

Waterkwaliteit van de toekomst

Data analyse naar de invloed van klimaatverandering en weersextremen in beheergebied waterschap Aa en Maas



Waterkwaliteit van de toekomst

Data analyse naar de invloed van klimaatverandering en weersextremen in beheergebied waterschap Aa en Maas

Auteur(s)

Joachim Rozemeijer (Deltares)

Kim Gommans (Deltares)

Luuk van Gerven (WS Aa en Maas)

Waterkwaliteit van de toekomst

Data analyse naar de invloed van klimaatverandering en weersextremen in beheergebied waterschap Aa en Maas

Opdrachtgever	waterschap Aa en Maas en strategisch onderzoek Deltares (Sito IS 2023 en 2024)
Contactpersoon	Carlo Rutjes
Referenties	-
Trefwoorden	Waterkwaliteit, klimaatextremen, nutriënten

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	29-07-2024
Projectnummer	11209190-024
Document ID	11209190-024-ZWS-0001
Pagina's	82
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Kim Gommans (Deltares) Joachim Rozemeijer (Deltares) Luuk van Gerven (WS Aa en Maas)	

Samenvatting

Veel aquatische ecosystemen in dichtbevolkte delta's staan onder druk door overexploitatie en vervuiling. Door de groei van de wereldbevolking zal deze druk de komende decennia verder toenemen, terwijl klimaatverandering de gevolgen voor de chemische en ecologische waterkwaliteit kan vergroten. Meteorologische variaties zijn een belangrijke drijvende kracht achter veranderingen in de waterkwaliteit. Voor de toekomst worden hogere temperaturen en grotere extremen in natte en droge perioden voorzien. Toch is er nog maar weinig bekend over de invloed van klimaatverandering en klimaat-schommelingen op de waterkwaliteit.

In deze studie is de relatie tussen klimaatvariaties en waterkwaliteit onderzocht op basis van een selectie van 72 locaties met lange maandelijkse meetreeksen over de periode 1990-2022 uit het oppervlaktewaterkwaliteitsmeetnet van waterschap Aa en Maas. De belangrijkste bevindingen zijn samengevat in de volgende paragrafen.

Waterkwaliteit verbetert; versnelde toename watertemperatuur maakt aquatisch ecosysteem gevoeliger voor eutrofiëring

Op de langere termijn (1990-2022) liet onze trendanalyse een algemene verbetering van de waterkwaliteit zien. De hoofdoorzaken hiervan zijn waarschijnlijk minder uitspoeling (mestbeleid) en betere waterzuivering. De invloed van klimaatverandering op de waterkwaliteit op de lange termijn is niet te isoleren van de menselijke invloed op basis van metingen alleen. Wel is er een versnelde opwaartse trend in de watertemperatuur sinds 2010 waargenomen, waarschijnlijk grotendeels ten gevolge van klimaatverandering. Een dergelijke temperatuurstijging werd ook in andere studies gevonden, zoals in de wateren van Wetterskip Fryslân. Hogere watertemperaturen maken het watersysteem kwetsbaarder voor algenbloei en zuurstofloosheid. Daarnaast werd vanaf circa 2012 een opwaartse trend in concentraties van zout (EC) en chloride gevonden.

Weersextremen (nat en droog) zijn over het algemeen ongunstig voor de waterkwaliteit

In de gegevensanalyse is ook gekeken naar weersextremen (droge zomers en natte winters). Het effect van deze extremen is terug te zien in de gemeten waterkwaliteit. Zo leidt de droogte van 2018-2020 tot lagere nutriëntenconcentraties in de zomer dan gemiddeld, waarschijnlijk door verminderde nutriëntenuitspoeling vanuit landbouwpercelen en het grotere effect van het zelfreinigend vermogen van de waterlopen door de langere verblijftijden van het water. Het daaropvolgende natte winterseizoen en de eerstvolgende nattere zomer van 2021 leidden juist tot hogere nutriëntenconcentraties dan gemiddeld. Er zijn diverse verklaringen mogelijk, aangezien de belasting vanuit meerdere bronnen beïnvloedt wordt door de weersomstandigheden. Zo is een mogelijke oorzaak dat het uitspoelende water extra is opgeladen met nutriënten door de lange voorafgaande droge periode met amper uitspoeling en met minder gewasopname. Verder speelde een verminderde gewasopname door droogte een rol, waarbij de bemesting vaak gelijk gebleven is. Bovendien zorgen extreem natte omstandigheden voor pieken in de nutriëntenvrachten en voor een verlaging van de zuurstofconcentraties, wat zowel instantaan als op de langere termijn effect kan hebben op de aquatische ecologie in ontvangende wateren. Andere meetnetten laten vergelijkbare effecten van droge zomers en natte winters zien, namelijk van het onderzoekstroomgebied Vinkenloop (Sensor Gestuurd Boeren) en het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM).

Aanbevelingen voor monitoring, modellering en maatregelen

De kennis uit deze analyse van meetgegevens is relevant voor het waterkwaliteitsbeheer en de keuzes in monitoring, modellering en maatregelen. Qua monitoring bevelen we aan goed te letten op de continuïteit met betrekking tot meetlocaties, parameters en meetmethoden. Dit geeft een beter beeld van geleidelijke veranderingen in de waterkwaliteit. Het oppervlaktewaterkwaliteitsmeetnet van Aa en Maas is niet gericht op het bepalen van het kortstondige effect van één neerslagevent. Daarvoor is de meetfrequentie (maandelijks) te laag. Om het klimaateffect van meer en heftigere piekbuien op de waterkwaliteit te onderzoeken wordt aanbevolen om op enkele plekken vaker of continu te gaan meten.

Naast metingen kunnen modellen helpen om de effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit beter in beeld te brengen en te isoleren van andere factoren die de waterkwaliteit beïnvloeden. Daarvoor is het wel van belang dat de invloed van klimaat op de verschillende procesparameters en modelrandvoorwaarden goed meegenomen wordt. Met modellen zijn ook scenarioverkenningen mogelijk voor maatregelen om het watersysteem klimaatrobust te maken. De verwachting is dat maatregelen die bijdragen aan het bufferen van hevige neerslag in het bodem, grondwater en oppervlaktewatersysteem ook positief uitwerken voor de waterkwaliteit. Een herstelde sponswerking van het landschap voorkomt grote nutriëntenverliezen bij klimaatextremen en zorgt voor meer tijd voor gewasopname en retentie in het oppervlaktewatersysteem. Als laatste kan het beschaduwen van waterlopen in de zomer mogelijk zorgen voor een lagere watertemperatuur.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Doelstelling	10
1.3	Opzet rapport	10
2	Data en dataverwerking	11
2.1	Gebiedsomschrijving	11
2.2	Dataset weer	13
2.3	Dataverwerking waterkwaliteitsdata	14
2.4	Waterkwaliteitsdata: parameters en locaties	15
2.5	Trendanalyses	18
2.6	Individueel tot clusters	19
2.7	Extremen	20
3	Tijdreeksen van het weer	22
3.1	Neerslagoverschot	22
3.2	Temperatuur	25
3.3	Extreem neerslagevent	25
4	Langjarige trends in waterkwaliteit	27
4.1	Resultaten	27
4.1.1	Seasonal Mann Kendall trendtest	27
4.1.2	Theil-Sen hellingschatter	28
4.1.3	LOWESS trendlijn	31
4.2	Zomer- en wintertrends	32
4.3	Trends per district	34
4.4	Trends per type water	35
4.5	Trends inlaatwater en rwzi invloed	37
4.5.1	Inlaatwater	38
4.5.2	Invloed rwzi effluent	39
4.6	Trends landbouw-specifieke locaties	41
5	Reactie op extremen	42
5.1	Per jaar	42
5.2	Per maand	43
5.3	Nat vs. Droog	45

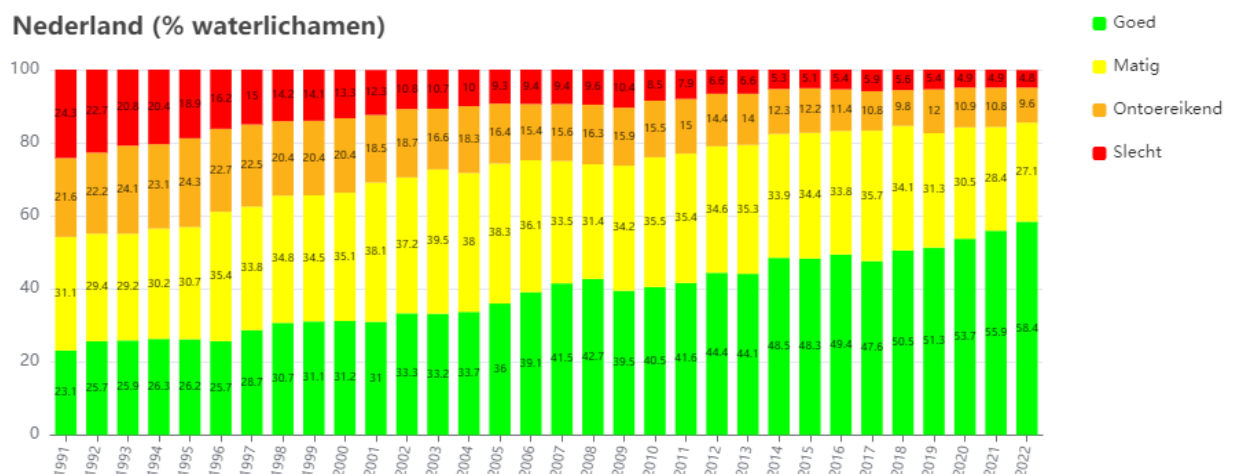
5.4	30 mei 2016	48
6	Signalen uit andere meetnetten en projecten	52
6.1	Onderzoekstroomgebied Vinkenloop	52
6.2	Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM)	54
6.2.1	Voorbeeldbedrijf LMM zuidelijk zand	54
6.2.2	Landbouwbedrijven zandgebied	55
6.3	Wetterskip Fryslân – trends in watertemperatuur	58
6.4	Trendstudie Hallmann	60
7	Conclusies en aanbevelingen	61
7.1	Conclusies	61
7.2	Aanbevelingen	63
8	Literatuur	64
9	Bijlagen	66
9.1	Bijlage A: overzicht meetpunten	66
9.2	Bijlage B: Vergelijking trends verschillende meetjaren SMK resultaten	69
9.3	Bijlage C: Vergelijking trends verschillende meetjaren Theil-Sen resultaten	70
9.4	Bijlage D: Theil-Sen trendhellingen	71
9.5	Bijlage E: LOWESS trendhellingen	73
9.6	Bijlage F: Vergelijking trends zomer en winter	75
9.7	Bijlage G: LOWESS per district	78
9.8	Bijlage H: LOWESS per water type	79
9.9	Bijlage I: Boxplots per maand 2016-2017 tegenover 2018-2019	80
9.10	Bijlage J: Reacties op extremen – 30 mei 2016	81

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

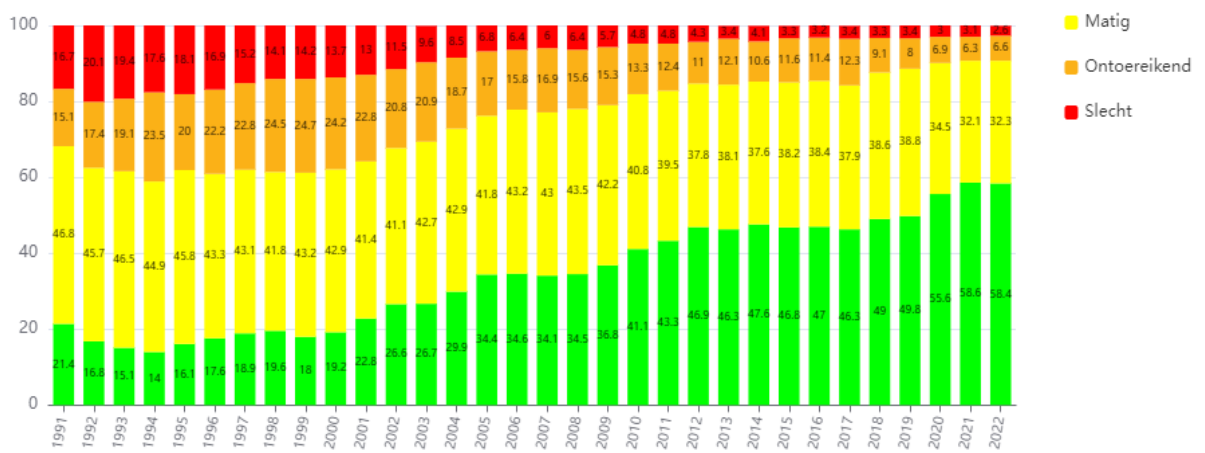
Veel aquatische ecosystemen in dichtbevolkte delta's staan onder druk door overexploitatie en vervuiling. Zo ook in Nederland toont recent onderzoek aan dat het nog steeds slecht gesteld is met de kwaliteit van veel oppervlaktewateren (Compendium voor de Leefomgeving, 2022). Voornamelijk in landbouwgebieden en gebieden rondom rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) worden verhoogde concentraties aan nutriënten in het water gevonden (Rozemeijer et al., 2021). Dit kan negatieve gevolgen hebben voor aquatische ecosystemen, zoals giftige algenbloei, zuurstofloosheid en het verlies aan biodiversiteit (Rozemeijer et al., 2021). Om deze problemen tegen te gaan ging de Kader Richtlijn Water (KRW) in 2000 van kracht met als doel om in 2027 in alle oppervlaktewateren een goede ecologische en chemische kwaliteit te behalen.

Op dit moment voldoet van alle KRW-waterlichamen in Nederland slechts één procent van de oppervlaktewateren aan het predicaat 'goed' (Didde, 2023). Hiervoor moet een waterlichaam voor elk van de KRW-parameters (chemie, biologie en fysische-chemie) aan de bijbehorende KRW-norm voldoen (van Puijenbroek, 2014). De fysisch-chemische parameters stikstof en fosfor (Figuur 1.1 en Figuur 1.2) zijn een persistent probleem, maar er voldoen wel steeds meer wateren (inmiddels bijna 60%) aan de doelstelling. De nutriëntenconcentraties nemen duidelijk af, maar 2027 komt te vroeg voor een 100% doelbereik.



Figuur 1.1. KRW-beoordeling voor N-totaal voor de Nederlandse waterlichamen (bron: krw-nutrend).

Nederland (% waterlichamen)



Figuur 1.2. KRW beoordeling voor P-totaal voor de Nederlandse waterlichamen (bron: kwr-nutrend).

Met de toenemende dreiging van klimaatverandering (meer droge perioden en hevigere neerslag) kunnen de waterkwaliteitsproblemen mogelijk verergeren (Rozemeijer et al., 2021). Zo kan tijdens droge periodes nitraat in de bodem minder goed omgezet worden (denitrificatie) en nemen planten en landbouwgewassen minder nutriënten op. De uitspoeling van de in de bodem achtergebleven nutriënten kan tijdens de daaropvolgende natte periode tot 73% hoger zijn (Winter et al., 2023). Dit zorgt voor een verhoogde kans op algenbloei en zuurstofloosheid in ontvangende oppervlaktewateren, niet alleen door nutriënten maar ook door de stijgende temperaturen (Rozemeijer et al., 2021).

Om te anticiperen op toekomstige uitdagingen, is het van belang dat we een beter inzicht krijgen in het effect van klimaatverandering op de waterkwaliteit. Dit is niet eenvoudig, want het klimaat grijpt in op veel processen die invloed hebben op de waterkwaliteit. Verschillende studies hebben geprobeerd dit complexe vraagstuk te benaderen door middel van (model)voorspellingen. Er wordt echter niet vaak teruggekeken naar klimaateffecten in reeds beschikbare meetdata (Rozemeijer et al., 2021). Deze 'historische' benadering kan waardevolle informatie bieden.

Beschikbare meetdata kunnen op meerdere manieren worden ingezet om klimaateffecten te ontrafelen. Ten eerste door te kijken naar de reactie van de gemeten waterkwaliteit op weersextremen (droog en nat) die door klimaatverandering vaker voor gaan komen. Ten tweede door te kijken naar langjarige trends in de gemeten waterkwaliteit, bijvoorbeeld door te analyseren of de stijging van de Nederlandse luchttemperatuur door klimaatverandering (2 graden sinds de jaren '90) terug te zien is in de gemeten watertemperatuur. Echter, niet alle langjarige trends zijn toe te schrijven aan klimaatverandering. Zo zijn trends in stoffen (bijvoorbeeld nutriënten) vaak meer toe te schrijven aan veranderd menselijk handelen (mestbeleid, verbeterde waterzuivering, inlaten van water en andere gebiedsontwikkelingen) en is het effect van het klimaat lastig te isoleren.

Waterschap Aa en Maas en Deltares werken sinds 2023 samen aan het initiatief 'Waterkwaliteit van de Toekomst'. Het doel van dit initiatief is om het inzicht te vergroten in ontwikkelingen van de chemische en ecologische waterkwaliteit op de langere termijn (2050). Het streven is niet alleen om de actuele situatie in kaart te brengen, maar ook om in de toekomst beter te kunnen anticiperen op veranderende klimaatvariabelen. Vanuit Deltares is binnen dit traject het initiatief genomen om de meetnet data van waterschap Aa en Maas te analyseren om de kennis over de relatie tussen klimaat en waterkwaliteit te vergroten.

1.2 Doelstelling

Dit onderzoek is uitgevoerd met als doel om uit de historische meetreeksen van de waterkwaliteitsmeetnetten van waterschap Aa en Maas kennis op te doen over de lange termijn ontwikkelingen in de waterkwaliteit en over het effect van extreem droge en natte perioden. Door middel van trendanalyses van de afgelopen 20 tot 30 jaar is inzicht verkregen in het verloop van verschillende parameters met betrekking tot de waterkwaliteit binnen het gehele beheergebied. Voor een meer gedetailleerd beeld is hierbij ook onderscheid gemaakt tussen de verschillende districten binnen Aa en Maas (Beneden Aa, Boven Aa, Raam, Hertogswering), watertypen (beken, kanalen en sloten), de zomer- en wintertrends en invloeden van inlaatwater, rwzi effluent en landbouw-specifieke wateren. Tevens is gekeken naar de reactie van de waterkwaliteit op klimaatextremen, met zowel aandacht voor droogte en extreme neerslag. Op basis van deze gegevens kunnen voorzichtige conclusies getrokken worden over de mogelijke problemen in de toekomst, zodat hierop geanticipeerd kan worden.

