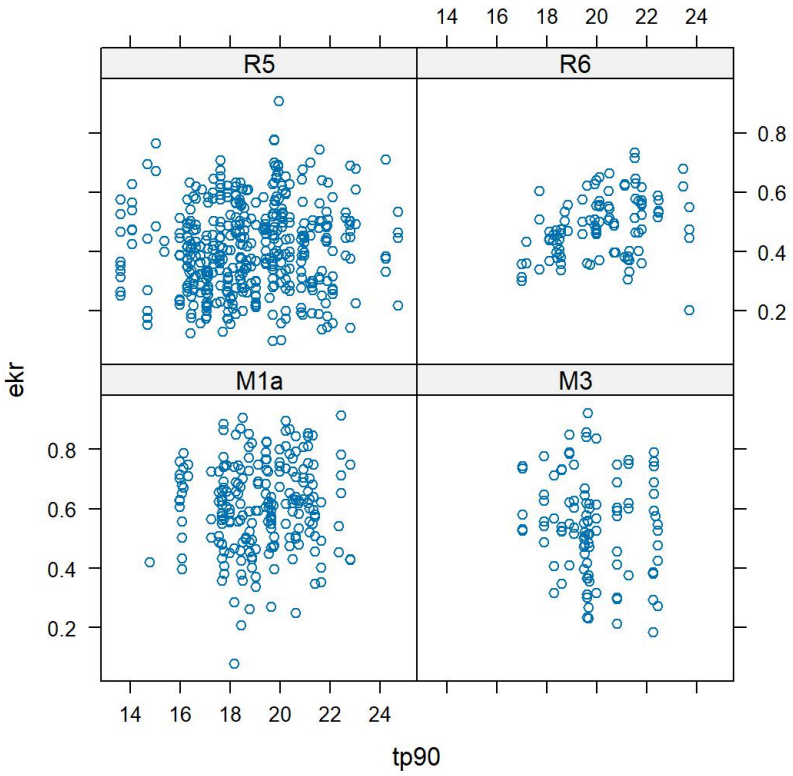
Op het niveau van individuele waterlichamen was een wisselend beeld. Er werden 2 negatieve relaties gevonden bij waterlichamen met type M1a, 1 positieve en 1 negatieve relatie bij waterlichamen met type R5 en 1 positieve relatie bij een waterlichaam met type R6. In figuur 21 zijn de gegevens van de Oude IJssel weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een positieve relatie.



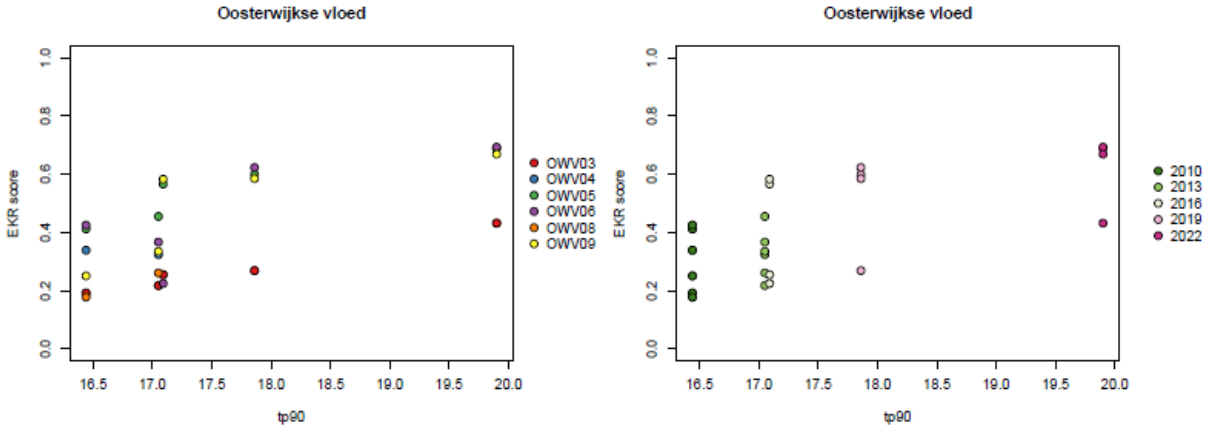
Figuur 21: de EKR-score voor overige waterflora in waterlichaam Oude IJssel uitgezet tegen het aandeel lage debieten in het jaar van bemonstering. Op de x-as staat het aandeel van de debietmetingen in het voorgaande jaar met een debiet lager dan het zomergemiddelde debiet van de gehele debietreeks. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan.

Watertemperatuur

Het directe effect van watertemperatuur was significant en positief. De interactie-effecten van watertemperatuur met watertype en waterlichaam waren ook significant. De EKR-score voor overige waterflora vertoonde bij R5 en R6 een positieve relatie met de watertemperatuur (tabel 11, figuur 22). De relaties voor de afzonderlijke waterlichamen laten hetzelfde patroon zien, met positieve relaties bij waterlichamen met een R-type. Van de waterlichamen met een R-type werd er voor 5 een positieve relatie met watertemperatuur gevonden (tabel 12). Daarnaast is er 1 waterlichaam met type M1a met een positieve relatie en 1 met type M3 waarvoor een negatieve relatie met neerslagtekort werd gevonden. De hogere watertemperaturen in recente jaren vielen dus samen met hogere EKR-scores voor overige waterflora in een deel van de waterlichamen met een R-type. In figuur 23 zijn de gegevens van de Oosterwijkse vloed weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een positieve relatie.



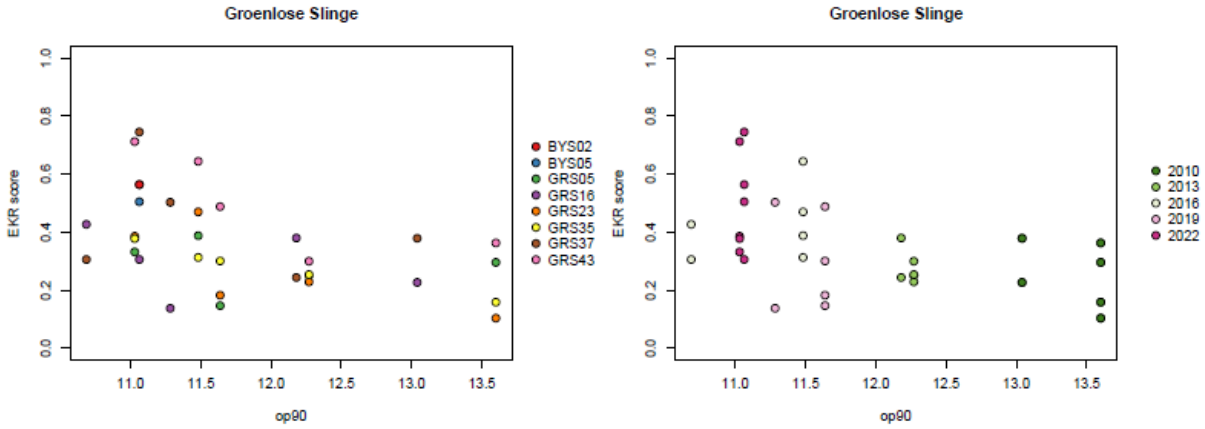
Figuur 22: EKR-score voor overige waterflora per watertype uitgezet tegen de 90 percentielwaarde van de watertemperatuur. De EKR-score voor overige waterflora vertoonde bij R5 en R6 een positieve relatie met de watertemperatuur.



Figuur 23: de EKR-score voor overige waterflora in waterlichaam Oosterwijkse vloed uitgezet tegen de 90-percentielwaarde van de watertemperatuur in het voorgaande jaar. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan. De EKR-score voor overige waterflora vertoont in de Oosterwijkse vloed een positieve relatie met watertemperatuur. In de recente jaren met een hogere watertemperatuur (90-percentiel waarde) was de EKR score hoger.

Zuurstofconcentratie

Het directe effect van het zuurstofconcentratie en het interactie-effect van zuurstofconcentratie met watertype waren beide niet significant. Het interactie-effect van zuurstofconcentratie met waterlichaam was wel significant. Enkel voor waterlichamen met watertype R5 werden significante relaties gevonden: 3 waterlichamen met een negatieve relatie en 1 met een positieve relatie. De lagere zuurstofconcentraties in de recente jaren vallen in een klein deel van de wateren met type R5 dus samen met een hogere EKR score voor overige waterflora. In figuur 24 zijn de gegevens van de Oude IJssel weergegeven als voorbeeld van een waterlichaam met een positieve relatie.