1.3 Opzet rapport

In dit rapport worden de aanpak en de resultaten van de gegevensanalyses gepresenteerd, waarbij de volgende onderdelen aan bod komen:

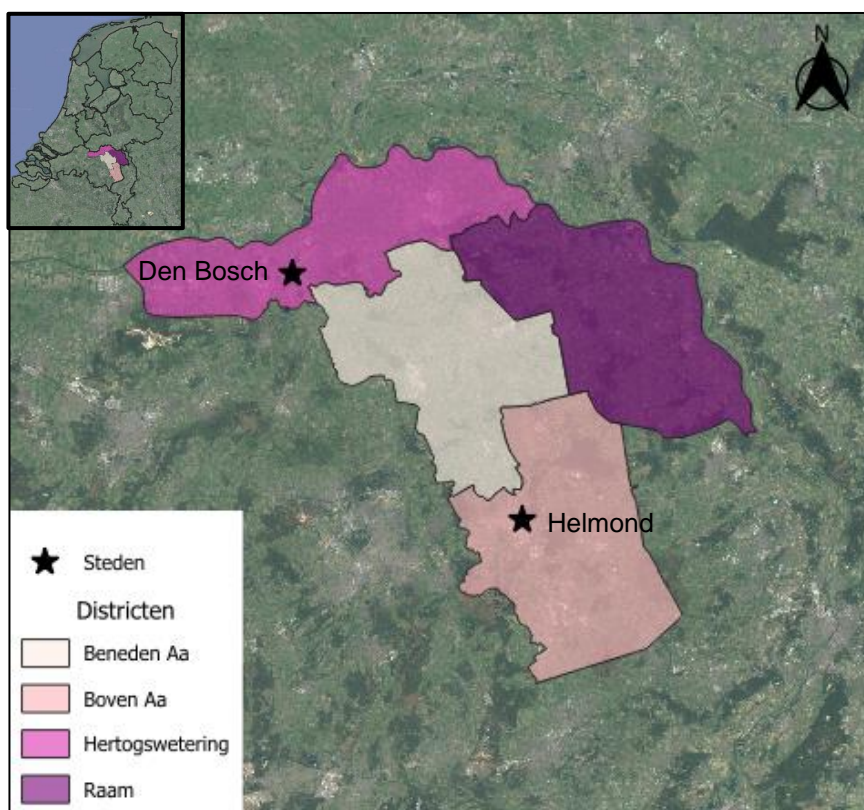
- Als eerste wordt ingegaan op de datasets en de meegenomen parameters in deze studie. Tevens wordt besproken welke trendanalyses uitgevoerd zijn en op welke extreme weersomstandigheden ingezoomd is (hoofdstuk 2);
- Vervolgens is gekeken naar de ontwikkeling van weersvariabelen, waaronder de luchttemperatuur en het neerslagoverschot in de periode 1950-2022 binnen het beheergebied (hoofdstuk 3);
- Als derde worden de trends van verschillende waterkwaliteitsparameters besproken, waarbij onderscheid is gemaakt in zomer- en wintertrends en de verschillende districten, water typen en invloeden van inlaatwater, rwzi water en landbouw (hoofdstuk 4);
- Daarna is gekeken naar de reactie van de waterkwaliteitsparameters op de gekozen extreme weersomstandigheden (hoofdstuk 5);
- Om te beoordelen of de geobserveerde trends en reacties in lijn zijn met eerdere studies naar het effect van weersextremen op de waterkwaliteit, zijn de resultaten vervolgens vergeleken met bevindingen uit deze studies en hun eigen meetnetten (hoofdstuk 6);
- Als laatste worden de getrokken conclusies beschreven en worden er een aantal aanbevelingen gedaan (hoofdstuk 7).

2 Data en dataverwerking

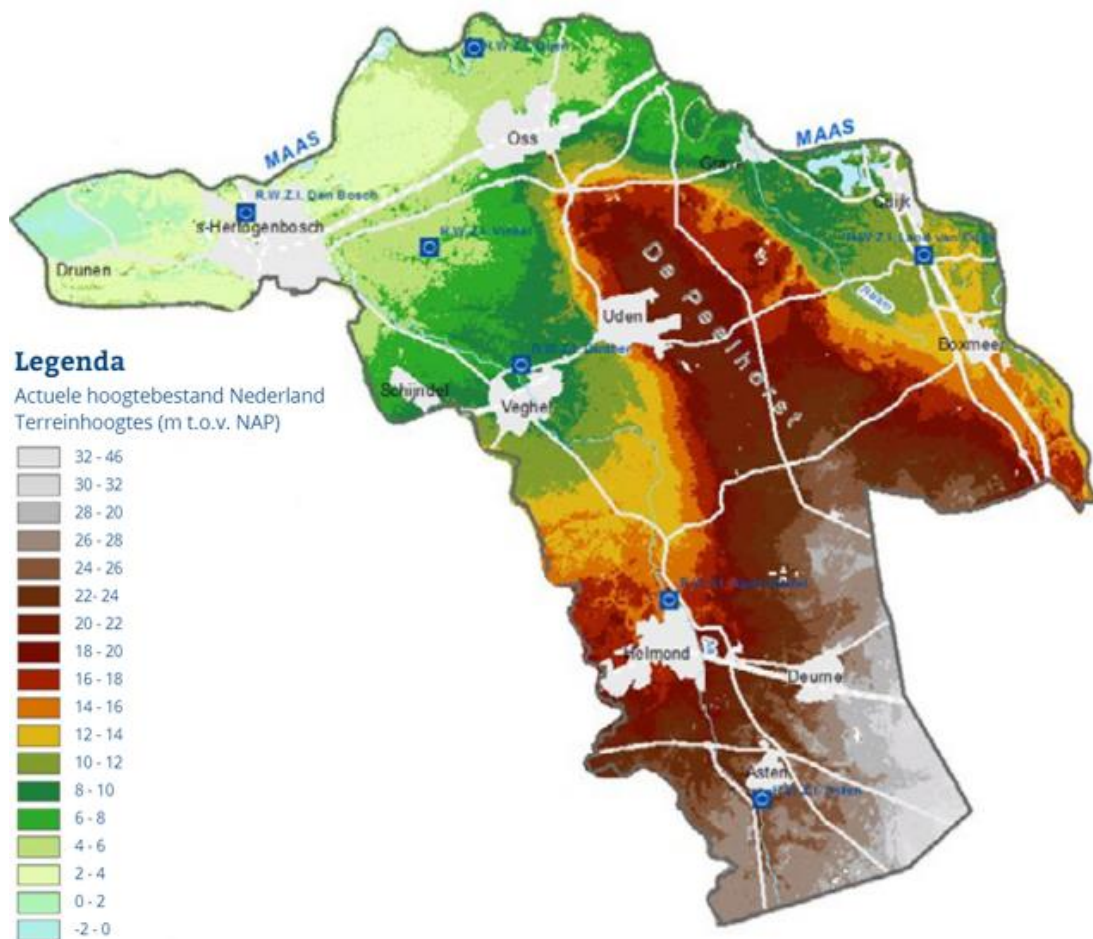
2.1 Gebiedsomschrijving

Het beheergebied van waterschap Aa en Maas ligt in het oostelijke deel van de provincie Noord-Brabant. Het landgebruik in waterschap Aa en Maas is hoofdzakelijk agrarisch. Dit gebied, met een omvang van zo'n 160.000 ha is opgesplitst in vier districten: Hertogswetering in het noorden, Beneden Aa in het centraal westelijke deel, Boven Aa in het zuidelijk deel en Raam in het centraal oostelijk deel, zie ook Figuur 2.1 (waterschap Aa en Maas, 2021). De zuidelijke districten bestaan uit vrij afwaterende waterlopen met hoofdzakelijk zandgrond. In de hoogtekartaart van het gebied (Figuur 2.2) is te zien dat de Peelhorst de waterscheiding vormt tussen het Raam-district in het oosten en de Boven en Beneden Aa in het westen. Het district Hertogswetering in het noorden is een poldergebied met hoofdzakelijk rivierklei-bodems.

De Maas vormt de noordelijke grens van het beheergebied. De Aa ontspringt ten zuiden van Helmond in Nederweert in Limburg als beek en verandert stroomafwaarts in een kleine rivier. De Raam ontspringt in het beheergebied van Aa en Maas. Via een stelsel van kanalen zoals het Peelkanaal komt inlaatwater (oorspronkelijk Maaswater) het gebied in. Daarnaast staan de Aa en de Raam onder invloed van rwzi-effluent. In Den Bosch komt de Aa samen met de Dommel, die even ten noorden van Den Bosch in de Maas uitmondt. De Raam mondt bij Grave uit in de Maas.

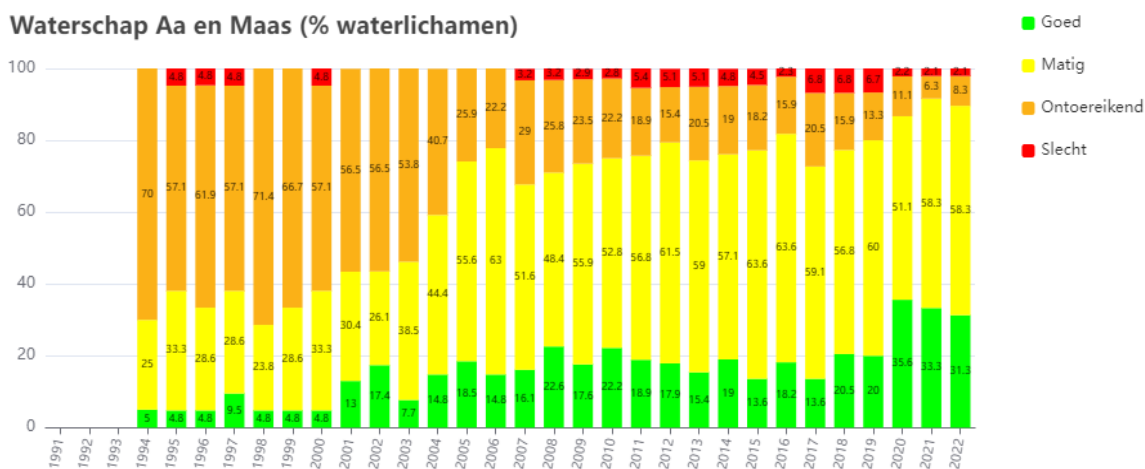


Figuur 2.1. Beheergebied van waterschap Aa en Maas waarbij de verschillende districten in kaart zijn gebracht.



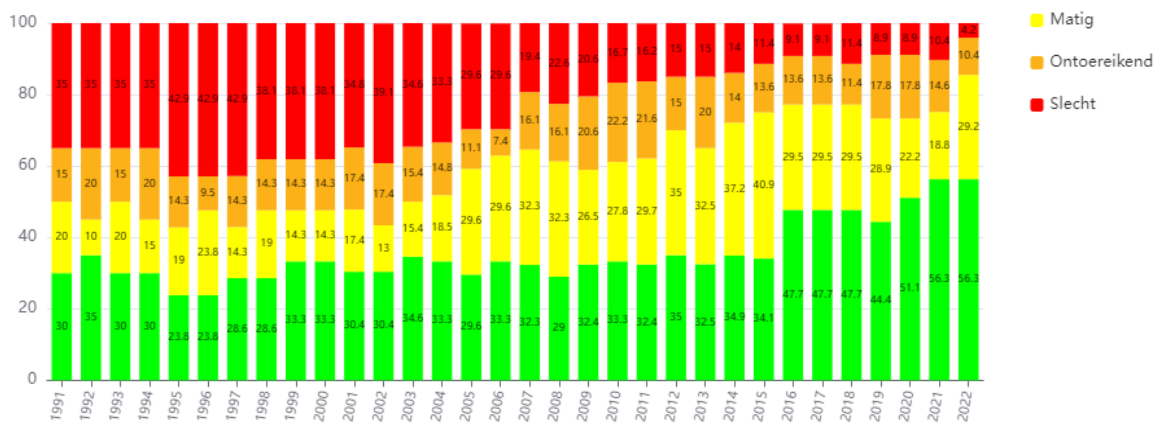
Figuur 2.2. Hoogtekaart van het beheergebied van Aa en Maas (bron: waterschap Aa en Maas, 2021).

Van de nutriënten vormt stikstof de grootste uitdaging; in de laatste jaren werd voor circa een derde van de waterlichamen de doelstelling gehaald (Figuur 2.3). Voor P-totaal wordt in iets meer dan de helft van de waterlichamen de doelstelling gehaald (Figuur 2.4). Een specifiek aandachtspunt is nog ammonium (NH_4), die in de KRW-systematiek als specifiek verontreinigende stof wordt beoordeeld. De meeste waterlichamen overschrijden de norm voor ammonium. Hiernaast zijn zink en nikkel probleemstoffen in het oppervlaktewater.



Figuur 2.3. KRW-beoordeling voor N-totaal voor waterschap Aa en Maas (bron: krw-nutrend).

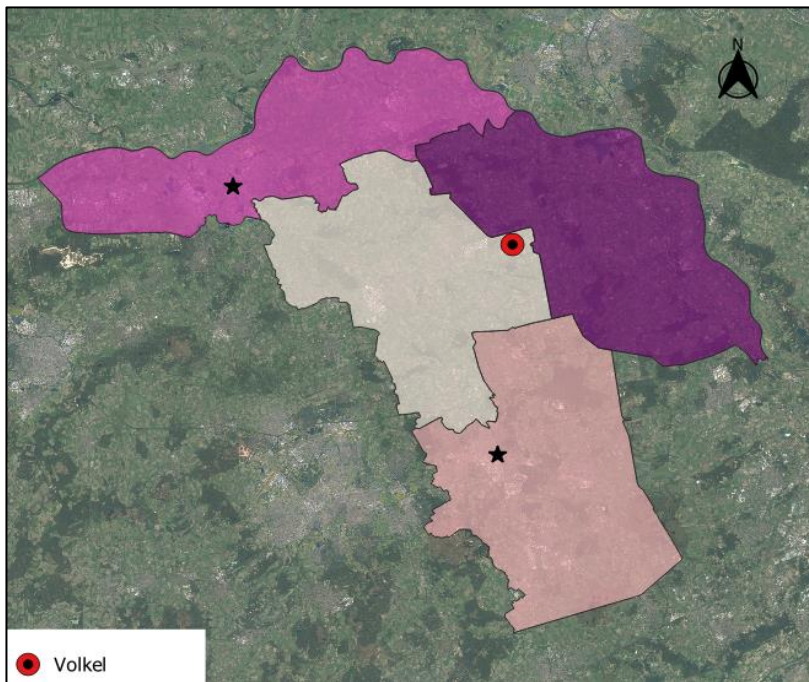
Waterschap Aa en Maas (% waterlichamen)



Figuur 2.4. KRW-beoordeling voor P-totaal voor waterschap Aa en Maas (bron: krw-nutrend).

2.2 Dataset weer

Om de verandering van het klimaat in het beheergebied van waterschap Aa en Maas te bepalen, zijn weergegevens van meetstation Volkel geraadpleegd (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), 2023). Dit meetstation ligt vrij centraal in het beheergebied van het waterschap, zie Figuur 2.5. Bij dit weerstation worden niet alleen neerslag en verdamping gemeten, maar ook veel andere parameters, zoals temperatuur en windrichting. De luchttemperatuur wordt bij Volkel al sinds 1950 gemeten. De neerslag is dagelijks gemeten vanaf 1974 en de verdamping vanaf 1992.



Figuur 2.5. Beheergebied van waterschap Aa en Maas inclusief de locatie van weerstation Volkel.

2.3 Dataverwerking waterkwaliteitsdata

De dataset met betrekking tot de waterkwaliteitsgegevens werd aangeleverd door waterschap Aa en Maas. Deze data zijn afkomstig uit het programma 'Zicht' waarin het waterschap alle fysisch-chemische meetdata opslaat. Deze initiële dataset bestond uit alle monitoringsdata van 88 parameters gemeten op 1082 locaties in het beheergebied uit de periode 1990 tot en met 2022. De parameters omvatten onder andere de nutriënten (bijvoorbeeld stikstof en fosfor), zware metalen (zoals zink en koper) en fysisch-chemische parameters (zoals pH en temperatuur).

Op de waterkwaliteitsdata zijn een aantal bewerkingen uitgevoerd:

- Dubbele metingen (twee metingen op dezelfde dag, tijd en locatie) zijn uit de dataset verwijderd. Veelal waren de waarden voor deze metingen hetzelfde, maar wanneer dit niet het geval was, werd het gemiddelde van de twee metingen genomen.
- Metingen met een waarde van -9999 zijn uit de dataset gehaald, omdat dit foute metingen betreft (in totaal 4344 metingen = 0.36 % van het totaal). Ook zijn metingen met een negatieve waarde uit de dataset gehaald, met uitzondering van negatieve waarden voor temperatuur. Dit waren in totaal 12 metingen voor de parameter fosfaat (PO_4).
- De hoedanigheid van alle meegenomen parameters is gecheckt. Voor 40 metingen van Kjeldahl stikstof (NKj) was de hoedanigheid Nnf (nf = na filtratie), voor de overige metingen was dit N. Deze 40 metingen zijn verwijderd, omdat deze niet vergeleken kunnen worden met de andere metingen. Op dezelfde locaties en datums was totaal fosfor (P-tot) gemeten als Pnf, en niet als P. Ook deze 40 metingen zijn verwijderd uit de dataset. Als laatste waren in totaal 28 metingen van organisch koolstof (Corg) gemeten als C, de rest als Cnf. Deze 28 metingen zijn ook verwijderd.
- Als een waarde kleiner was dan de detectielimiet werd de helft van de waarde van de detectielimiet aangehouden. Indien de detectielimiet veranderd is over de tijdsperiode waarin gemeten werd, werd de meest gebruikte detectielimiet aangehouden, zie ook Tabel 2.1. Voor de berekening van organisch stikstof (Norg), particulier fosfor (PP) en totaal stikstof (N-tot) werd, als een van de deelparameters een waarde kleiner dan de detectielimiet heeft, van die waarde eerst de helft genomen voordat de parameters worden opgeteld. Zie ook de tekst hier beneden. Voor N-tot is geen standaard detectielimiet bepaald, omdat die detectielimiet voor N-tot erg variabel was in tijd en ruimte (N-totaal is vaak onder detectielimiet aangegeven als 1 van deelparameters onder de detectielimiet was).
- Organisch N (Norg) is niet direct gemeten, maar is berekend door ammonium (NH_4) af te trekken van Kjeldahl-stikstof (NKj), in andere woorden $\text{Norg} = \text{NKj} - \text{NH}_4$. Omdat er al gecorrigeerd was voor de detectielimiet van NKj en NH_4 , is er geen detectielimiet bepaald voor Norg.
- Particulier-fosfor (PP) is niet direct gemeten, maar is berekend door fosfaat (PO_4) af te trekken van totaal-fosfor (P-tot), in andere woorden $\text{PP} = \text{P-tot} - \text{PO}_4$. Omdat er al gecorrigeerd was voor de detectielimiet van P-tot en PO_4 , is er geen detectielimiet bepaald voor PP.
- Als de P-tot concentratie lager was dan de PO_4 concentratie voor dezelfde meting, is voor P-tot de waarde van PO_4 aangenomen. Eerst is gecorrigeerd voor de detectielimiet en daarna zijn PO_4 en P-tot vergeleken.
- Als de waarde voor de N-totaal concentratie niet bepaald was of lager was dan de som van de deelparameters NKj, NO_3 en NO_2 , dan werd de waarde van de som van de deelparameters toegekend aan N-tot. Eerst is gecorrigeerd voor de detectielimiet en daarna zijn de N-tot waarden berekend.

Tabel 2.1. De meest voorkomende detectielimieten per parameter en de waarde die vervolgens gehanteerd is in de dataset.