Figuur 24: de EKR-score voor overige waterflora in waterlichaam Groenlose Slinge uitgezet tegen de 90-percentielwaarde van het zuurstofconcentratie in het water in het voorgaande jaar. In het linkerpaneel geven de kleuren de meetpunten aan, in het rechterpaneel geven de kleuren het jaar aan. De EKR score voor overige waterflora vertoont in de Groenlose Slinge een negatieve relatie met de zuurstofconcentratie. Aan het begin van de meetreeks (2010-2013) was de zuurstofconcentratie (90-percentiel waarde) relatief hoog en in die jaren waren de EKR scores lager.

Synthese

De hoge neerslagtekorten, hogere temperaturen en lagere zuurstofconcentraties in de recente droge jaren vallen in 3 tot 6 waterlichamen met een R type samen met hogere EKR scores voor overige waterflora. Er werd geen duidelijke relatie tussen debiet en EKR scores gevonden, dit was een wisselend beeld met zowel positieve als negatieve relaties. Bij de M-types werden weinig waterlichamen met significante relaties gevonden tussen de EKR scores voor overige waterflora en de abiotische variabelen.

3.8 Relatie EKR Fytoplankton met abiotische variabelen

Best verklarende variabelen

Bij fytoplankton werd enkel met zuurstofconcentratie een significante relatie gevonden. Voor zuurstofconcentratie was op90 de best verklarende variabele (tabel 13). Er werden geen significante relaties gevonden met neerslagtekort, debiet of watertemperatuur.

Tabel 13: best verklarende abiotische variabele per grootheid.

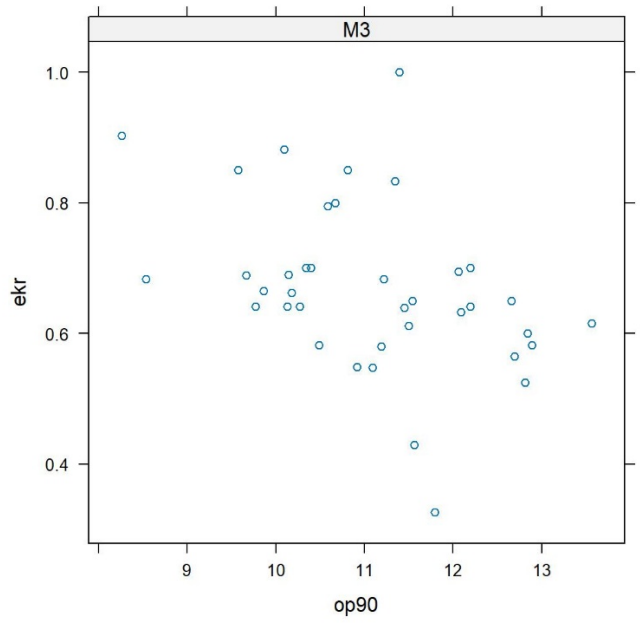
Grootheid	Variabele	Omschrijving
zuurstof	op90	90% percentielwaarde van de zuurstofconcentratie in het voorgaande jaar

Significante relaties

Zuurstofconcentratie

Het directe effect van zuurstofconcentratie is significant. Dit betreft een negatieve relatie tussen de EKR-score voor fytoplankton en de 90 percentielwaarde van het zuurstofconcentratie van het voorgaande jaar (figuur 25). Fytoplankton wordt alleen in watertype M3 beoordeeld, dus deze relatie is gevonden voor de wateren met type M3.

Er zijn geen effecten per waterlichaam gevonden. Het interactie-effect van de abiotische variabelen met waterlichaam is niet significant.



Figuur 25: EKR-score voor fytoplankton in watertype M3 uitgezet tegen de 90 percentielwaarde van de zuurstofconcentratie. De EKR-score voor fytoplankton vertoonde bij M3 een negatieve relatie met de zuurstofconcentratie.

Synthese

Hogere zuurstofconcentraties (90-percentielwaarde) zijn gecorreleerd aan lagere EKR scores voor fytoplankton in watertype M3.

4. DISCUSSIE

Abiotische omstandigheden

De vijf recente droge jaren hadden duidelijk een hoger neerslagtekort dan andere jaren. Zoals te verwachten resulteerden deze uitzonderlijk droge jaren in lagere debieten en stroomsnelheden. De watertemperatuur en de zuurstofconcentratie vertoonden over de gehele meetreeks (2000-2025) een trend. In die periode is de gemiddelde watertemperatuur geleidelijk toegenomen en de gemiddelde zuurstofconcentratie geleidelijk afgenomen. In de laatste 5 – 8 jaar was het water opvallend warm en bevatte het water minder zuurstof dan daarvoor. Dit wijst erop dat de recente uitzonderlijk droge en warme jaren een aanvullend negatief effect hebben gehad. Lagere debieten en een langere duur van afvoerloosheid hebben waarschijnlijk bijgedragen aan hogere watertemperaturen en lageren zuurstofconcentraties in het water. In de droge jaren is dus sprake van een combinatie van meerdere ongunstige omstandigheden, waarmee de druk op de ecologie in het water toeneemt.

Vis

R-types

Bij vis in de R-types zijn de EKR scores recentelijk in meerdere waterlichamen achteruit gegaan (Rost et al., 2024). Het is aannemelijk dat deze achteruitgang, ten minste deels, het gevolg van de recente droge jaren. Bij watertype R5 zijn de hogere neerslagtekorten, lagere debieten en hogere watertemperaturen die in de recente droge jaren zijn voorgekomen gekoppeld aan lagere EKR-scores voor vis. Bij R6 zijn de EKR scores voor vis lager in recente jaren met hogere watertemperaturen.

Het is aannemelijk dat de achteruitgang van de EKR-scores voor vis in de R-types het gevolg is van een combinatie drukfactoren die in de recente droge jaren ongunstiger was. Het is aannemelijk dat de combinatie van het wegvallen van stroming, hoge watertemperatuur en lagere zuurstofconcentratie de visgemeenschap negatief beïnvloed. In de droge zomers waren de debieten en daardoor ook de stroomsnelheid lager. In een deel van de beken trad door de droogte ook afvoerloosheid of zelfs droogval op. Het wegvallen van de stroming in droge jaren heeft negatieve effecten op de visgemeenschap in beken, omdat stromingsminnende soorten stromend water nodig hebben als leefgebied en voor hun zuurstofvoorziening. Droogval heeft een nog sterker negatief effect, omdat dan direct de hele visgemeenschap verloren gaat. Verlies van stromingsminnende vis heeft een negatief effect op de EKR-score in de stromende wateren, omdat juist deze stromingsminnende vissen positief gewaardeerd worden op de maatlat en dus bijdragen aan de EKR-score.

Bovendien was in de recente droge jaren de gemiddelde watertemperatuur hoger en de zuurstofconcentratie in het water lager. Het is aannemelijk dat deze opwarming deels het gevolg van de lagere debieten in droge zomers, maar de geleidelijke toename van luchttemperaturen door klimaatverandering heeft hier ook aan bijgedragen. Hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties zijn beide ongunstig voor de visgemeenschap in beken, omdat stromingsminnende soorten weinig tolerant zijn voor hoge temperaturen en lage zuurstofconcentraties.

M-types

Voor watertypes M1a en M3 werd duidelijk een ander patroon gevonden. In 6 van de 20 waterlichamen met een M-type is de EKR-score recentelijk toegenomen (Rost et al., 2024). Dit hangt

samen met de recente afname van Brasem en toename van Bittervoorn, hetgeen waarschijnlijk het gevolg is van een verbetering van de waterkwaliteit en de toename van het doorzicht onder water (Kranenbarg et al., 2017). Deze toename in de EKR-scores voor vis in de M-types valt samen met hogere neerslagtekorten en hogere watertemperaturen in recente jaren. In de voorliggende studie werden hierdoor positieve relaties gevonden met neerslagtekort en watertemperatuur.