Parameter*	Detectielimiet	Aangenomen waarde voor metingen < detectielimiet
Cl	5,0 mg/l	2,5 mg/l
NKj	0,2 mg/l	0,1 mg/l
NH ₄	0,1 mg/l	0,05 mg/l
NO ₂	0,01 mg/l	0,005 mg/l
NO ₃	0,05 mg/l	0,025 mg/l
P-totaal	0,04 mg/l	0,02 mg/l
PO ₄	0,01 mg/l	0,005 mg/l
SO ₄	5 mg/l	2,5 mg/l

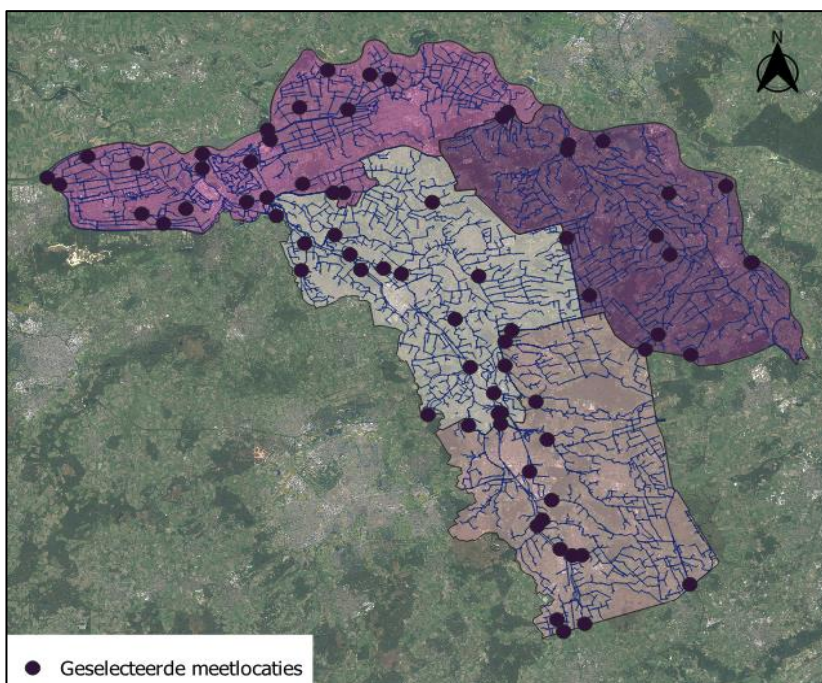
*Voor EC, O₂, pH, temperatuur en ZICHT was er geen detectielimiet, voor N-tot was de detectielimiet erg variabel in tijd en ruimte en Norg en PP zijn berekend uit parameters die al gecorrigeerd waren voor de detectielimiet.

2.4 Waterkwaliteitsdata: parameters en locaties

Voor een goede trendanalyse is het belangrijk dat er een lange en stabiele periode van metingen verricht wordt, zodat de gevonden trend minder gevoelig is voor uitschieters. Daarom zijn uit de originele dataset locaties geselecteerd die voldoende vaak en doorlopend bemeten zijn:

- Tijdreeks van ten minste 10 jaar, waarbij minimaal de periode 2013-2020 is meegenomen
- Voor de volledige jaren zijn er ten minste 10 metingen per jaar uitgevoerd

Op basis van deze voorwaarden (toegepast op totaal stikstof en totaal fosfor) zijn in totaal 72 locaties geselecteerd voor verdere analyse. Deze locaties zijn goed verdeeld over het



Figuur 2.6. De 72 geselecteerde meetlocaties waarvan de metingen geanalyseerd zijn. Tevens zijn alle waterlopen weergegeven.

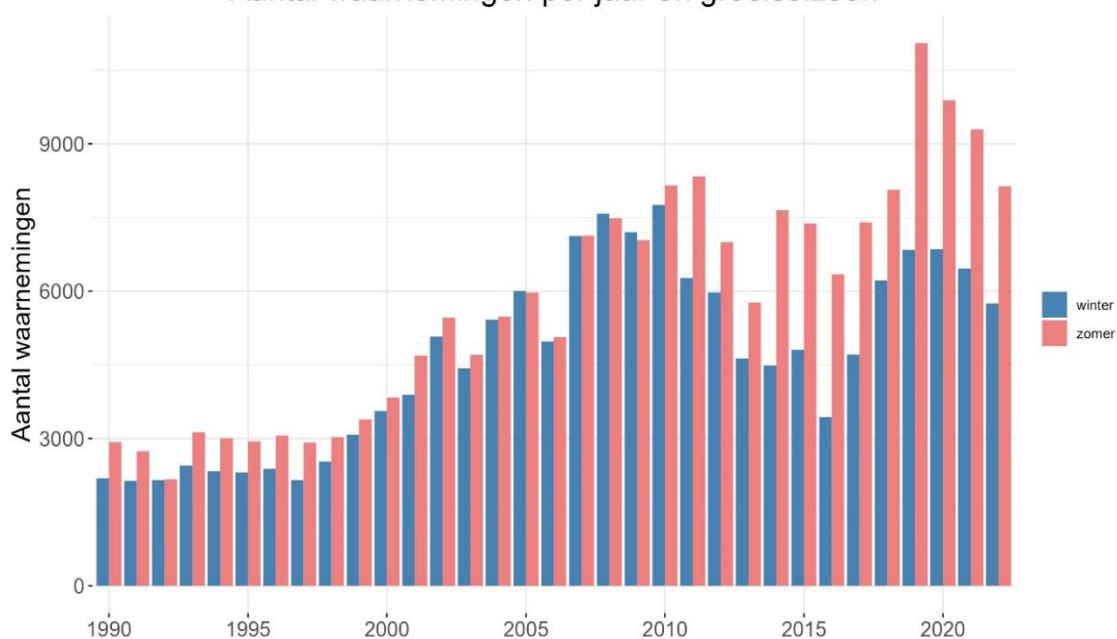
waterschap en over de districten, zie Figuur 2.6. De namen en omschrijving van deze locaties zijn weergegeven in *Bijlage A*.

Ook met betrekking tot de gemeten parameters is er een selectie gemaakt. Voor deze selectie zijn de metingen voor de 72 locaties samengevoegd en van daaruit zijn de parameters gekozen die in ten minste 15 jaren minstens 504 keer (gemiddeld 7 metingen per locatie voor 72 locaties) gemeten zijn. Hieruit kwamen 16 parameters naar voren die voldoen aan dit criterium, namelijk: Cl, EC, NH₃, NH₄, NKj, NO₂, NO₃, N-totaal, O₂, PO₄, P-totaal, SO₄, temperatuur, ZICHT, pH en sNO₃NO₂. Voor de zware metalen zijn op basis van bovenstaande criteria te weinig metingen voor een trendanalyse. Dit heeft er mee te maken dat zware metalen voor 2013 vaak werden gemeten als totale fractie en vanaf 2013 na filtratie. Er zijn daardoor onvoldoende lange meetreeksen per meetmethode.

In de trendberekeningen worden een aantal van de parameters met voldoende data toch niet meegenomen: sNO₃NO₂ omdat het een gecombineerde parameter is (NO₃ is wel meegenomen), NO₂ en NH₃ omdat ze alleen in erg lage concentraties aanwezig zijn, NKj omdat het een gecombineerde parameter is (NH₄ en N-org zijn wel meegenomen) en ZICHT omdat het in veel gevallen een detectielimiet (bodemzicht) omvatte, waardoor het onduidelijk is of een eventuele trend in ZICHT komt door een andere waterdiepte of daadwerkelijk door een andere troebelheid van het water.

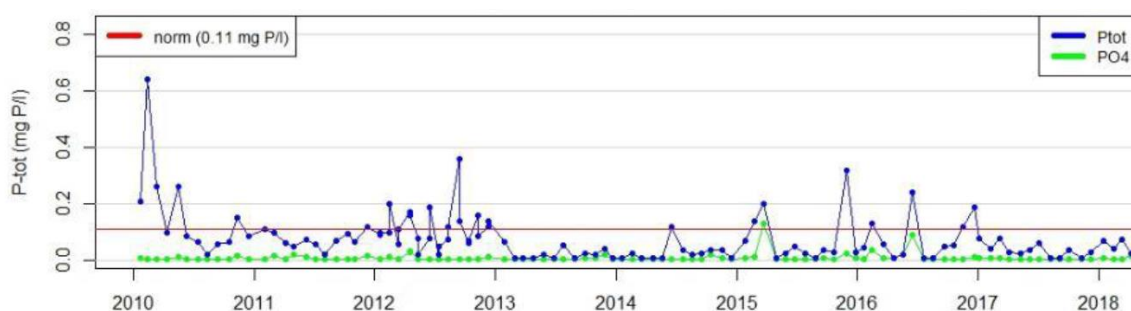
In de datareeks vallen qua databeschikbaarheid enkele opvallende patronen te identificeren, zie ook Figuur 2.7. Allereerst is er een grote toename in het aantal metingen tussen 2006 en 2007. Deze stijging is toe te schrijven aan een uitbreiding van het aantal metingen als gevolg van de implementatie van de KRW in 2007. Ten tweede valt op dat het aantal metingen per jaar vanaf 2011 aanzienlijk afneemt en dat er een verschil ontstaat tussen het aantal metingen in de zomer en in de winter. In dit jaar zijn de wintermetingen op de KRW-locaties verminderd van 6 (maandelijks) naar 2 (1 per kwartaal). Een derde punt is de toename van het aantal metingen in recente jaren, dat een gevolg is van het uitbreiden of toevoegen van meetnetten. Met name in 2019 is er een aanzienlijke stijging te zien, die grotendeels komt door de start van het project Sensor Gestuurd Boeren (SGB) en een uitbreiding van het meetnetwerk rondom de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). De fusie tussen de waterschappen De Aa en De Maaskant tot waterschap Aa en Maas in 2004 heeft geen invloed gehad op de parameterpakketten, meetmethodes en meetfrequenties. Ook in tijden van maatschappelijke gebeurtenissen, zoals de Covid-pandemie en eerdere crises zoals mond-en-klauwzeer en de gekkekoeienziekte, blijft de meetreeks onaangetast.

Aantal waarnemingen per jaar en groeiseizoen

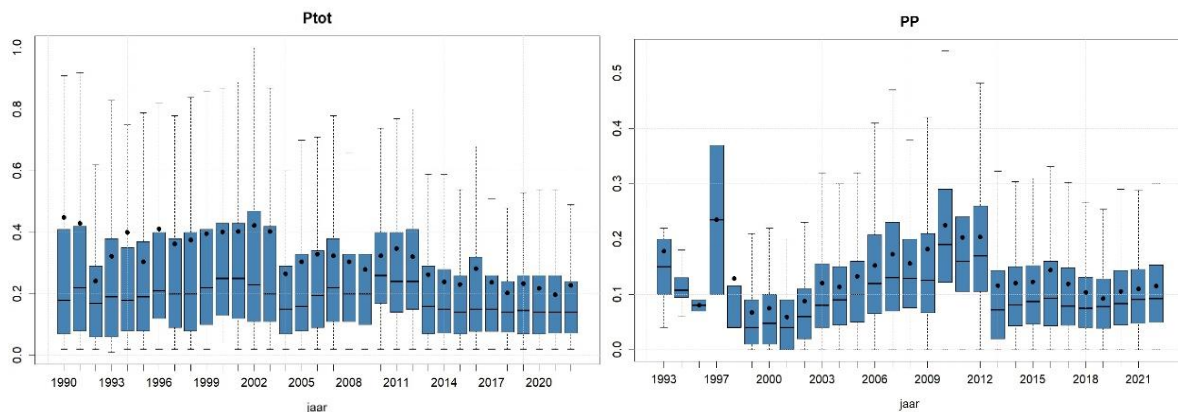


Figuur 2.7. Overzicht van het aantal waarnemingen per jaar voor alle locaties en parameters meegenomen in de analyse, verdeeld over het zomer en winter seizoen.

Als laatste is het nog van belang om te benoemen dat vanaf 2013 is overgegaan op een andere meetmethode voor P-totaal. Tot 2013 werd de historische NEN 6645 methode gebruikt, die voor P-totaal simultaan met N-totaal werd voorbehandeld én gemeten en daardoor een zwaardere ontsluiting had. Vanaf 2013 wordt de NEN 6878 methode gebruikt, die een minder zware ontsluiting kent. Afhankelijk van het aandeel particulier gebonden fosfor heeft deze verandering hoogstwaarschijnlijk een effect gehad op de gemeten concentraties en de KRW-beoordeling voor P-totaal (zie Figuur 2.8 en Figuur 2.9). Voor NH_4 en NO_3 zijn de methoden de afgelopen 13 jaar niet veranderd.



Figuur 2.8. Voorbeeld van een meetreeks voor P-tot (meetlocatie 340412, St. Jansbeek), waar de verandering in analysemethode vanaf 2013 relatief veel effect lijkt te hebben gehad op de gemeten concentraties.



Figuur 2.9. Boxplots met concentraties P-tot en PP (particulair fosfor, berekend als P-tot – PO₄) met een duidelijke sprong naar lagere concentraties vanaf 2013.

2.5 Trendanalyses

Zoals beschreven in paragraaf 2.3, zijn in totaal 72 locaties meegenomen in de trendanalyses. Hierbij is het belangrijk om te noemen dat op verschillende locaties niet alle parameters voldoende lang of intensief genoeg gemeten zijn. Voor een aantal locaties kunnen dus niet alle parameters weergegeven worden.

Op basis van de trendanalyses kan inzicht verkregen worden of de concentraties stabiel zijn, toenemen of afnemen en of er overeenkomsten zijn met de gemeten weergegevens. Een eerste belangrijk uitgangspunt bij de trendanalyses is dat de analyse eerst per meetlocatie wordt uitgevoerd. Vervolgens worden deze trends geaggregeerd naar een uitspraak op beheergebied niveau of per deelgebied. Door eerst trends per meetlocatie te bepalen en vervolgens te aggregeren heeft de variatie in de absolute concentratieniveaus geen invloed op de resultaten van de trendanalyse. Daarnaast is deze methode minder gevoelig voor gaten in de tijdreeksen (Broers & Van de Grift, 2004; Visser, 2009). Een tweede uitgangspunt bij de trendanalyse is dat er robuuste statistische methodes worden gebruikt, die niet of nauwelijks gevoelig zijn voor uitschieters in de datasets. De gebruikte methodes komen overeen met de methodes toegepast in rapportages van het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifieke Oppervlaktewateren (MNLSSO) (Buijs et al., 2020):

1. De **Seasonal Mann-Kendall (SMK) trendtest** wordt gebruikt om aan te tonen of er een opwaartse of neerwaartse trend aanwezig is per locatie en parameter (Hirsch & Slack, 1984). Daarnaast bepaalt de test of deze trend significant is of niet. Significantie wordt bij statistische testen vaak gebruikt om aan te geven of de verkregen trend niet teveel op toeval is gebaseerd. Om dat aan te tonen wordt binnen de statistiek gebruik gemaakt van de p-waarde. De p-waarde of overschrijdingskans is in dit geval de kans dat de trend op toeval is gebaseerd. Het is een waarde tussen de 1 (puur toeval) en 0 (geen toeval). In de praktijk wordt vaak de waarde van 5% (oftewel 0,05) aangehouden als significantiegrens, zo ook in deze studie. In andere woorden, als de p-waarde lager dan 5% is, is de uitkomst significant. De Seasonal Mann Kendall trendtest berekent de statistieken eerst per maand over de hele periode (bijvoorbeeld alle metingen in januari) en aggregeert ze vervolgens. Of een trend significant is hangt af van de grootte (steilheid) van de trend, maar ook van de lengte en het aantal metingen.
2. De **Theil-Sen hellingschatter** (Hirsch et al., 1982) is een robuuste non-parametrische trendschatter. Non-parametrisch wil zeggen dat de dataset niet

normaal verdeeld hoeft te zijn, wat bij waterkwaliteitsgegevens ook vaak niet het geval is. De Theil-Sen hellingschatter bepaalt de mediane trend uit alle mogelijke trends tussen onderlinge datapunten per locatie en parameter. De trendlijnen per locatie zijn geaggregeerd voor elke parameter door de mediane trendhelling en het 95%-betrouwbaarheidsinterval rond deze mediane trendhelling te berekenen. De mediane trend en het 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn geplotted met de mediane meetdatum van alle reeksen als middelpunt. De trendlijnen beginnen bij de mediane startdatum en eindigen bij de mediane einddatum van de meetreeksen. Als de mediane helling en beide betrouwbaarheidsintervallen per parameter allemaal positief zijn, dan is de trend significant opwaarts. Mochten al deze waarden negatief zijn, dan is de trend significant neerwaarts. In het geval dat één of meer van deze waarden 0 zijn, of dat de mediane helling en betrouwbaarheidsintervallen zowel positieve als negatieve waarden bevatten, dan is de trend niet significant.

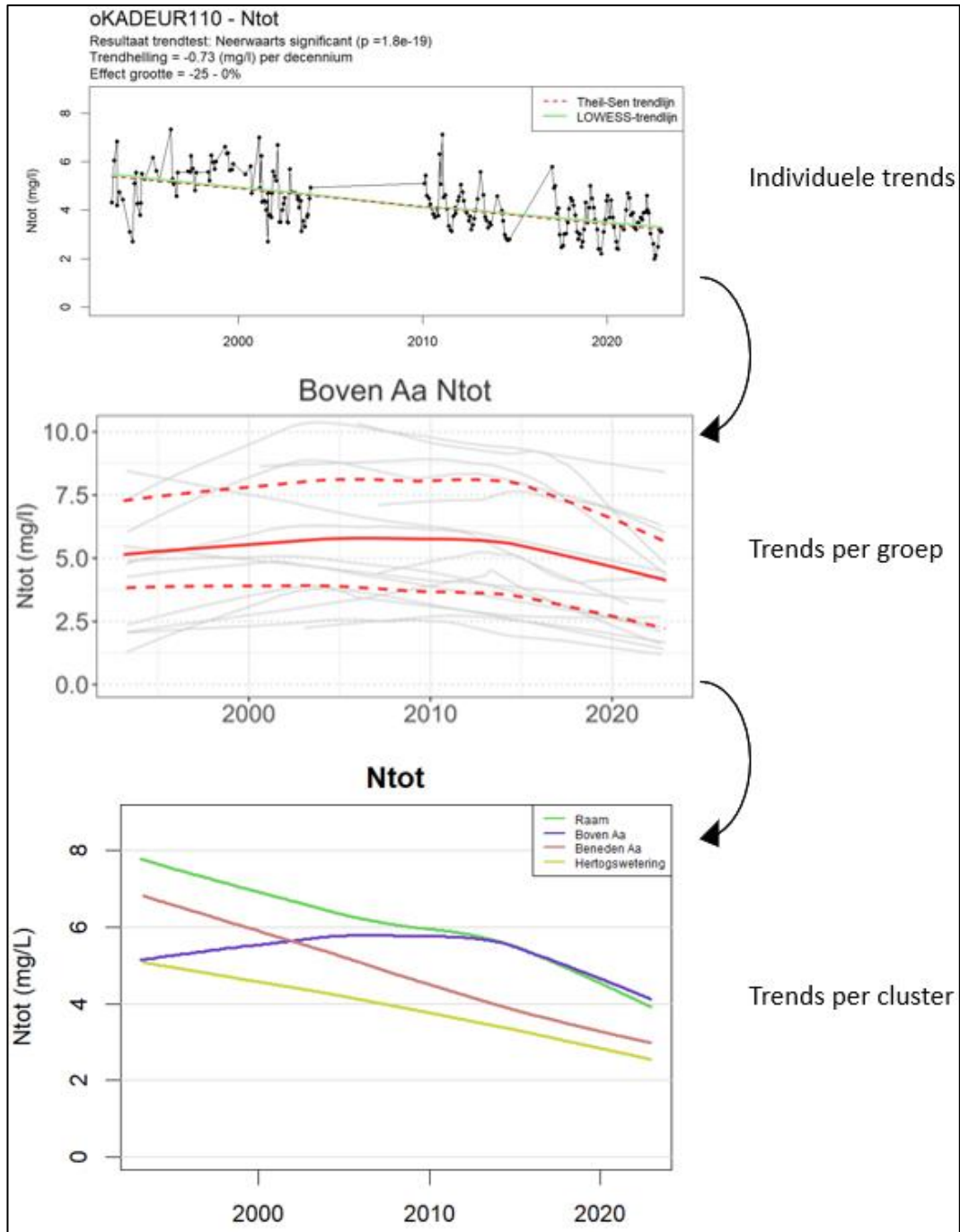
3. Als laatste wordt gebruik gemaakt van de **LOWESS-trendlijn**. Deze lijn geeft inzicht of de trend over de gemeten periode afneemt of toeneemt. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat de meetwaarden in het begin gelijk blijven maar juist in de laatste periode sterk toenemen. De LOWESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing) is een kromme trendlijn gebaseerd op 'lopend' fitten van polynomen (krommen) op een steeds opschuivend gedeelte van de meetreeks (Cleveland, 1979). Het principe lijkt op een lopend gemiddelde of een lopende mediaan, waarbij voor steeds één tijdstep van het opschuivend deel van de meetreeks het gemiddelde of de mediaan wordt berekend.