Macrofauna

R-types

De droge jaren hebben geleid tot een combinatie van toegenomen drukken en het is aannemelijk dat dit in een deel van de waterlichamen met een R-type een achteruitgang van de EKR-scores voor macrofauna veroorzaakt. Bij de wateren met een R-type waren de grotere neerslagtekorten, lagere debieten, hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties die in de recente droge jaren zijn voorgekomen gekoppeld aan lagere EKR-scores voor macrofauna. Net als bij vis hebben afvoerloosheid, droogval, hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties een negatief effect op de macrofaunagemeenschap in stromende wateren.

M-types

Voor de M-types werd een ander patroon gevonden dan bij de R-types. In de waterlichamen met een M-type zijn grotere neerslagtekorten juist gekoppeld aan hogere EKR-scores. In een deel van de waterlichamen met een M-type is de EKR-score voor macrofauna toegenomen over de jaren (Rost et al., 2024). Waarschijnlijk is dit geen gevolg van de recente droge jaren, maar werd dit veroorzaakt door een verbetering in waterkwaliteit.

Twee waterlichamen weken af van het patroon bij de andere wateren met een M-type:

- De EKR-scores voor macrofauna in de Wijde Wetering-Zevenaarse Wetering zijn gedaald sinds 2008. De EKR-score voor macrofauna in dit waterlichaam vertoont een negatieve relatie met watertemperatuur en een positieve relatie met de zuurstofconcentratie. De lagere EKR-scores in recente jaren vallen samen met hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties. Daarom is het aannemelijk dat de recente droge en warme jaren een bijdragen leverden aan de afname van de EKR-scores. Mogelijk speelt een achteruitgang van de ondergedoken waterplanten door een toename van exotische rivierkreeften hier ook een rol.
- De EKR-scores voor macrofauna in de Meibeek zijn negatief gecorreleerd aan het neerslagtekort en de watertemperatuur. De Meibeek is in de recente droge jaren drooggevallen en gebaggerd. Deze combinatie van droogval en baggerwerk heeft de macrofaunagemeenschap verstoord. Het is zeer aannemelijk dat dit de lage EKR-score in 2020 heeft veroorzaakt. Bij de volgende bemonstering in 2023 was de EKR-score grotendeels hersteld naar het niveau van 2017 en daarvoor.

Overige waterflora

R-types

De EKR-scores voor overige waterflora vertonen in 14 waterlichamen met een R-type een positieve trend (Rost et al., 2024). In de meeste van de wateren met een trend nemen de EKR-scores al sinds 2010 gestaag toe. Deze positieve trend is dus niet het gevolg van de recente droge jaren (vanaf 2018), maar kan wel veroorzaakt zijn door de geleidelijke stijging van de watertemperatuur die al langer gaande is. Er werd inderdaad een positieve relatie gevonden tussen de EKR-scores en watertemperatuur. Het is echter niet duidelijk via welk mechanisme hogere watertemperaturen tot hogere scores voor overige waterflora zouden kunnen leiden. Waarschijnlijk is de positieve trend het

gevolg van een geleidelijke verbetering van de waterkwaliteit (afname van nutriënten en toename van het doorzicht) en recenter ook extensivering van het maaibeleid (sinds 2019).

M-types

Bij de M-types zijn de EKR-scores voor overige waterflora doorgaans constant (Rost et al., 2024). Er werden in de voorliggende analyse geen duidelijke relaties met neerslagtekort of de andere abiotische variabelen gevonden. Er lijkt dus geen invloed te zijn van de recente droge jaren op de EKR-scores voor de M-types.

De Wijde Wetering-Zevenaarse Wetering vormt hier een uitzondering op. In dit waterlichaam is de EKR-score voor overige waterflora structureel achteruitgegaan en is er een significante negatieve relatie met watertemperatuur. In recente jaren met warmer water wat de EKR-score lager. In dit waterlichaam zijn de ondergedoken waterplanten sterk achteruitgegaan en de achteruitgang van de EKR-score geeft dit weer. Er is in dit water ook een toename van exotische rivierkreeften waargenomen en mogelijk heeft schade door kreeftenactiviteit de afname van de waterplanten veroorzaakt.

Fytoplankton

De EKR-scores voor fytoplankton in watertype M3 lijken niet te reageren op de recente droge jaren. Er werd geen relatie gevonden tussen de EKR-score voor fytoplankton en neerslagtekort. Er werd wel een negatieve relatie gevonden tussen EKR-scores en de zuurstofconcentratie in het water. Waarschijnlijk is het fytoplankton niet beïnvloed door de zuurstofconcentratie, maar andersom kan er wel een causaal verband zijn. Hoge productiviteit van fytoplanktonbloeien veroorzaken hoge zuurstofconcentraties overdag én resulteren in lagere EKR-scores, omdat deze bloeien negatief gewaardeerd worden op de maatlat. Bij de Oude Rijn en de Didamse Wetering lieten de grafieken zien dat deze situatie vooral in het verdere verleden voorkwam. Recentelijk zijn de EKR-scores voor fytoplankton in deze twee waterlichamen wat toegenomen en dat valt samen met een daling van de zuurstofconcentraties.

De Bolksbeek wijkt af van dit patroon. In de Bolksbeek lijkt de EKR-score wel af te nemen bij hogere neerslagtekorten, hoewel dit verband niet significant was. Daarnaast valt op dat de EKR-score in dit waterlichaam meer varieert tussen de jaren. Waarschijnlijk is de EKR-score voor fytoplankton in de Bolksbeek wel beïnvloed door de recente droge jaren. Een effect van het neerslagtekort zou het gevolg kunnen zijn van de hoeveelheid nutriëntenrijk Berkelwater dat wordt ingelaten. In tegenstelling tot de andere 3 waterlichamen met type M3, wordt er bij de Bolksbeek water ingelaten uit een ander oppervlaktewater. Bij een hoger neerslagtekort wordt er meer en langer water ingelaten. Dit inlaatwater verhoogt de nutriëntenbeschikbaarheid gedurende het groeiseizoen en kan op die manier een achteruitgang voor fytoplankton veroorzaken.

Eerder onderzoek

De resultaten van deze analyse wijzen erop dat droogte een negatief effect heeft op vooral vis en macrofauna. Dit komt goed overeen met andere studies. Uit eerder onderzoek is bekend dat droogte negatieve effecten heeft op de visgemeenschap door hogere watertemperaturen, lagere zuurstofconcentraties, verlies aan leefgebied en hogere predatie (Matthews en Marsh-Matthews 2003; Lennox et al., 2019). In het stroomgebied van de Dommel (Brabant) resulteerde droge jaren in een afname van de dichtheid van vis (Panagiotopoulos et al., 2026). Ondanks maatregelen om de ecologische waterkwaliteit in het Dommel-stroomgebied te verbeteren was er een achteruitgang in EKR-scores voor vis en het is aannemelijk dat dit het gevolg van de droge jaren was (Panagiotopoulos et al., 2026).

Voor macrofauna zijn ook negatieve effecten van droogte bekend in de literatuur, door afname van de stroomsnelheid, toename van afvoerloosheid en droogval, hoge watertemperatuur, lage zuurstofconcentraties en toename van de invloed van verontreinigingen in lozingen (Adámek et al., 2022, Machuca-Sepúlveda et al., 2024). In beken op de hoge zandgronden in Nederland had de droogte van 2018 een grote impact op de macrofauna (Verdonschot et al., 2020). Er was een achteruitgang in EKR-score en deze was het grootste bij de best ontwikkelde beken, omdat vooral stromingsminnende soorten sterk achteruit gingen (Verdonschot et al., 2020).

Andere factoren

Deze analyse is gericht op de effecten van uitzonderlijk droge jaren op de ecologische kwaliteit. Er zijn meer factoren die de ecologische kwaliteit beïnvloeden, zoals de voedselrijkdom van het water en toxische druk van stoffen met een toxisch effect. Deze andere factoren zijn niet beschouwd in de statische analyse van dit rapport.

5. CONCLUSIE

De uitkomsten van deze studie worden hieronder besproken, waarbij getracht wordt de onderzoeksvragen te beantwoorden. Onderzoeksvragen twee en drie worden in samenhang besproken.

1. Welk effect hebben de droge jaren gehad op de abiotische omstandigheden, kijkend naar neerslagtekort, debiet, watertemperatuur en zuurstofconcentratie in het water?