Voor de SMK trendtest en de Theil-Sen hellingschatter zijn de trends opgesplitst in zomer en winter trends. Dit is mede gedaan omdat Aa en Maas vanaf 2011 op de meeste meetpunten minder is gaan meten in de wintermaanden (van maandelijks naar driemaandelijks) vergeleken met de zomermaanden (maandelijks). Dit vanaf 2011 ontstane verschil in meetdichtheid tussen zomer en winter kan effect hebben op de gevonden trends (na 2011 tellen de zomermetingen dan 'zwaarder' mee), waardoor het beter is om zomer- en winterhalfjaar apart te beschouwen.

De gebruikte methodes zijn beschreven in de internationale wetenschappelijke literatuur en worden veelvuldig gehanteerd zowel in de hydrologie als in andere disciplines. De analyses zijn uitgevoerd in het statistische programma R (R Development Core Team, 2009).

2.6 Individueel tot clusters

Bij de trendanalyses wordt eerst per meetpunt de trend bepaald, en vervolgens worden al die individuele trends geaggregeerd naar een uitspraak per cluster. De clusters waar in dit rapport onderscheid in is gemaakt is het district, het type water (kanaal, sloot, stromend water en wetering/tocht), de invloed van inlaatwater en water afkomstig van een rioolwaterzuivering (rwzi) en landbouwspecifieke-wateren. Figuur 2.10 visualiseert aan de hand van een voorbeeld van LOWESS trendlijnen hoe deze opschaling verloopt. Het begint met een trendanalyse per meetlocatie, in welke alle individuele metingen per parameter en locatie worden meegenomen. Uit deze individuele trends wordt vervolgens de geaggregeerde trend per groep berekend. In het geval van de LOWESS trend, zijn de individuele trendlijnen geaggregeerd door per groep een mediane, een 25- en 75-percentiel LOWESS-trendlijn te berekenen. Het 25- en 75-percentiel geeft respectievelijk de concentraties aan waaronder 25 procent of waarboven 25 procent van de LOWESS-trendlijnen per groep liggen. Tenslotte worden de geaggregeerde trends voor de groepen gecombineerd in groepen per cluster. Door deze stappen te volgen, heeft de variatie in de absolute concentratieniveaus geen invloed op de (onzekerheid in) de resultaten van de trendanalyse.



Figuur 2.10. Visuele uitleg van de opschaling van LOWESS trends van individuele trends, via geaggregeerde trends per groep naar een gecombineerd figuur per cluster.

2.7 Extremen

Om de reactie van de waterkwaliteit op klimaatextremen te bepalen, zijn verschillende typen analyses gedaan. Ten eerste is gekeken of er per parameter verschillen in concentratie te zien zijn per jaar en of dit samenhangt met droge of natte jaren. Hiervoor zijn per parameter boxplots voor elk jaar gemaakt (hoofdstuk 5.1).

Ten tweede is ingezoomd op maandconcentraties voor de periode 2016-2022, waarin zowel erg droge als erg natte maanden voorkwamen. Ook dit is in boxplots weergegeven

(hoofdstuk 5.2). Door in te zoomen op maanden, kan een duidelijker beeld verkregen worden van de reactie van de waterkwaliteit op droge perioden inclusief het effect op de concentraties in de eerstvolgende natte periode.

Voor het derde type analyse zijn alle data tussen 2000 en 2022 meegenomen en opgedeeld in extreem droge, gemiddelde en extreem natte condities, om zo een algemeen beeld te krijgen van de reactie van de waterkwaliteit op weersextremen. Hiervoor zijn alleen de metingen in het zomer groeiseizoen (april t/m september) meegenomen, om te zorgen dat er geen temperatuureffect doorheen speelt. Het onderscheid tussen de drie condities is gebaseerd op de STROMON-aanpak (Rozemeijer et al., 2007). Aan de hand van de netto neerslag zijn de condities als volgt bepaald:

- Extreem droog: cumulatief vochttekort van ten minste 40 mm. Dit vochttekort is berekend door achtereenvolgende negatieve netto neerslagen op te tellen tot aan de eerstvolgende positieve netto neerslag, wat betekent dat na een regenbui opnieuw vanaf nul wordt geteld.
- Extreem nat: lopend gemiddelde van ten minste 4,5 mm. Het lopend gemiddelde is berekend door de gemiddelde netto neerslag van de afgelopen 10 dagen te bepalen.
- Gemiddeld: cumulatief vochttekort kleiner dan 1 mm en een lopend gemiddelde kleiner dan 1 mm.

Bij deze drempelwaarden wordt gemiddeld 10% van de dagen in het zomerseizoen tussen 2000 en 2022 tot extreem droog gerekend, 3% tot nat en 19% tot een gemiddelde conditie. Een kleine 70% van de data valt tussen deze condities en wordt dus niet meegenomen. Vervolgens is per meting bepaald of deze is gedaan op een dag die gemarkeerd werd als gemiddeld, droog of nat. De metingen zijn daarna per parameter opgedeeld in de drie condities, waarvan wederom boxplots gemaakt zijn (hoofdstuk 5.3).

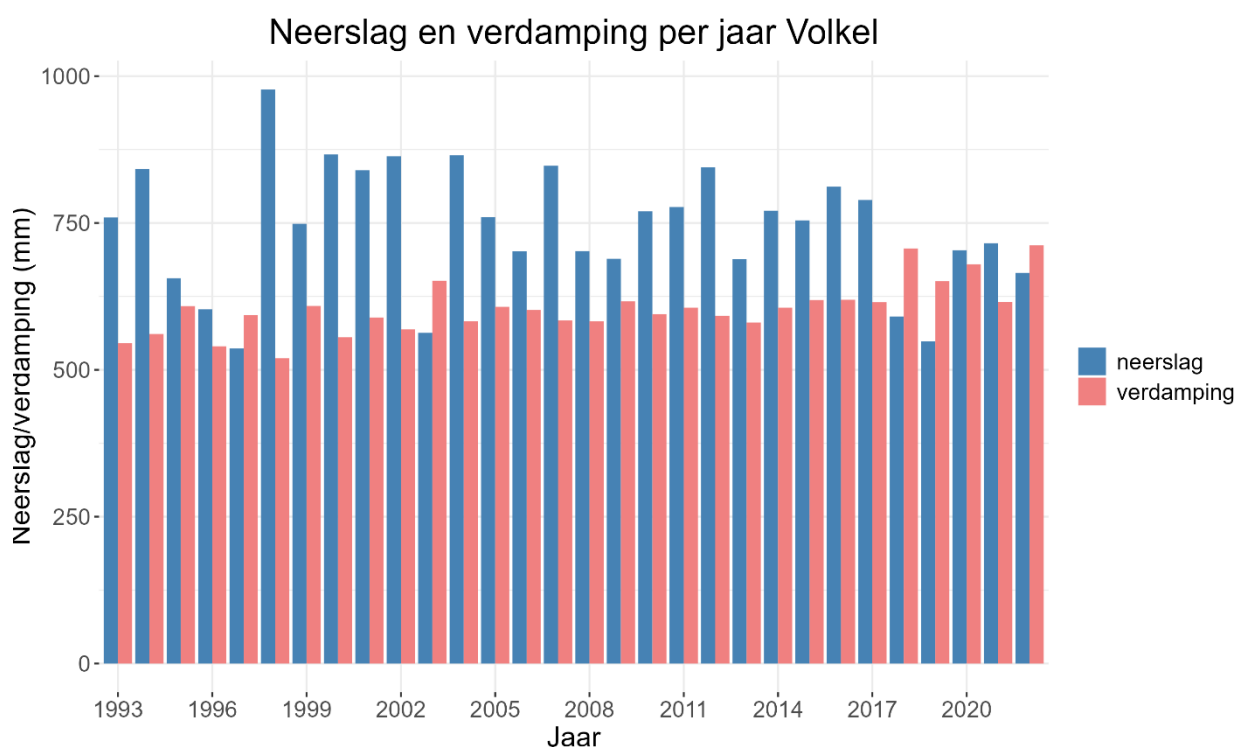
Als laatste is een aantal periodes met extreme neerslag gekozen om het effect van geïsoleerde/individuele events te bekijken, voor zover mogelijk met het maandelijkse meetinterval. Om te bepalen hoe de concentraties van de verschillende parameters reageren op extreme neerslag, zijn locaties geselecteerd waar de parameters binnen drie dagen na de bui zijn gemeten, om deze te vergelijken met de gemeten waarden op die locaties van een maand eerder. Deze grens van drie dagen is aangehouden, omdat het effect van natte extremen relatief kortdurend is. De drie natste dagen gemeten bij weerstation Volkel zijn 26 juni 2021, 30 mei 2016 en 21 juli 2004. 21 juli 2004 en 26 juni 2021 zijn niet meegenomen in de analyses, omdat er voor geen enkele parameter metingen gedaan zijn binnen drie dagen na de bui. Als alternatief is ook gekeken naar 15 juli 2021, de laatste dag van de hevige neerslag die in Limburg, België en Duitsland tot hevige overstromingen heeft geleid (Asselman et al., 2022). Het probleem met dit event is dat het een maand eerder ook al erg nat was en er dus geen goede vergelijking gemaakt kan worden. Ook deze datum is dus niet meegenomen in de analyse. Dit betekent dat er op deze manier alleen voor het extreme neerslagevent van 30 mei 2016 is gekeken naar het effect op de waterkwaliteit in de dagen erna (hoofdstuk 5.4).

3 Tijdreeksen van het weer

3.1 Neerslagoverschot

De neerslag bij meetstation Volkel is dagelijks gemeten vanaf 1 juni 1974 en de verdamping vanaf 30 oktober 1992. Het verschil tussen neerslag en verdamping (neerslagoverschot) is daarom vanaf het jaar 1993 meegenomen, zie ook Figuur 3.1. In dit figuur is te zien dat de gemiddelde neerslag tussen de 700 en 800 mm per jaar ligt, al zijn er vrij veel schommelingen. Zo is in 1998 bijna 1000 mm aan neerslag gemeten, terwijl in 1997 en 2019 maar iets meer dan 500 mm gemeten is. Er is over deze periode geen duidelijke trend in de neerslaghoeveelheden waarneembaar.

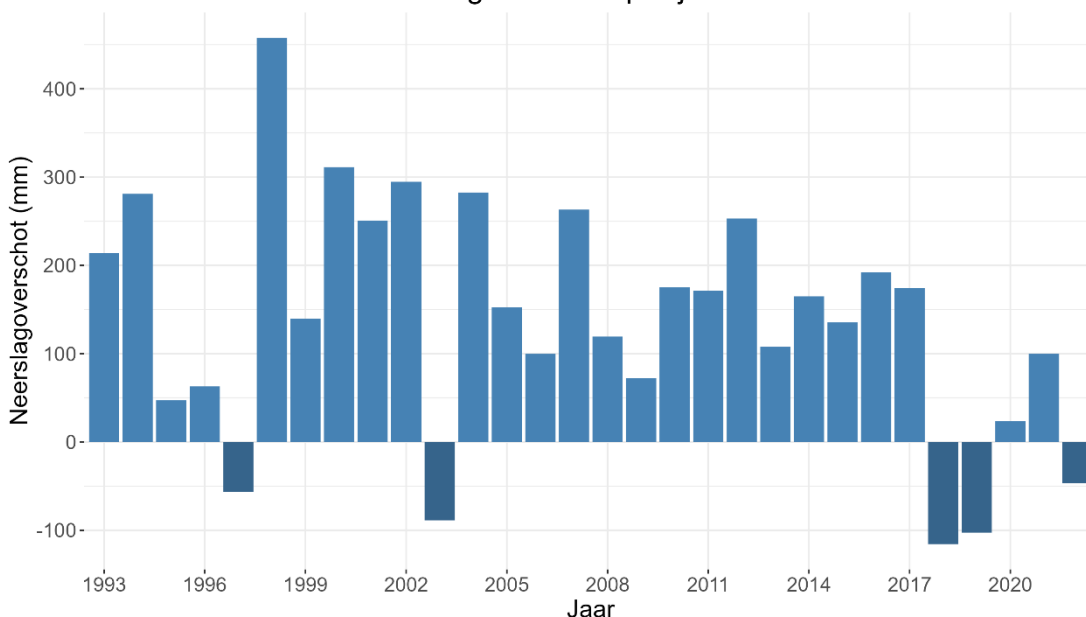
De verdamping is iets stabielier over de gehele periode en er lijkt er een lichte opwaartse trend te zijn in de verdamping per jaar. In de jaren '90 schommelde de verdamping rond de 550 mm en in de jaren '10 rond de 600 mm. Voornamelijk in de jaren vanaf 2018 was de verdamping relatief hoog. De toename in de verdamping is grotendeels te verklaren door de toename in luchttemperatuur over deze periode.



Figuur 3.1. De totale neerslag per jaar in de periode 1993 tot en met 2022 gemeten in Volkel.

Om het neerslagoverschot te bepalen, is de verdamping van de neerslag af getrokken. In Figuur 3.2 is dit neerslagoverschot per jaar weergegeven. In lijn met de grote totale hoeveelheid neerslag in 1998, is dit ook het jaar met het hoogste neerslagoverschot. De jaren 1997, 2003, 2018, 2019 en 2021 kennen daarentegen een negatief overschot, en dus meer verdamping dan neerslag op jaarbasis.

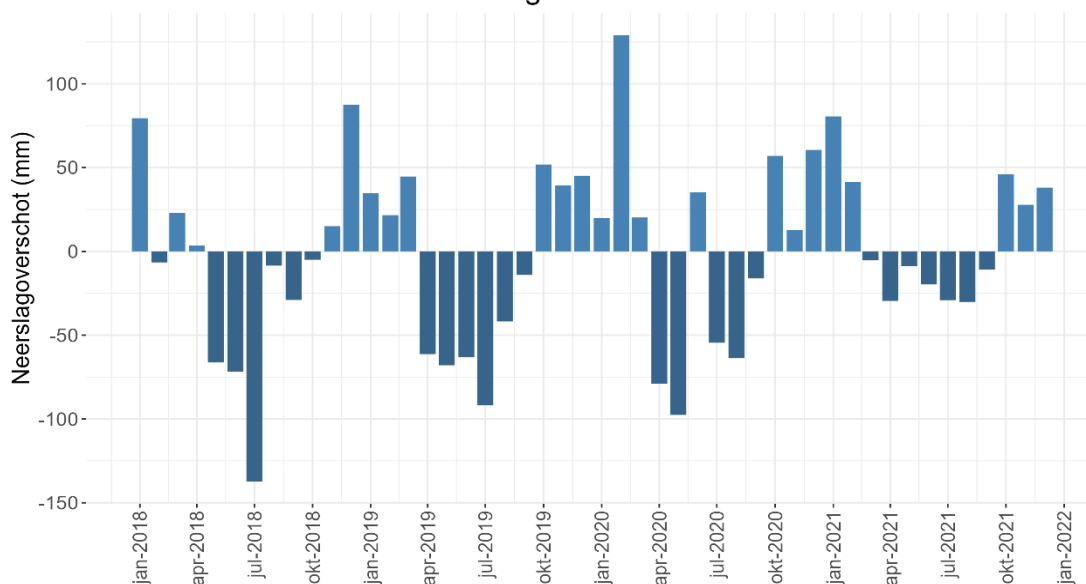
Neerslagoverschot per jaar Volkel



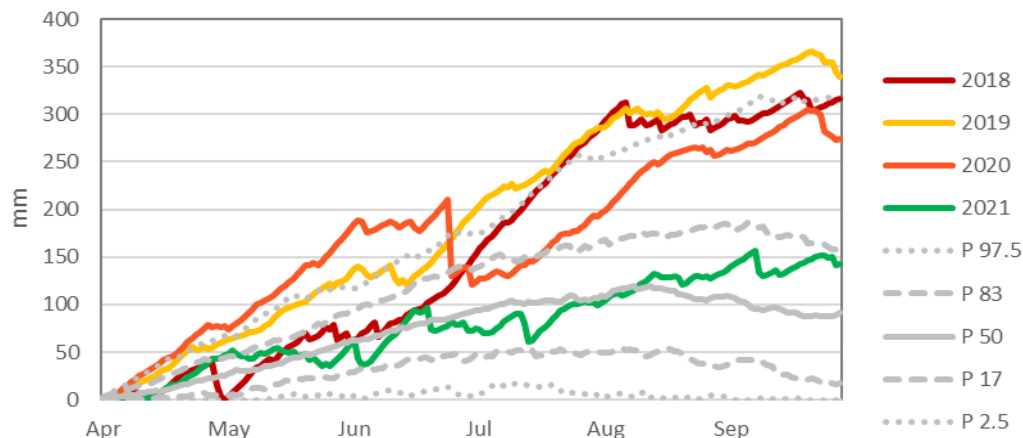
Figuur 3.2. Het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) voor de periode 1993 tot en met 2022 gemeten in Volkel.

Figuur 3.3 geeft de maandwaarden van het neerslagoverschot voor de droge jaren 2018 tot en met 2020 en het eerstvolgende normalere jaar 2021. Hierin is duidelijk het verschil in neerslagoverschot te zien, voornamelijk in de zomer, tussen de droge jaren en 2021. Figuur 3.4 geeft het cumulatieve neerslagtekort in Volkel voor de zomers van dezelfde periode. In het grijs op de achtergrond staan de langjarige percentielen van het cumulatief neerslagtekort. Uit Figuur 3.4 blijkt dat de zomers van 2018, 2019 en 2020 in de buurt van de 97.5-percentiel, ofwel de 2.5% droogste zomers vielen. De opeenvolging van deze drie droge zomers is uniek. De zomer van 2021 is tot augustus zeer gemiddeld (rond de P₅₀, mediaan), maar eindigt door een vrij droog najaar toch nog als relatief droog.