Neerslagtekort

In de periode 2000-2025 zijn er 5 uitzonderlijk droge jaren voorgekomen. Dit waren 2018, 2019, 2020, 2022 en 2025. Deze droge jaren vielen dus allemaal in de derde KRW-planperiode en aan het einde van de tweede planperiode. In deze droge jaren werden in de zomer een neerslagtekort bereikt van 293 tot 381 mm. Dit is duidelijk meer dan het maximum neerslagtekort in de overige jaren in de periode 2000-2025 (gemiddeld 139 mm).

Debiet

Het debiet in de waterlichamen reageert met enige vertraging op het neerslagoverschot. Hierdoor waren in de droge jaren de debieten in de zomer lager dan in de andere jaren. Dit leidde tot lagere stroomsnelheden in de beken en in sommige beken ook tot (een langere periode met) afvoerloosheid.

Watertemperatuur

De gemiddelde watertemperatuur is geleidelijk toegenomen in de periode 2000-2025. De laatste vier jaren in de meetreeks (2022-2025) hadden een opvallend hoge watertemperatuur, significant hoger dan in 2010-2017. De opwarming was het sterkst in de zomer. In de zomers van 2018, 2022, 2023, 2024 en 2025 was het water warmer dan in de andere jaren.

Zuurstofconcentratie

De zuurstofconcentratie in het water is geleidelijk afgenomen in de periode 2000-2025. In 2021-2025 was de gemiddelde zuurstofconcentratie significant lager dan in 2010-2017. In de herfst en de winter was de afname van de zuurstofconcentratie het grootste. In de herfst van 2021 t/m 2025 was de zuurstofconcentratie significant lager dan in de herfst van 2010 t/m 2016.

2. Welk effect hebben de droge jaren gehad op de ecologische waterkwaliteit?

3. Via welke abiotische factoren heeft droogte een effect op de ecologische waterkwaliteit?

Vis

Bij vis in de R-types is recentelijk sprake van een achteruitgang van de EKR-scores in een deel van de waterlichamen en het is aannemelijk dat dit het gevolg is van een combinatie van toegenomen drukken in de recente droge jaren. Het is aannemelijk dat de combinatie van het wegvallen van stroming, afvoerloosheid, droogval, hogere watertemperatuur en lagere zuurstofconcentratie de visgemeenschap negatief beïnvloed.

Bij vis in de M-types werd geen duidelijke relatie met de recente droge jaren gevonden. De EKR-scores voor vis in M-types zijn recentelijk toegenomen in een deel van de waterlichamen. Dit hangt

samen met de recente afname van Brasem en toename van Bittervoorn, hetgeen waarschijnlijk het gevolg is van een verbetering van de waterkwaliteit en de toename van het doorzicht onder water.

Macrofauna

De EKR-scores voor macrofauna is recentelijk in meerdere waterlichamen met een R-type achteruitgegaan. Het is aannemelijk dat dit het gevolg is van een combinatie van toegenomen drukken in de uitzonderlijk droge jaren. Net als bij vis hebben afvoerloosheid, droogval, hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentraties een negatief effect op de macrofaunagemeenschap in stromende wateren.

In de waterlichamen met een M-type zijn in de jaren met grotere neerslagtekorten de EKR-scores voor macrofauna juist hoger. In een deel van de waterlichamen met een M-type is de EKR-score voor macrofauna toegenomen over de jaren (Rost et al., 2024). Waarschijnlijk is dit geen gevolg van de recente droge jaren, maar werd dit veroorzaakt door een verbetering van de waterkwaliteit.

Twee waterlichamen met een M-type weken van dit patroon af en lieten recent wel een daling van de EKR-score zien: De Wijde Wetering-Zevenaarse Wetering en de Meibeek. Bij deze twee wateren is het aannemelijk dat droogte een negatief effect heeft gehad op de macrofauna, via droogval, hogere watertemperaturen en lagere zuurstofconcentratie. In de Wijde Wetering-Zevenaarse Wetering speelt een achteruitgang van de ondergedoken waterplanten door exotische rivierkreeften waarschijnlijk ook een rol. In de Meibeek lijkt het om een tijdelijke achteruitgang te gaan door droogval en baggerwerk.

Overige waterflora

R-types

De EKR-scores voor overige waterflora vertonen in de meeste waterlichamen met een R-type een positieve trend. De scores nemen al sinds 2010 toe. Deze positieve trend is niet het gevolg van de recente droge jaren (vanaf 2018). Waarschijnlijk is de positieve trend het gevolg van een geleidelijke verbetering van de waterkwaliteit (afname van nutriënten en toename van het doorzicht) en recenter ook extensivering van het maaibeleid (sinds 2019).

M-types

Bij de M-types zijn de EKR-scores voor overige waterflora in de meeste waterlichamen constant. Er lijkt dus geen invloed te zijn van de recente droge jaren op de EKR-scores voor de M-types.

De Wijde Wetering-Zevenaarse Wetering vormt hier een uitzondering op. In dit waterlichaam is de EKR-score voor overige waterflora structureel achteruitgegaan. In dit waterlichaam zijn de ondergedoken waterplanten sterk achteruitgegaan en er is een toename van exotische rivierkreeften waargenomen. Waarschijnlijk heeft schade door kreeftenactiviteit de afname van de EKR-score voor overige waterflora veroorzaakt.

Fytoplankton

De EKR-scores voor fytoplankton in watertype M3 lijken niet te reageren op de recente droge jaren. Er werd geen relatie gevonden tussen de EKR-score voor fytoplankton en neerslagtekort.

In de Bolksbeek lijkt de EKR-score wel af te nemen bij hogere neerslagtekorten, hoewel dit verband niet significant was. Waarschijnlijk is de EKR-score voor fytoplankton in de Bolksbeek wel beïnvloed door de recente droge jaren, mogelijk omdat er in droge jaren meer nutriëntenrijk water vanuit de Berkel wordt ingelaten.

LITERATUUR

Adámek, Z., Konečná, J., Karásek, P., Všetičková, L., Podhrázská, J. en Zajíček, A., 2022. **From perennial to intermittent headwater stream: macroinvertebrate community response to climate-induced summer water scarcity.** Aquat Ecol 56, 937–950 (2022). https://doi.org/10.1007/s10452-022-09964-8

Kranenbarg, J., E.T.H.M. Peeters, A. de Bruin en M. Groen, 2017. **Sturende factoren voor vissen in het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel**. RAVON, Nijmegen. Rapportnummer 2017.093

Lennox, R.J., Crook, D.A., Moyle, P.B., Struthers, D.P. en Cooke, S.J., 2019. **Toward a better understanding of freshwater fish responses to an increasingly drought-stricken world.** Rev. Fish Biol. Fish. vol. 29, pp. 71-92, https://doi.org/10.1007/s11160-018-09545-9

Machuca-Sepúlveda, J., López, M., Fierro, P., Beltrán, J.F., Norambuena, J.-A., Oliveira, R.P.S., Farias, J.G., 2024. **Ecological responses of freshwater macroinvertebrates to augmented drought: a literature review and projections.** Ecol. Indic. vol. 164, Article 112153. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112153

Matthews, W.J. en Marsh-Matthews, E., 2003. **Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity.** Freshwater Biology 48 (7), pp. 1232-1253. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01087.x

Panagiotopoulos, P., Buijse, A.D., Peeters, E.T.H.M., Winter, H.V., de Bruijne, W., Pauwelussen, A.P., van de Ven, M.W.P.M., Scheepens, M. en Nagelkerke, L.A.J., 2026. **Efficacy of basin-wide river restoration in a changing climate: contrasting responses of fish and macroinvertebrates in the Dommel catchment.** Ecological Indicators 184: 114711. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114711

Rost, J., Kool, M. en Knoben, R., 2024. **KRW trendanalyse Waterschap Rijn en IJssel, biologische kwaliteitselementen.** RHDHV rapport BJ5569-RHD-XX-XX-RP-EO-0001.

Verdonschot, R. C. M., Verdonschot, P. F. M., Knol, B., Schmidt, G., Scheepens, M., Brugmans, B., van Beers, P. en Lenssen, J., 2020. **Effecten van de droge zomer van 2018 op de macrofauna in laaglandbeken.** H2O artikel. https://edepot.wur.nl/523297

Warton, D.I. en Hui, F.K.C., 2011. **The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology.** Ecology, 92: 3-10. https://doi.org/10.1890/10-0340.1

Waterschap Rijn en IJssel

Liemersweg 2
7006 GG Doetinchem

Postbus 148
7000 AC Doetinchem

(0314) 369 369
info@wrij.nl
www.wrij.nl