Neerslagoverschot Volkel

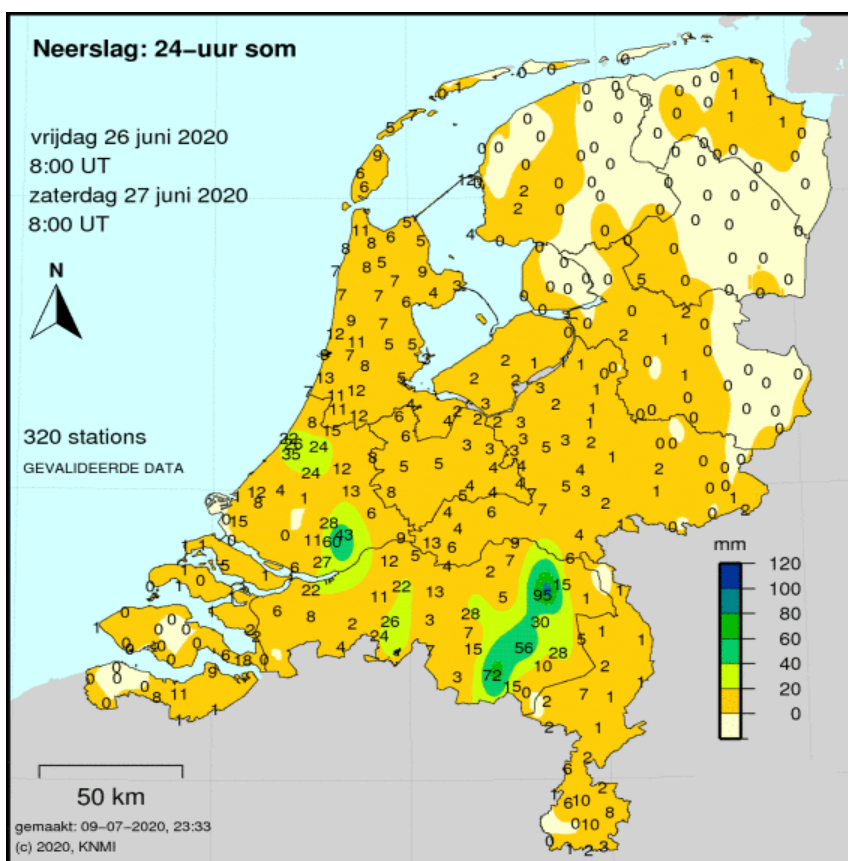


Figuur 3.3. Het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) per maand voor de periode 2018 tot en met 2021 gemeten in Volkel.



Figuur 3.4. Het cumulatief neerslagtekort in Volkel voor 2018 t/m 2021. In grijs staan de langjarige (1906-2020) percentielen van het neerslagtekort in De Bilt. Het cumulatief neerslagtekort start op 1 april en wordt bij negatieve waarden teruggezet op 0. Data: KNMI

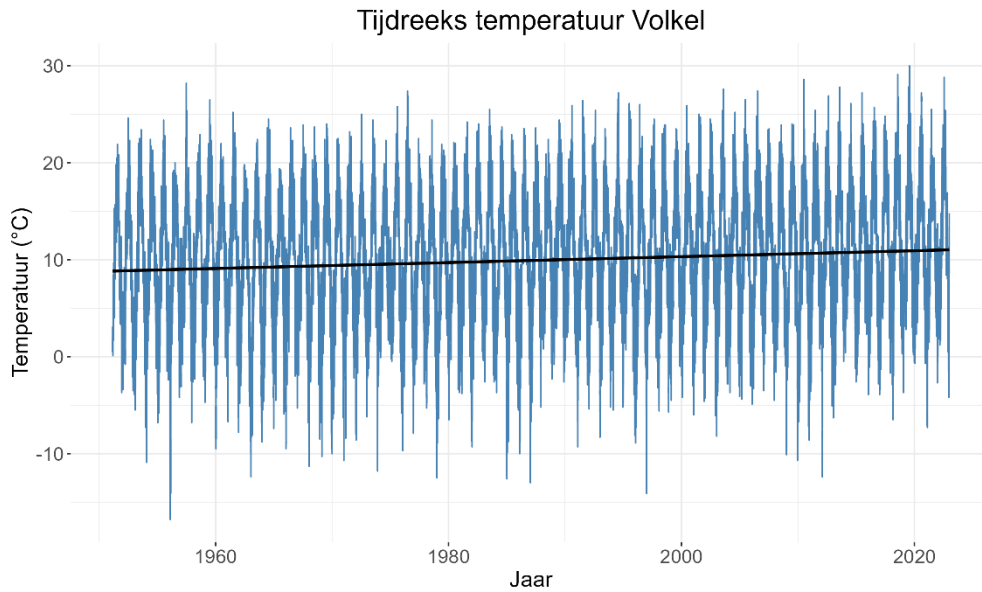
De neerslagoverschotten per maand en de cumulatieve neerslagtekorten per jaar geven wat meer inzicht in de verschillen tussen de individuele droge jaren. Zo was het voorjaar van 2018 nog niet droog, maar liep vooral in mei tot en met juli het neerslagtekort sterk op. 2019 en 2020 waren in het voorjaar vanaf april al erg droog. In 2020 werd de droge zomer onderbroken door een flinke bui op 26 juni. Deze bui viel zeer lokaal in het gebied tussen Volkel en Eindhoven midden door het beheergebied (zie Figuur 3.5). Ten westen en ten oosten daarvan viel deze bui niet en was 2020 ongeveer even droog als 2018 en 2019.



Figuur 3.5. De neerslag op 26 juni 2020 te midden van een droge periode. Te zien is dat er lokaal veel neerslag viel in beheergebied, met uitzondering van het noordwesten en het oosten.

3.2 Temperatuur

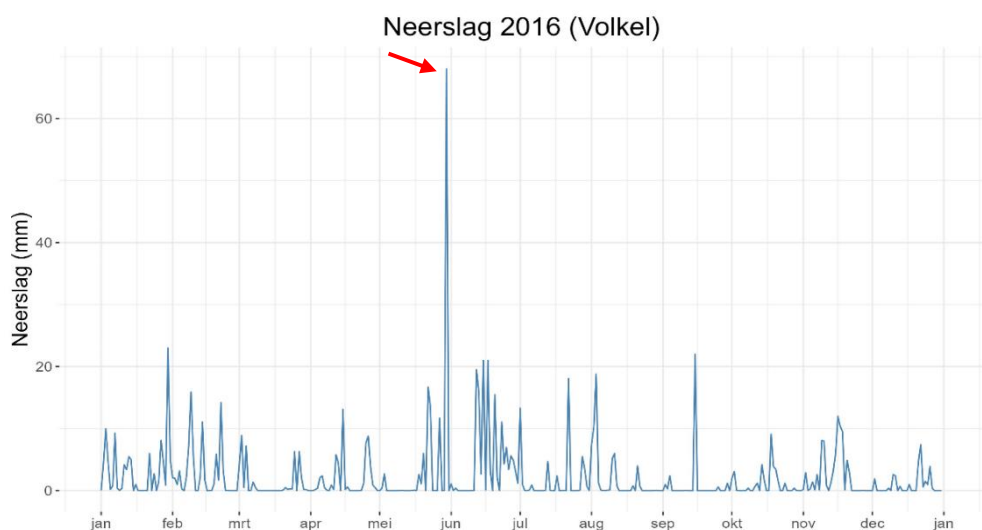
De temperatuur in Volkel is over een langere periode gemeten dan de neerslag en verdamping, namelijk vanaf 1 maart 1953, zie Figuur 3.6. De zwarte lijn in dit figuur is een afgevlakte lijn die het gemiddelde per jaar weergeeft. Hierin is een duidelijke opwaartse trend aanwezig. Aan het begin van de meetreeks was de gemiddelde temperatuur rond de 9 °C, terwijl dit rond de 11 °C was in 2022.



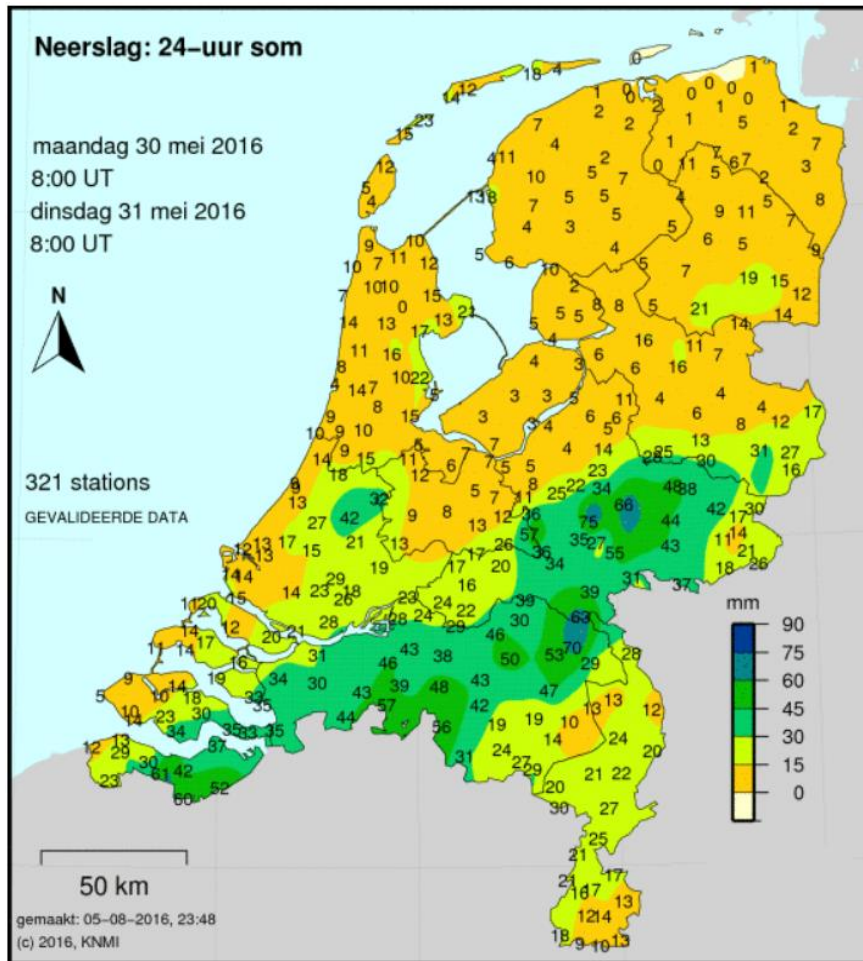
Figuur 3.6. De temperatuur die per dag gemeten is in Volkel, met de mediane waarde per jaar weergegeven als zwarte lijn.

3.3 Extreem neerslagevent

Naaste de algemene trends is er verder ingezoomd op een extreem neerslagevent, namelijk op 30 mei 2016. In Figuur 3.7 is de zien dat op 30 mei 2016 bij Volkel een hoge neerslagpiek van 65 mm gemeten werd. Op de dagen na deze piek is veel minder neerslag gevallen. In de middag en avond van 30 mei 2016 had voornamelijk het oosten van het land te maken met wateroverlast. De schade door grote hagelstenen en de wateroverlast door ondergelopen kelders was landelijk nieuws (NOS Nieuws, 2016). Deze piek in het zuidoosten van het land is ook terug te zien op de kaart met de 24-uurs neerslagsommen van het KNMI (Figuur 3.8).



Figuur 3.7. De gemeten neerslag per dag in 2016 in Volkel met de piek van 30 mei bij de rode pijl.



Figuur 3.8. Neerslag op 30 mei overdag en de nacht van 31 mei in heel Nederland, met de meeste neerslag gevallen in het zuidoosten van het land.

4 Langjarige trends in waterkwaliteit

4.1 Resultaten

4.1.1 Seasonal Mann Kendall trendtest

De geaggregeerde resultaten voor alle locaties zijn weergegeven in Tabel 4.1 als het aantal meetpunten met een significant opwaartse of neerwaartse trend en zonder significante trend. Voor de meeste parameters is voornamelijk een neerwaartse trend geobserveerd. In het geval van temperatuur, pH, Cl en EC is juist de opwaartse trend het meest geobserveerd. Opvallend is dat voor Cl op bijna hetzelfde aantal locaties een neerwaartse trend is gemeten (25) als een opwaartse trend (27). O₂ is de enige parameter voor welke geen duidelijke trend is aangetoond. In vergelijking met N-totaal, laat P-totaal meer significante opwaartse trends zien en meer locaties zonder significante trend. Daarbij dient opgemerkt te worden dat trends in P-totaal concentraties minder snel significant zijn door het piekerige gedrag van de meetreeksen. Dit piekerig gedrag komt doordat P-totaal doorgaans heviger reageert op weersextremen (vooral hevige buien) dan N-totaal.

Tabel 4.1. De resultaten voor de Seasonal Mann Kendall trend test voor de hele tijdreeks; aantal opwaartse en neerwaartse trends en het aantal locaties zonder significante trend. De grijs gearceerde cellen is de trend per parameter waar de meeste locaties aan voldoen.

Parameter	Geen trend aangetoond (p>0.05)	Aantal opwaarts (p<0.05)	Aantal neerwaarts (p<0.05)
Cl (mg/l)	20	27	25
EC (mS/m)	24	39	9
NH ₄ (mg N/l)	26	5	41
NO ₃ (mg N/l)	18	1	53
Norg (mg N/l)	10	0	62
N-totaal (mg N/l)	13	0	59
O ₂ (mg/l)	42	12	18
pH (-)	24	42	6
PO ₄ (mg P/l)	23	3	46
PP (mg P/l)	28	13	31
P-totaal (mg P/l)	26	11	35
SO ₄ (mg/l)	29	12	31
Temperatuur (°C)	30	42	0

Als gevoeligheidsanalyse zijn deze trends voor de hele meetreeks ook vergeleken met de trends die voortkomen als we alleen kijken naar de data vanaf 2000 en de data tot en met 2017, om te kijken of de gevonden trends overeind blijven als de periode 2018-2022 (met overwegend zeer droge jaren) niet wordt beschouwd. In *Bijlage B* is dit overzicht te zien. In grote lijnen blijken de trendresultaten vergelijkbaar en daarmee niet afhankelijk van de gekozen periode. Wat wel opvalt is dat de verdeling over de trends voor Cl en EC erg varieert, afhankelijk van de jaren die meegenomen zijn. Voor Norg, pH, PP en P-totaal zijn er minder significant neerwaartse trends wanneer gekeken wordt naar de jaren tot en met 2017. Als laatste is te zien dat wanneer maar een deel van de data meegenomen wordt (dus vanaf 2000 of tot 2018), de meeste locaties voor temperatuur geen significante trend aantonen. Dit kan deels verklaard worden doordat bij korte meetreeksen de trends minder snel significant zijn.

4.1.2 Theil-Sen hellingschatter

Met behulp van de Theil-Sen hellingschatter is per uitgekozen locatie een trendhelling berekend. Deze resultaten zijn geaggregeerd door voor alle locaties de mediane trendhelling te berekenen. Daarbij is ook de 95% betrouwbaarheidsinterval rond deze mediane trendhelling berekend. De relatieve trendhelling voor de hele groep locaties is berekend door de mediane trendhelling te delen door de mediane meetwaarde.

De resultaten voor alle meetlocaties zijn weergegeven in Tabel 4.2. Wanneer zowel de mediane trendhelling als de beide hellingen van het 95%-betrouwbaarheidsinterval dezelfde richting hebben (positief dan wel negatief) en niet 0,0 zijn, dan kan geconcludeerd worden dat er een significante trend aanwezig is. Voor de meeste parameters is een significant neerwaartse trend vastgesteld, terwijl voor EC en temperatuur een opwaartse trend berekend is. Voor Cl, pH en SO₄ kon geen trend vastgesteld worden. Deze conclusies komen grotendeels overeen met de trends voor de Seasonal Mann Kendall trendtest. Wat opvalt is dat de relatieve trends voor een neerwaartse beweging over het algemeen groter zijn dan voor de opwaartse trend.

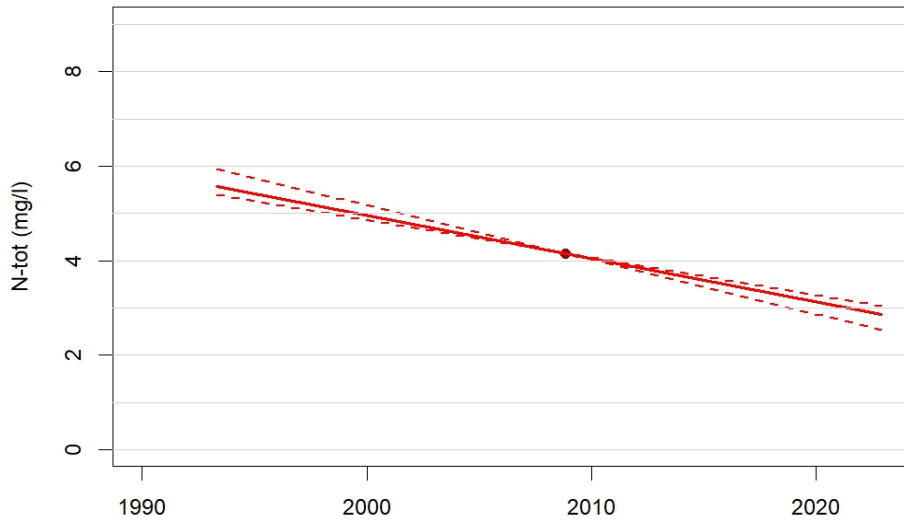
Ook voor deze trends is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de trends voor de hele meetreeks vergeleken zijn met de trends die voortkomen als we alleen kijken naar de data vanaf 2000 en de data tot en met 2017 (zonder droge jaren). In *Bijlage C* is dit overzicht te zien. In grote lijnen geven deze aangepaste periodes vergelijkbare resultaten. Wat in dit geval wel opvalt is dat wanneer de periode tot en met 2017 wordt beschouwd, de trends voor EC, NH₄, O₂, PP en P-totaal niet meer significant zijn, terwijl de trends voor de periode vanaf 2000 hetzelfde zijn als voor de hele meetreeks.

Tabel 4.2. Mediane trendhelling en 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor alle meegenomen parameters voor de hele tijdreeks.

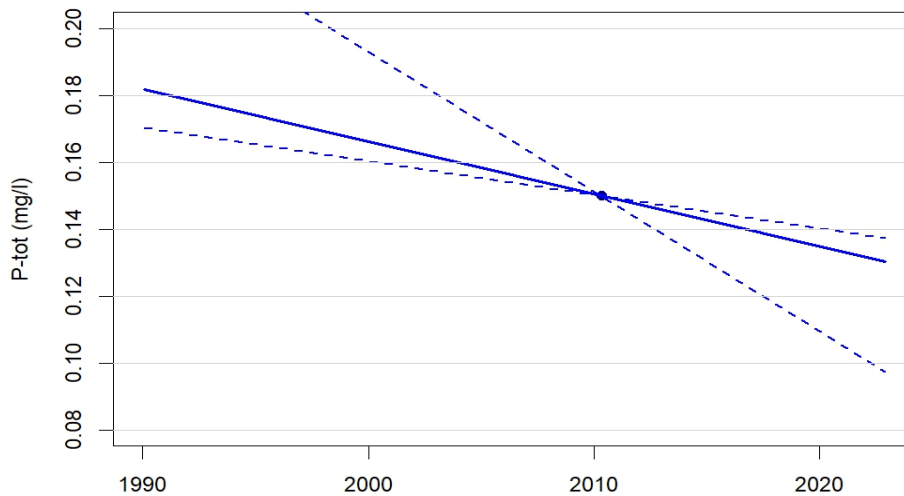
Parameter	Mediane trend per dec.	Onder/boven 95% betrouwbaarheid	Conclusie	Mediane waarde	Relatieve trend
Cl (mg/l)	0,218	-0,117 / 2,584	Geen sig. trend	42,05	0,52%
EC (mS/m)	1,520	0,896 / 2,436	Opwaarts sig.	52,50	2,90%
NH ₄ (mg N/l)	-0,024	-0,076 / -0,015	Neerwaarts sig.	0,22	-10,77%
NO ₃ (mg N/l)	-0,568	-0,678 / -0,497	Neerwaarts sig.	2,40	-23,68%
Norg (mg N/l)	-0,230	-0,261 / -0,197	Neerwaarts sig.	1,15	-20,07%
N-totaal (mg N/l)	-0,934	-1,044 / -0,748	Neerwaarts sig.	4,01	-23,27%
O ₂ (mg/l)	-0,135	-0,313 / -0,067	Neerwaarts sig.	8,37	-1,62%
pH (-)	0,047	0,000 / 0,080	Geen sig. trend	7,40	0,63%
PO ₄ (mg P/l)	-0,013	-0,022 / -0,009	Neerwaarts sig.	0,04	-31,27%
PP (mg P/l)	-0,015	-0,032 / -0,008	Neerwaarts sig.	0,09	-16,68%
P-totaal (mg P/l)	-0,020	-0,035 / -0,008	Neerwaarts sig.	0,15	-13,88%
SO ₄ (mg/l)	-0,306	-1,975 / 0,000	Geen sig. trend	55,20	-0,55%
Temperatuur (°C)	1,030	0,743 / 1,255	Opwaarts sig.	13,00	7,92%

Verder zijn er voor de Theil-Sen hellingschatter ook figuren gemaakt met de mediane helling en het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Het middelpunt van de lijnen ligt op de mediane concentratie en het mediane bemonsteringsmoment van alle metingen. Het gaat bij deze visualisatiemethode echter om de trendhellingen en niet om de absolute concentratieniveaus. In Figuur 4.1 en Figuur 4.2 zijn de trendhellingen voor N-totaal en P-totaal weergegeven, voor de overige parameters zijn deze figuren te vinden in *Bijlage D*. Zowel voor N-totaal als voor P-totaal zijn de mediane trendhelling en de beide hellingen van het 95%-betrouwbaarheidsinterval neerwaarts, al is er voor P-totaal veel meer variatie te zien dan

voor N-totaal. Dit betekent dat er met 95% zekerheid een neerwaartse trend in de concentraties van N-totaal en P-totaal is. De berekende mediane trendhellingen kunnen niet zonder meer worden geëxtrapoleerd naar de toekomst. De trends komen voort uit langjarige veranderingen in het weer en de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Daarbij is het onderscheid tussen effecten van actuele veranderingen en na-ijl effecten van veranderingen in het verleden niet te maken.

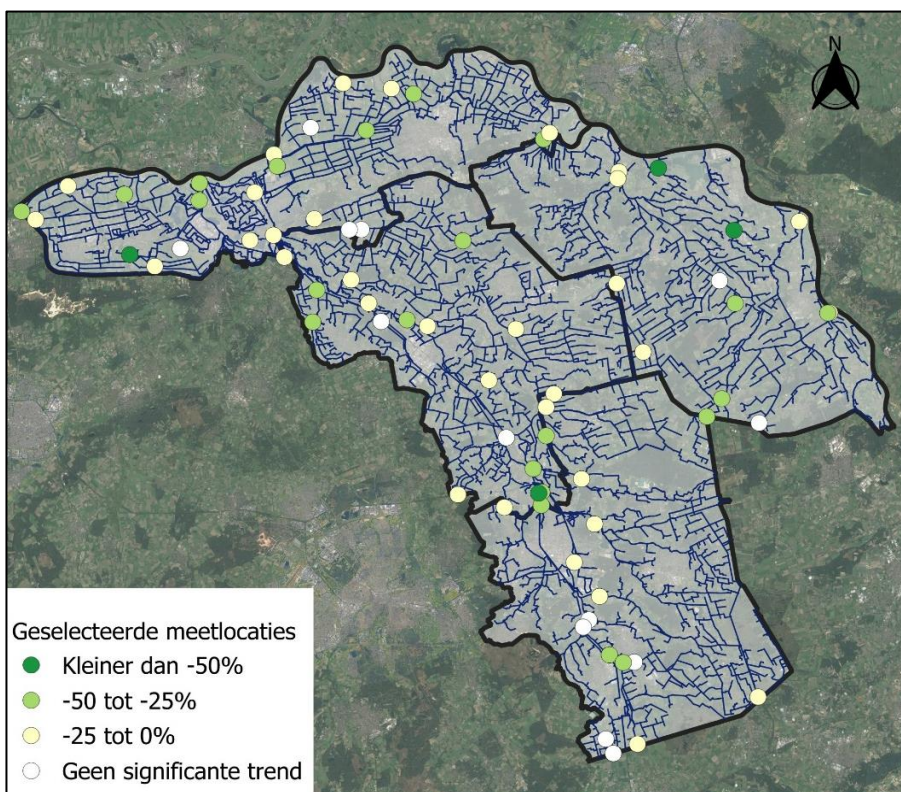


Figuur 4.1 Mediane trend met 95%-betrouwbaarheidsinterval van de helling voor N-totaal voor de hele tijdreeks.

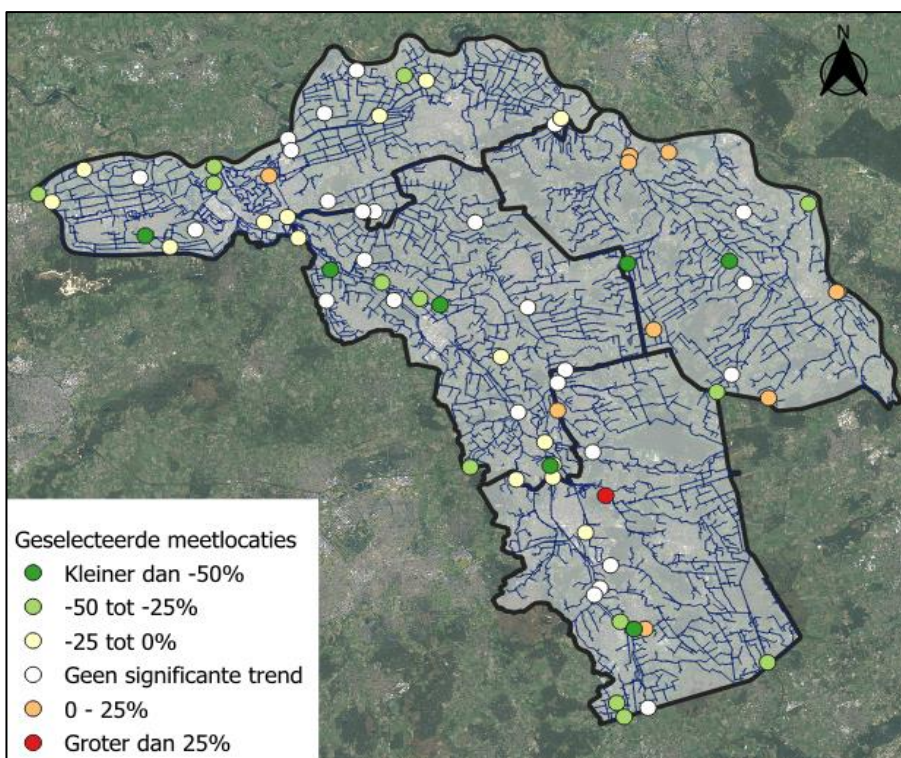


Figuur 4.2. Mediane trend met 95%-betrouwbaarheidsinterval van de helling voor P-totaal voor de hele tijdreeks.

Als laatste zijn de relatieve trends voor N-totaal en P-totaal ruimtelijk weergegeven in Figuur 4.3 en Figuur 4.4. Deze relatieve trends zijn bepaald door de mediane trendhelling van een parameter te delen door de mediane meetwaarde. Voor N-totaal laten vrijwel alle locaties een neerwaartse trend of een niet significante trend zien. Voor P-totaal laten ook de meeste locaties een neerwaartse trend zien, al zijn er ook meerdere opwaartse trends te zien. De opgave voor P-totaal lijkt dus groter dan voor N-totaal.



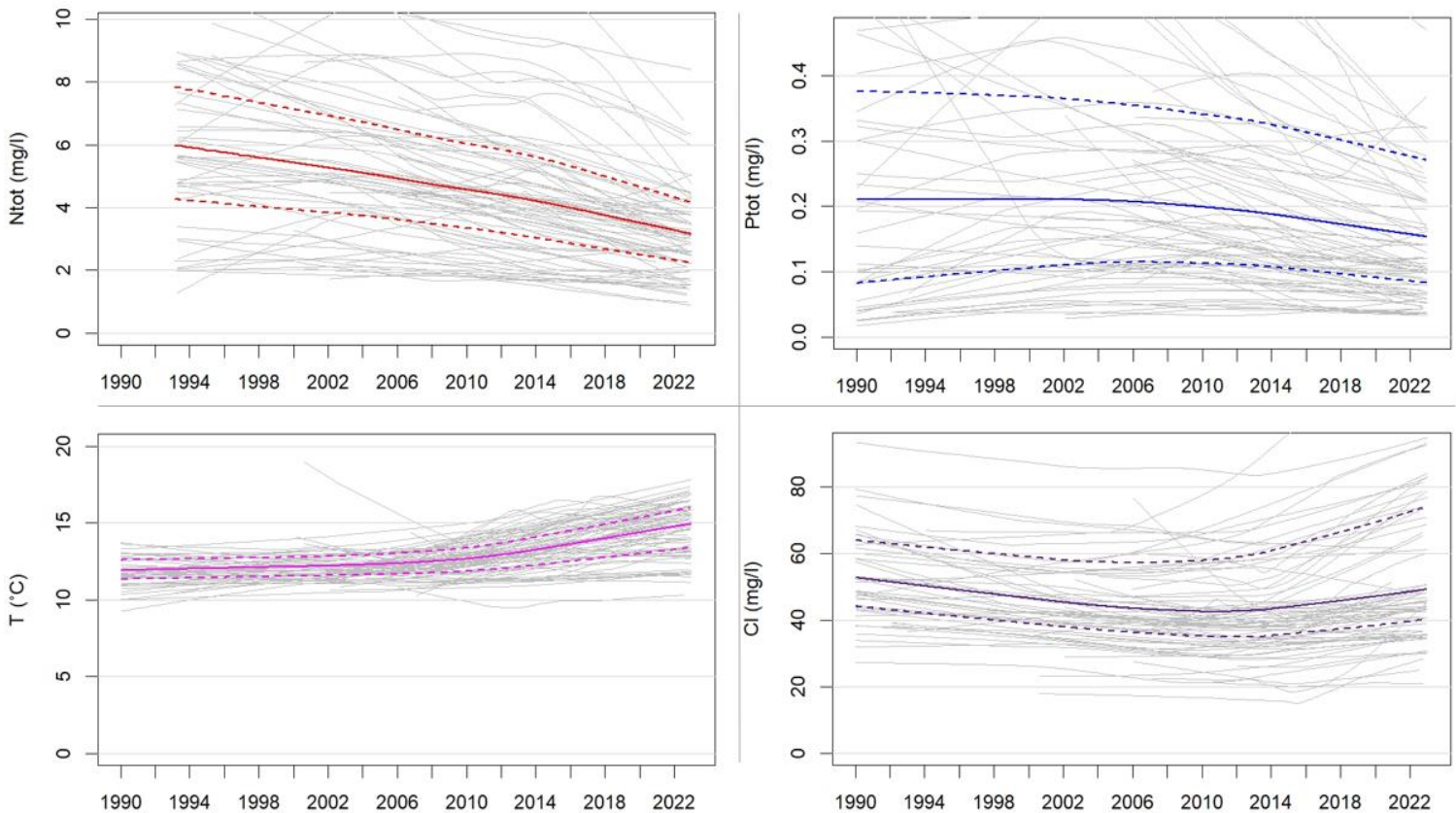
Figuur 4.3. Relatieve (neerwaartse) trends in de N-totaal concentraties in de periode 1990-2022.



Figuur 4.4. Relatieve trends in de P-totaal concentraties in de periode 1990-2022. Geel-groene punten markeren neerwaartse trends, oranje-rode punten betreffen opwaartse trends.

4.1.3 LOWESS trendlijn

Door de meetgegevens van alle trendmeetlocaties zijn LOWESS-trendlijnen berekend. Vervolgens zijn deze trendlijnen geaggregeerd en is een 25- en 75-percentiel LOWESS-trendlijn bepaald. Gezamenlijk geven de 25- en 75-percentiel LOWESS de bandbreedte weer waarbinnen 50% van de gekozen meetlocaties zich qua concentratieniveau bevindt. In Figuur 4.5 zijn voor N-totaal, P-totaal, Cl en temperatuur de geaggregeerde LOWESS-trendlijnen weergegeven. Voor de temperatuur is vanaf 1990 een lichte opwaartse trend te zien, die vanaf 2010 sterker wordt. Hierbij is het belangrijk om te noemen dat vanaf 2010 ook meer metingen in de zomer verricht zijn ten opzichte van het totaal. Om deze reden is in hoofdstuk 4.2 ook onderscheid gemaakt tussen zomer- en winter trends. De versnelling wordt mogelijk ook deels veroorzaakt doordat de snelle toename in de luchttemperatuur vanaf de jaren '80 vertraagd doorwerkt in de watertemperatuur (zie ook hoofdstuk 6.3).



Figuur 4.5. Geaggregeerde LOWESS-trendlijn en de 25 en 75-percentiel LOWESS-trendlijnen (gestippeld) voor N-totaal, P-totaal, Cl en temperatuur voor de hele tijdreeks. De grijze lijnen zijn de lijnen per locatie en de gekleurde lijnen zijn de geaggregeerde LOWESS-trendlijnen.

Uit de Seasonal Mann Kendall trendtest en de Theil-Sen hellingschatter konden geen duidelijke trends worden afgeleid voor Cl, en de oorzaak blijkt uit de LOWESS trendlijnen. Die laten namelijk tot ongeveer 2008 een neerwaartse trend zien en vervolgens vanaf ongeveer 2012 een opwaartse trend. De Seasonal Mann Kendall trendtest en Theil-Sen hellingschatter doen alleen een uitspraak over de gehele reeks en dan blijven dit soort trendomkeringen verborgen. De oorzaak van de trendomkering kan lokaal een toename in industriële lozingen zijn, maar ook in het uitspoelingswater vanuit de landbouw is de laatste jaren een toename van de chlorideconcentraties te zien (zie ook hoofdstuk 6.2).

Voor N-totaal is over de gehele periode een neerwaartse trend in de concentratie te zien. Dit is in overeenstemming van wat in de andere analyses ook al was geobserveerd. De LOWESS voor P-totaal is juist tot ongeveer 2004 vrij horizontaal, waarna een neerwaartse

trend ingezet wordt die tot het einde van de meetreeks te zien is. De 25-percentiel LOWESS voor P-totaal stijgt juist licht van 1990 tot ongeveer 2010, om vervolgens weer te dalen. Daardoor zit de 25-percentiel LOWESS van 2020 op ongeveer hetzelfde niveau als in 1990. Voor de 75-percentiel LOWESS is wel een continue neerwaartse trend te zien, wat betekent dat op de locaties met hoge concentraties een relatief snellere daling te zien is ten opzichte van het gemiddelde.

De verandering in meetmethode, zoals beschreven in hoofdstuk 2.4, lijkt invloed te hebben gehad op de P-totaal meetreeks, aangezien de concentraties vanaf 2013 sneller lijken te dalen. Hetzelfde geldt voor particulier P (PP), zie de LOWESS trendlijn in *Bijlage E*. De verandering in meetmethode zorg voor een concentratie-sprong (stap-trend) die door de LOWESS-analyse wordt 'uitgesmeerd' over een langere periode.

Voor het verkrijgen van een beeld van de trends in P-totaal voor en na de verandering in meetmethode zijn de data in een aparte analyse opgesplitst. In Tabel 4.3 zijn de resultaten weergegeven voor de SMK trendtest en de Theil-Sen hellingschatter, gesplitst in de periode met de oude meetmethode tot en met 2012 en de periode met de nieuwe meetmethode vanaf 2013. Te zien is dat tot 2013 voor P-totaal een kleine maar niet significante opwaartse trend te zien is, en voor PP een significante opwaartse trend. Vanaf 2013 verandert dit in een significant neerwaartse trend voor P-totaal en een niet significante neerwaartse trend voor PP. Voor deze parameters kan dus geen duidelijke conclusie getrokken worden over de trend over de gehele meetperiode. Wel blijken de neerwaartse trends ook de overhand te hebben als alleen de gegevens vanaf 2013 meegenomen worden. Dit geeft vertrouwen in de conclusie dat ook voor P-tot en PP de waterkwaliteit in het afgelopen decennium verbeterd is.

Tabel 4.3. De resultaten van de SMK en Theil-Sen hellingschatter voor de parameter P-totaal en PP, uitgesplitst in de periode tot 2013 en vanaf 2013 (in 2013 werd een andere meetmethode in gebruik genomen).

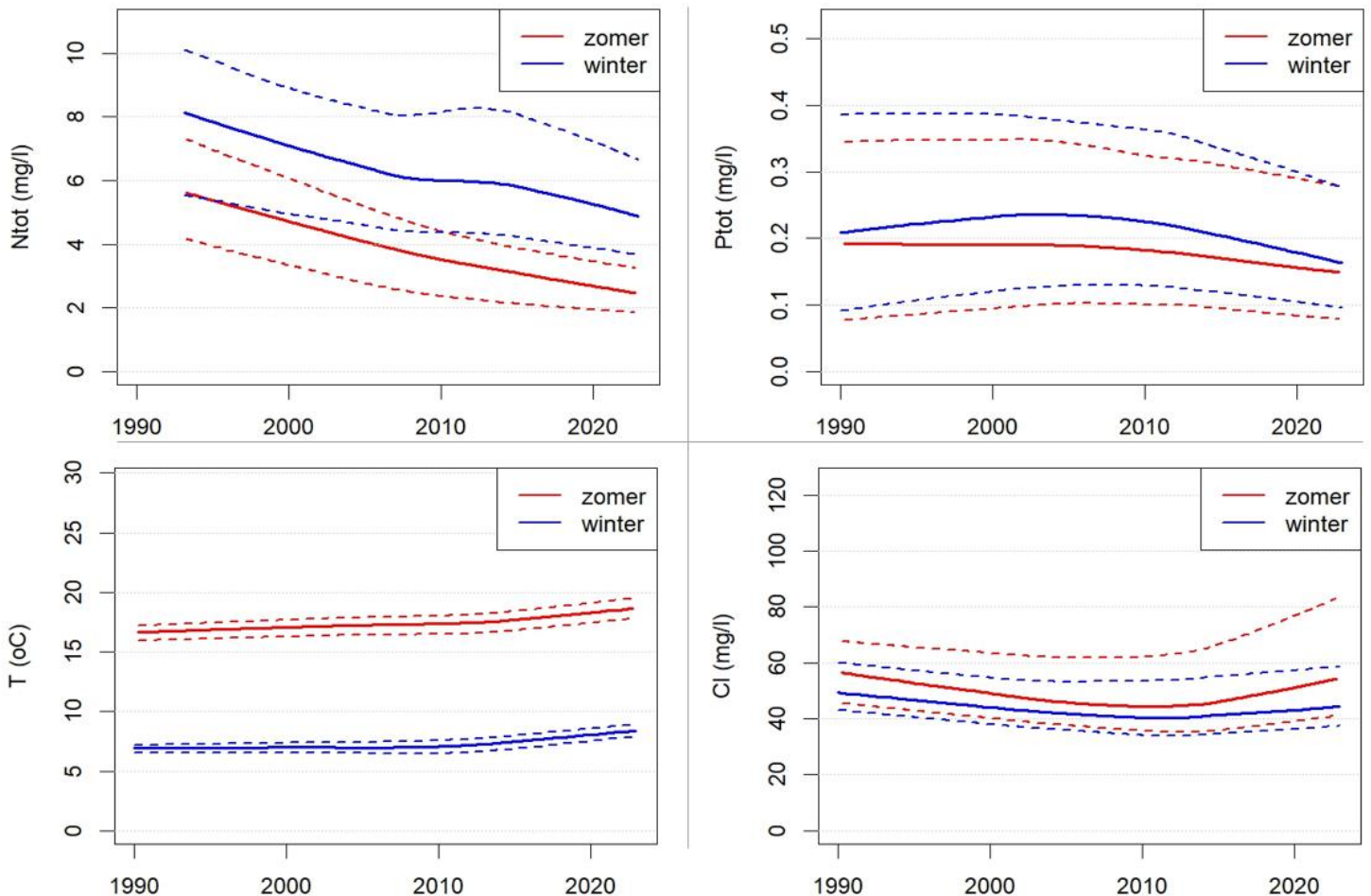
Parameter	Periode	Geen trend	Opwaarts	Neerwaarts	Mediane helling	Conclusie	Relatieve trend
P-totaal	Tot 2013	32	30	10	0,018	Niet sig.	9,96%
	Vanaf 2013	39	9	24	-0,039	Neerwaarts sig.	-17,17%
PP	Tot 2013	26	43	0	0,058	Opwaarts sig.	51,13%
	Vanaf 2013	52	8	12	-0,021	Niet sig.	-7,58%

Naast particulier-P zijn voor de parameters NO₃, NH₄, PO₄, EC en SO₄ de LOWESS trendlijnen in *Bijlage E* te zien. In de NO₃ concentraties is een duidelijke neerwaartse trend te zien over de gehele meetperiode. Voor NH₄ is deze trend ook te zien, maar minder sterk dan voor NO₃. De concentraties PO₄ dalen gestaag, al vlakt de neerwaartse trend enigszins af. De verandering in meetmethode vanaf 2013 heeft wel effect op P-totaal en PP, maar niet op PO₄. De gemeten concentraties van EC laten eenzelfde soort trend zien als bij Cl, alleen afgezwakt. Als laatste zijn de concentraties SO₄ vrij stabiel over de gehele periode, met een kleine neerwaartse trend.

4.2 Zomer- en wintertrends

Voor de LOWESS-trends, de SMK trendtest en de Theil-Sen hellingschatter zijn de trends opgesplitst in zomer en winter. De zomertrends zijn over het algemeen belangrijker voor de KRW-normen, omdat deze specifiek voor het zomerseizoen vastgesteld zijn. De wintertrends zijn juist weer belangrijk voor de landbouw, omdat in die periode over het algemeen de meeste uitspoeling plaatsvindt.

In Figuur 4.6 zijn voor N-totaal, P-totaal, Cl en temperatuur de LOWESSEN weergegeven uitgesplitst over het zomer en het winter seizoen. Over het algemeen zijn de trends vergelijkbaar voor de zomer- en winterdata, ook al liggen de absolute concentraties vooral voor N-tot in de winter op een hoger niveau. De trends in de winterconcentraties laten een korte afvlakking rond 2010 zien, die niet in de zometrend zit. Voor P totaal liggen de absolute concentratieniveaus dichter bij elkaar, maar in de wintertrend is een trendomkering te zien rond 2002, terwijl de zomerconcentraties al vanaf 1990 licht dalen. De versnelling van de verhoging van de watertemperatuur geldt zowel voor de zomer als voor de winter. De grotere meetdichtheid in de zomer vanaf 2011 lijkt dus geen duidelijke invloed gehad te hebben op de waargenomen trends. De opwaartse trend in de chlorideconcentraties vanaf ca. 2012 is voor de zomer sterker dan voor de winter.



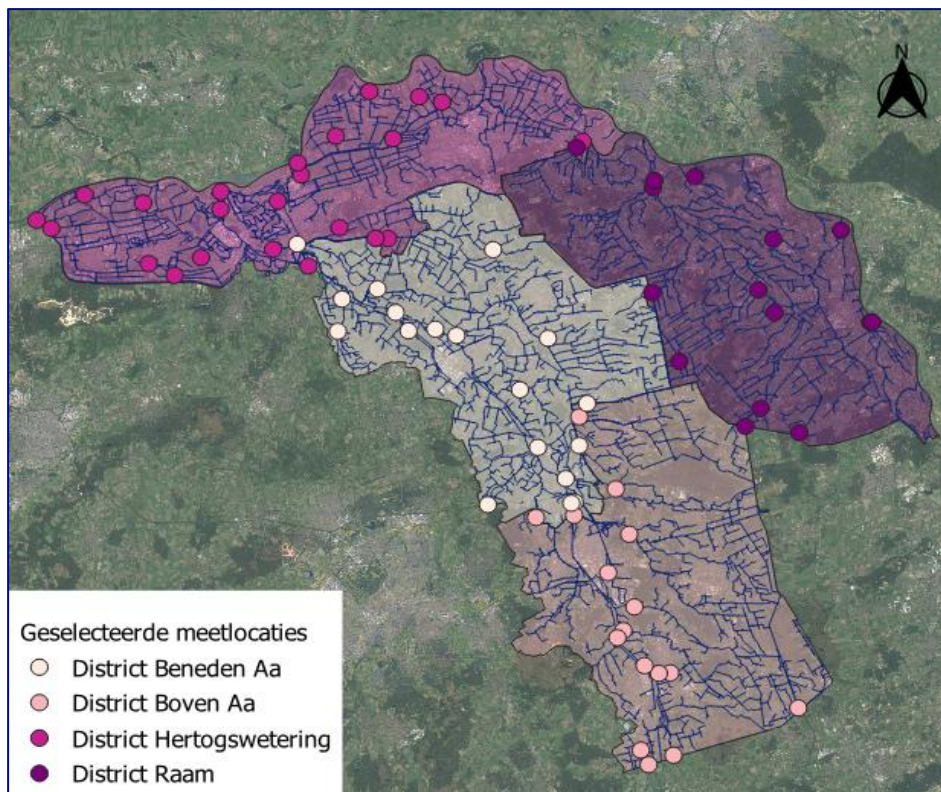
Figuur 4.6. Geaggregeerde LOWESS-trendlijn en de 25 en 75-percentiel LOWESS-trendlijnen (gestippeld) voor N-totaal, P-totaal, Cl en temperatuur voor de hele tijdreeks en uitgesplitst over zomer en winter.

Kijkend naar de Theil-Sen hellingschatter en de SMK trendtest verschillen de zomer- en wintertrends voor beide trendtesten niet veel met de jaartrend (zie *Bijlage F*). Wel zijn vaker niet-significante trends te zien voor EC en P-totaal in de winter in vergelijking met de zomer en het totaal. Verder zijn voor pH, PP en temperatuur vaker niet-significante trends te zien in zowel de zomer als de winter in vergelijking met het totaal. Voor P-totaal en PP is verder voor de Theil-Sen hellingschatter geen significante trend te zien in de winter, terwijl in de zomer en het totaal een neerwaartse trend te zien is. Als laatste is voor O₂ in de gehele dataset in de Theil-Sen hellingschatter een neerwaartse trend te zien, terwijl voor de zomer- en

wintertrends apart geen significante trend te zien is. Het minder vaak aantreffen van significante trends kan komen doordat er minder data zijn wanneer zomer en winter apart worden bekeken. Ook de temporele variatie speelt mee; door de hogere temporele variatie in de concentratie in de winter zijn er minder trends significant. Wel is te zien dat de zomerconcentraties over de gehele periode lager zijn dan de winterconcentraties. Deze lagere beschikbaarheid van zuurstof kan nadelig zijn voor het aquatisch ecosysteem.

4.3 Trends per district

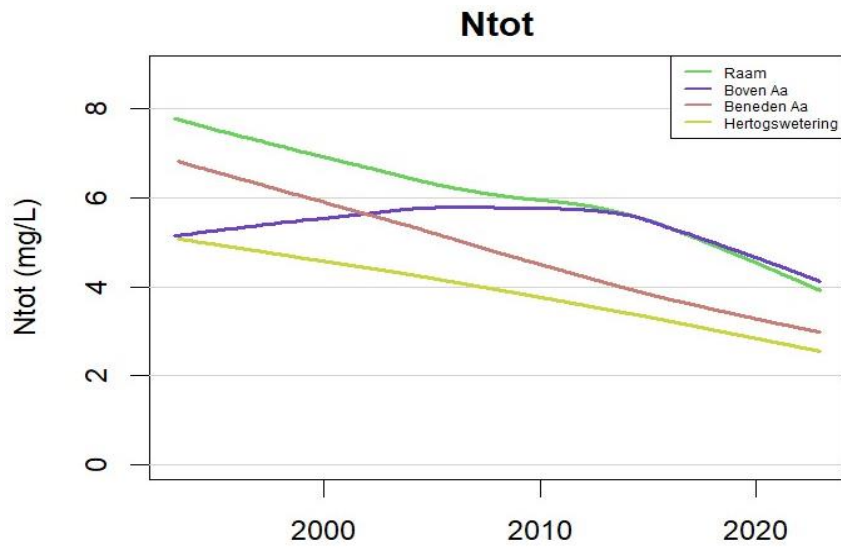
Naast de algemene trends, is ook gekeken naar de trends per district. Hiervoor zijn de meetlocaties opgesplitst over de vier districten, afhankelijk van de locatie (zie ook Figuur 4.7). De meetlocaties zijn redelijk gelijk verdeeld over de vier districten. Voor elke meetlocatie is de LOWESS trendlijn bepaald en geaggregeerd per district.



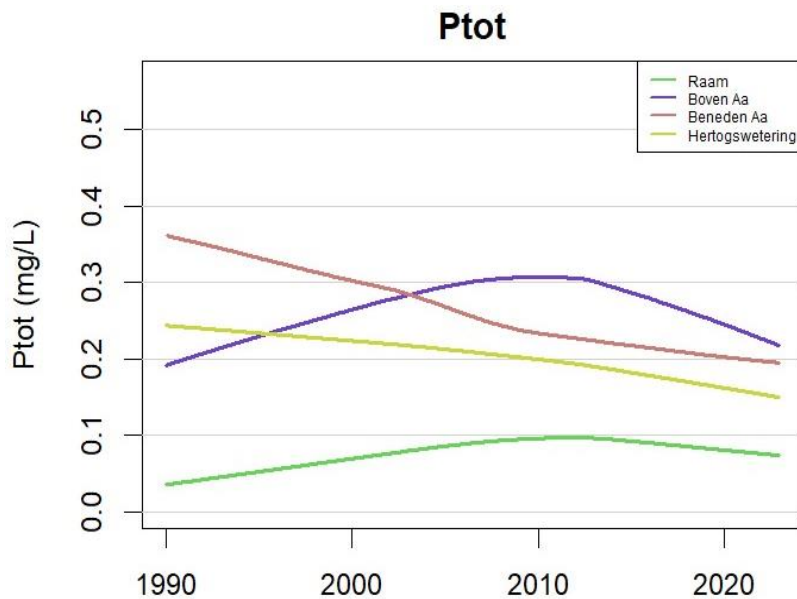
Figuur 4.7. De verdeling van de meetlocaties over de vier districten: Beneden Aa ($n = 18$), Boven Aa ($n = 16$), Hertogswetering ($n = 23$) en Raam ($n = 15$)

Over het algemeen zijn er geen heel grote verschillen in trends te zien tussen de verschillende districten in het beheergebied, al zijn er wat variaties in de nutriënten. Om dit in beeld te brengen zijn voor N-totaal en P-totaal per district de mediane LOWES-trendlijnen te zien in respectievelijk Figuur 4.8 en Figuur 4.9. Dezelfde soort trends zijn ook terug te zien in de deelparameters van N en P. Wat opvalt is dat voor Boven Aa voor zowel N-totaal als P-totaal een opwaartse trend te zien is tot ongeveer 2015, die wordt gevolgd door een neerwaartse trend. Deze trendomkering is ook te zien voor de deelparameters NH_4 , NO_3 en Norg, zie *Bijlage G*. Raam laat eenzelfde trend zien voor P-totaal, alleen wat meer afgevlakt, terwijl de trend voor N-totaal over de hele meetreeks neerwaarts is. Voor de overige districten is de trend voor N-totaal en P-totaal over de gehele meetreeks neerwaarts. Wat verder opvalt

is dat in het district Raam de hoogste concentraties N-totaal gemeten zijn, terwijl de P-totaal concentraties daar het laagst zijn in vergelijking met de andere districten.



Figuur 4.8. De geaggregeerde LOWESS-trendlijn per district voor de concentratie van N-totaal.

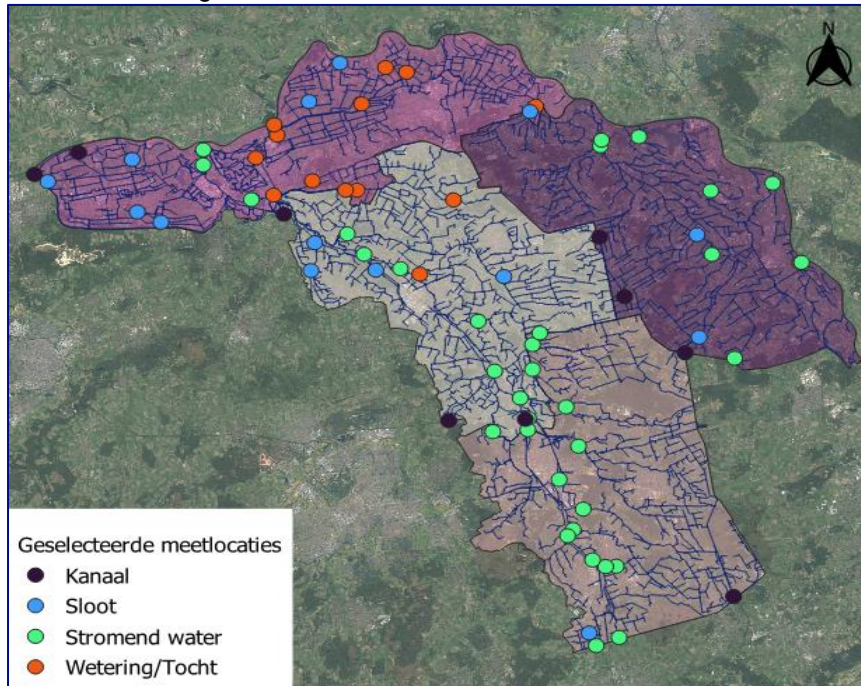


Figuur 4.9. De geaggregeerde LOWESS-trendlijn per district voor de concentratie van P-totaal.

4.4 Trends per type water

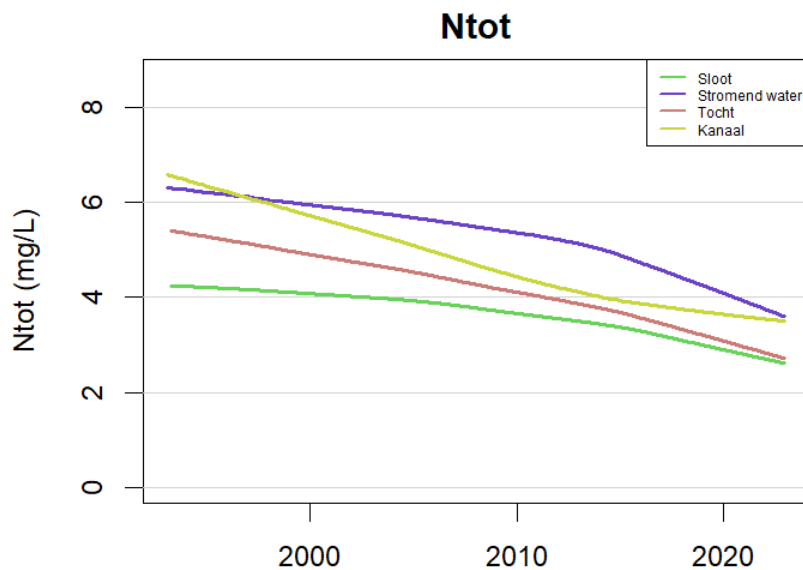
Verder is ook gekeken naar de verschillen tussen de typen wateren. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen kanaal, sloot, stromend water en wetering/tocht. Eén van de locaties werd

gekenmerkt als ven, en is in deze analyse niet meegenomen. In Figuur 4.10 is te zien dat de meeste locaties gekenmerkt worden als stromend water en de minste locaties als kanaal.

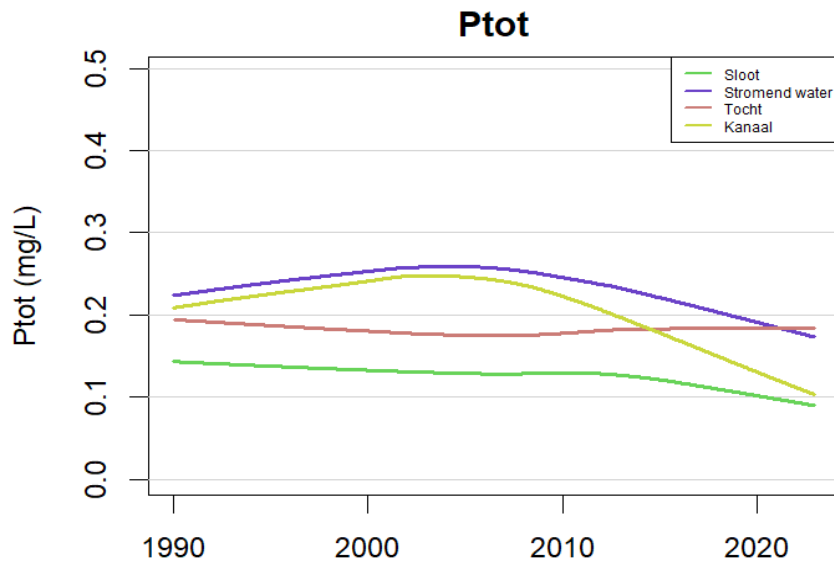


Figuur 4.10. Kaart met het type water per meetlocatie: kanaal ($n = 9$), sloot ($n = 14$), stromend water ($n = 34$) en wetering/tocht ($n = 14$).

Voor de verschillende typen water geldt dat voor de meeste parameters dezelfde trends te zien zijn tussen de verschillende typen water. Ook voor deze cluster zijn de mediane LOWESSEN voor N-totaal en P-totaal uitgelicht, zie respectievelijk Figuur 4.11 en Figuur 4.12. Voor N-totaal laten alle typen water een neerwaartse trend zien, waarbij de concentraties in het stromend water over het algemeen het hoogst zijn. De deelparameters NH_4 en Norg laten ook de hoogste concentratie zien in het stromend water, terwijl de hoogste concentratie NO_3 te vinden is in de kanalen, zie ook *Bijlage H*. Voor P-totaal is er in de stromende wateren en in de kanalen een opwaartse trend te zien tot en met 2015, waarna de trend omslaat in een neerwaartse beweging. Voor de tochten en de sloten is de trend vrij horizontaal.



Figuur 4.11. De geaggregeerde LOWESS-trendlijn per type water voor de concentratie van N-totaal.



Figuur 4.12. De geaggregeerde LOWESS-trendlijn per district voor de concentratie van P-totaal.

4.5 Trends inlaatwater en rwzi invloed

Vooral in droge perioden neemt de invloed van inlaatwater en rwzi-effluent op de waterkwaliteit toe. De invloed van deze bronnen is afhankelijk van (veranderingen in) het waterbeheer, zoals keuzes in het aanvoeren van water (verdringingsreeks) en het verbeteren van de zuivering. De waterkwaliteit in natte perioden en in gebieden zonder inlaatwater en rwzi-effluent geeft een beter beeld van de verandering in de invloed van het lokale, voornamelijk agrarische landgebruik.

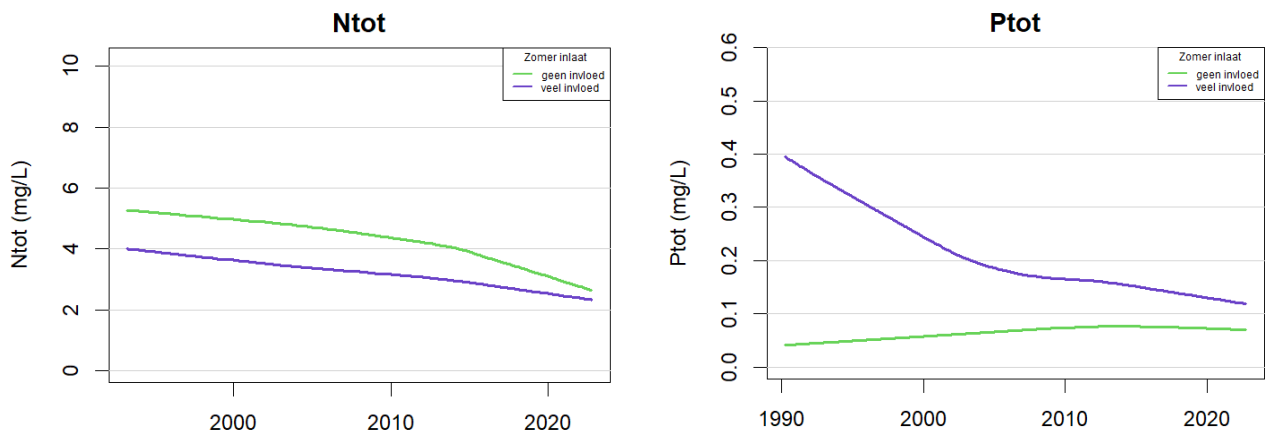
Om een beeld te krijgen van de rol van inlaatwater en effluent van rwzi's op de trends zijn groepen meetlocaties geselecteerd zonder invloed en met veel invloed. Dit onderscheid is gemaakt op basis van eerder onderzoek door waterschap Aa en Maas (Van Gerven et al., 2022). Vanuit dit project is voor elke locatie in het hoofdwatersysteem een inschatting op dagbasis beschikbaar van het aandeel gebiedseigen water, het aandeel inlaatwater en het aandeel rwzi-effluent. Het aandeel gebiedseigen water is ingeschat met het Grondwatermodel Aa en Maas (GRAM). Voor het inlaatwater is een vast debiet op de inlaatpunten aangenomen voor de zomerperiode en voor het rwzi-effluent vaste debieten voor het gehele jaar.

De opgetelde fracties zijn vergeleken met gemeten debieten in het hoofdwatersysteem. Deze validatie gaf goede resultaten voor het totale debiet. De inschattingen van de fracties zijn niet makkelijk te controleren en zeker voor de deelstroomgebieden zijn deze inschattingen onzeker door aannames in de berekeningen. Om toch het effect op (trends in de) waterkwaliteit in beeld te brengen zijn de meetlocaties in extremen groepen ingedeeld (geen invloed versus veel invloed). Hierbij moet vermeld worden dat meetlocaties die veel invloed van inlaatwater hebben ook relatief veel invloed van rwzi-effluent hebben. Binnen waterschap Aa en Maas zelf lozen de rwzi's vooral op het hoofdwatersysteem waarin ook veel inlaatwaterinvloed is. Daarnaast staat het inlaatwater zelf ook onder invloed van rwzi-effluent van bovenstreams.

Door het hele systeem heen is het zo dat de waterbalans naast seizoensdynamiek, ook dynamiek kent die afhankelijk is van de beschikbaarheid van water in het gebied. In droge periodes wordt het water anders verdeeld over het gebied. Om dit nauwkeuriger te kunnen modelleren vraagt dit om een volgende generatie modelgereedschappen waarbij de stoffenbalans aan een dynamische waterbalans en waterverdeling gekoppeld kan worden.

4.5.1 Inlaatwater

Voor het inlaatwater zijn in Figuur 4.13 geaggregeerde LOWESS trendlijnen afgebeeld van een groep zonder invloed van inlaatwater en een groep met meer dan 80% inlaatwater in de zomer. Voor N-totaal is te zien dat de concentraties op meetlocaties zonder waterinlaat hoger zijn dan op meetlocaties veel inlaatwater. Daarnaast is de neerwaartse trend op de locaties zonder inlaatwaterinvloed vanaf 2010 steiler dan op de locaties met veel inlaatwater. Deze resultaten laten zien dat de N-totaal concentraties in het gebiedseigen water hoger zijn dan in het inlaatwater, maar ook dat de gebiedseigen waterkwaliteit snel verbeterd.

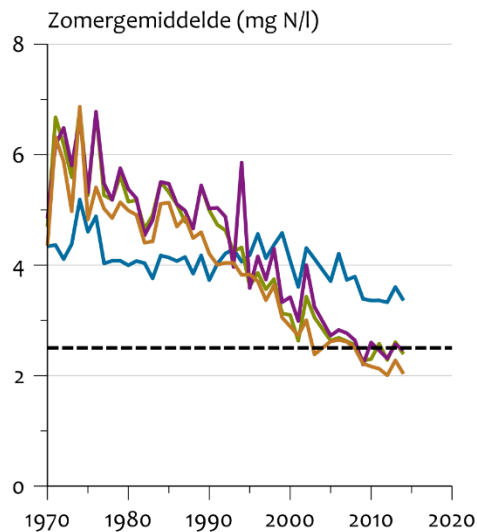


Figuur 4.13. Geaggregeerde LOWESS voor de N-totaal concentratie (links) en de P-totaal concentratie (rechts) verdeeld over locaties waar de zomer inlaat veel invloed (>80%) heeft ($n = 8$) en geen invloed (0%) heeft ($n = 8$).

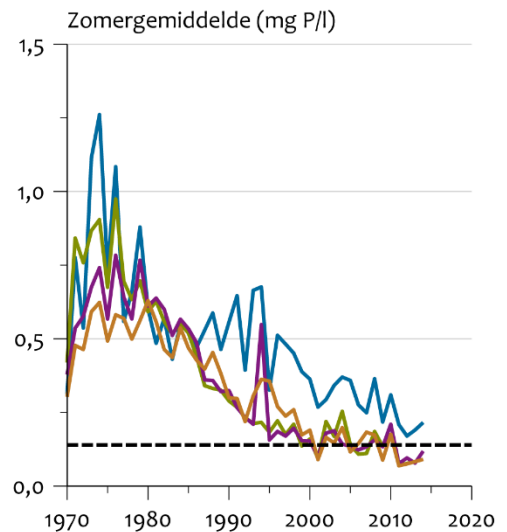
Ook voor P-totaal verschilt het concentratieniveau en de trend tussen meetlocaties met en zonder invloed van inlaatwater. In Figuur 4.13 is verder te zien dat de P-totaal concentraties in de groep zonder invloed van inlaatwater op een veel lager niveau liggen dan op de meetlocaties met veel inlaatwater. De concentraties op de meetlocaties met gebiedseigen water stijgen licht tot 2010 en zetten daarna een lichte daling in. De meetlocaties met veel invloed van inlaatwater laten over de gehele periode een sterke daling zien van de P-totaal concentraties.

Het inlaatwater bestaat voor een groot deel uit Maaswater. In Figuur 4.14 zijn de concentraties van N-tot en P-tot in de Maas bij Eijsden weergegeven. De lichte daling in N-totaal concentraties tussen 1990 en 2015 komen overeen tussen het Maaswater en het inlaatwater. Ook voor de P-totaal concentraties, met een sterke daling tussen 1990 en circa 2010, gevolgd door een lichtere daling, zijn in beide grafieken terug te zien.

Stikstof



Fosfor



— Maas bij Eijsden — IJssel bij Kampen - - - Streefwaarde (GET)
— Rijn bij Lobith — Nieuwe Waterweg bij Maassluis

Bron: RWS Waterdienst.

PBL/dec15
www.clo.nl/nl024910

Figuur 4.14. De nutriëntenconcentraties in verschillende grote Nederlandse rivieren.

De concentraties en trends voor de groep meetlocaties met alleen gebiedseigen water worden niet veroorzaakt door inlaat water of rwzi's, omdat gegevens uit die waterlopen niet zijn meegenomen in de grafiek. De nutriënten komen dus uit het gebied zelf. Op basis van de Brabantbrede bronnenanalyse (Schipper et al., 2024) is het waarschijnlijk dat de grootste invloed komt vanuit de landbouw. Voor N-totaal verklaart dit mogelijk de hogere concentraties dan in het inlaatwater, maar met een snelle afname. Voor P-totaal zorgt de vastlegging aan ijzer(hydr)oxiden in het gebiedseigen water mogelijk voor de lagere concentraties. Deze vastlegging kan daar plaatsvinden doordat fosfaat in veel gebieden samen met ijzerrijk grondwater in drains en sloten komt. Inlaatwater en rwzi-effluent zijn minder ijzerrijk.

4.5.2 Invloed rwzi effluent

Figuur 4.15 laat het verschil zien tussen meetlocaties in de groep waterlopen zonder invloed van lokaal rwzi-effluent en met invloed van lokaal rwzi-effluent, verdeeld over zomer en winter. De grens voor de groep 'veel rwzi invloed' ligt wel relatief laag: in deze groep zitten de meetlocaties met in de zomer meer dan 10% lokaal rwzi-water. Deze lage grens was nodig om voldoende meetlocaties in deze groep te krijgen voor een betrouwbare geaggregeerde trend.



Figuur 4.15. Geaggregeerde LOWESS voor de N-totaal (boven) en P-totaal (beneden) concentraties verdeeld over locaties waar het effluent water vanuit rwzi's veel invloed (>10%) heeft ($n = 13$) en geen invloed (0%) heeft ($n = 22$). Links zijn de zomer concentraties weergegeven en rechts de winter concentraties.

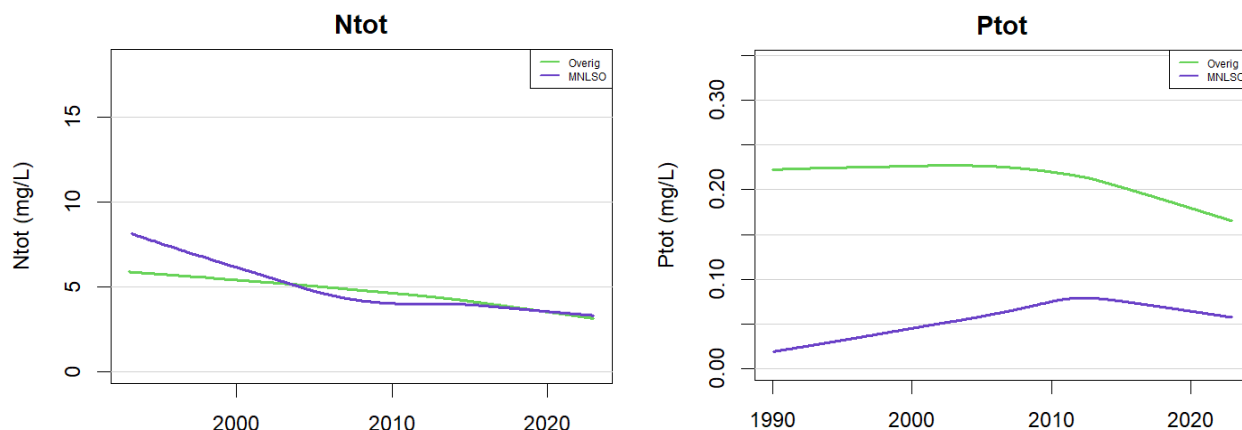
De verschillen tussen de groepen met en zonder invloed van lokaal rwzi-effluent voor N-totaal zijn minder groot in de winter in vergelijking met de zomer. Om dit te verklaren zouden de verschillende processen die een rol spelen beter moeten worden uitgediept. Zo is er in de winter meer afvoer, dus meer verdunning van rwzi-effluent. Aan de andere kant kan veel neerslag ook meer overstorten van ongezuiverd afvalwater en een verminderde zuiveringsefficiëntie van de rwzi veroorzaken. Daarnaast is het zo dat zuiveringen in de winter een hoger verwijderingsrendement hebben voor P en lager voor N dan in de zomer. Deze processen zijn direct temperatuur gedreven. Veranderende temperaturen en neerslagpatronen door klimaatveranderingen hebben zo een directe invloed op de rol van rwzi's. Wat ook interessant is, is dat de concentraties in de groep 'zonder rwzi invloed' voor N-tot hoger zijn in de winter, terwijl de concentraties in de groep 'veel rwzi invloed' hoger zijn in de zomer. Dit kan te maken met het feit dat er in de zomer minder water vanuit landbouwpercelen komt, waardoor het gebiedseigen water minder beïnvloed wordt door agrarische activiteiten. Uit landbouwmeetnetten, en onderzoek in de Kennisimpuls en Sensorgestuurd Boeren blijkt dat winterconcentraties voor met name stikstof uit landbouwpercelen makkelijk tot tientallen milligrammen per liter kunnen oplopen. Dergelijke seizoensdynamiek is veel extremer dan bij zuiveringseffluent wordt waargenomen. De locaties met relatief veel rwzi invloed laten dan ook een veel gelijkere trend zien tussen zomer en winter.

Voor P-totaal zijn de verschillen tussen de groep 'geen rwzi invloed' en 'veel rwzi invloed' in de zomer juist groter dan in de winter (zie Figuur 4,15). Voor beide groepen zijn de trends zelf ongeveer gelijk, maar is er in de zomer een verschil in concentratieniveau van zo'n 0,3 mg P/l. Het verschil neemt wel af, met name door een steilere neerwaartse trend in P-totaal concentraties voor de meetpunten waar rwzi water een grotere invloed heeft. Voor de winter lijkt de trend voor locaties met veel invloed van rwzi water sterk op die van locaties waar ook veel invloed van inlaatwater is. Het inlaatwater heeft derhalve meer invloed op de meetlocaties met ook relatief veel rwzi-effluent.

4.6 Trends landbouw-specifieke locaties

De landbouw-specifieke locaties zijn gekozen op basis van hun voorkomen in het Meetnet Landbouw Specifieke Oppervlaktewater (MNLSO). Dit meetnet bestaat uit een selectie van meetlocaties van waterschappen waar landbouw de enige antropogene bron van nutriënten is. De MNLSO-locaties zijn dus zo gekozen dat zij niet of nauwelijks beïnvloed worden door lozingen uit andere bronnen of inlaatwater. Landelijk nemen zowel de stikstof- als de fosforconcentraties in het MNLSO af.

Zoals te zien in Figuur 4.16 nemen ook voor de MNLSO locaties binnen het beheergebied de concentraties voor zowel N-tot als P-tot af. Voor N-totaal is de huidige trend vergelijkbaar, maar in de periode voor 2010 zijn de N-totaal concentraties sneller gedaald op de MNLSO-locaties. Verder valt op dat de trend voor de MNLSO locaties voor N-totaal overeen komt met de trend van N-totaal voor de locaties zonder rwzi invloed (en dus met vooral gebiedseigen water) in de winter. Dit doet sterk vermoeden dat de winterconcentraties in het gebiedseigen wateren zonder rwzi invloed grotendeels bepaald wordt landbouwgebieden.



Figuur 4.16. LOWESS trends voor de MNLSO-locaties van waterschap Aa en Maas ($n = 9$) vergeleken met de andere meetlocaties van waterschap ($n = 63$).

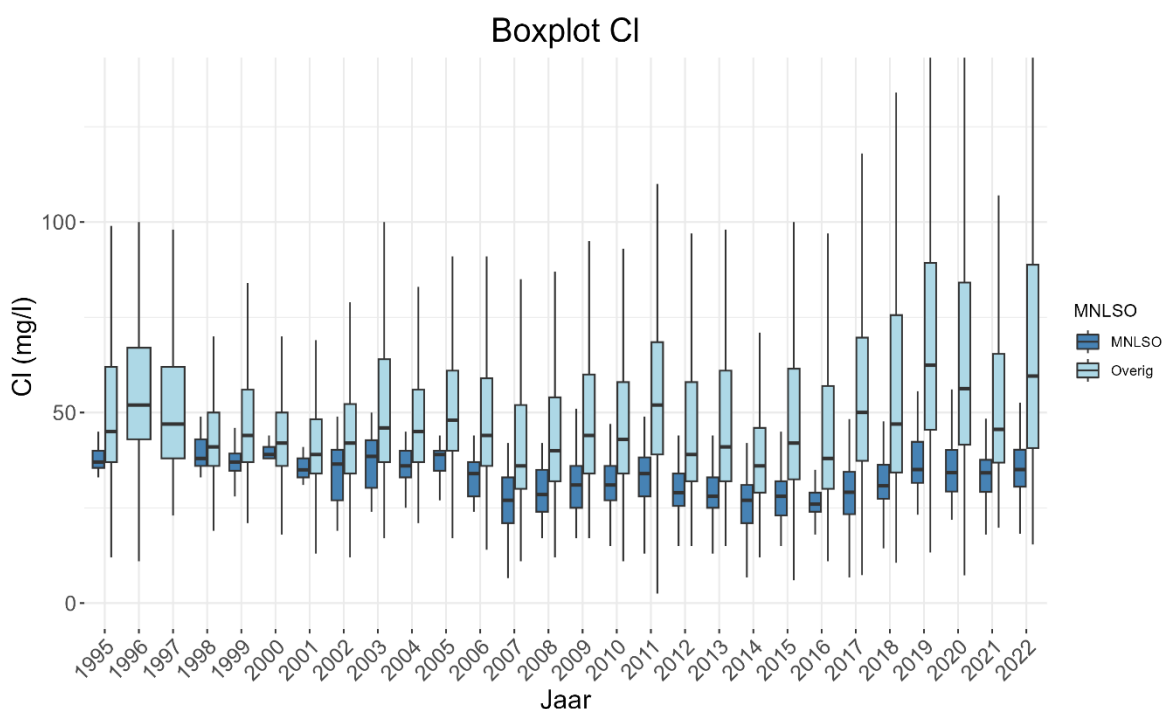
Voor P-totaal zijn er grotere verschillen tussen de MNLSO locaties en de rest van de locaties van het waterschap. Allereerst valt het grote concentratieverschil op; de P-tot concentraties zijn flink lager op de MNLSO locaties. Dit komt waarschijnlijk door de ruime beschikbaarheid van opgelost ijzer in het afgevoerde grondwater vanuit deze gebieden; fosfaat wordt dan in de drains, sloten en beken vastgelegd aan ijzer(hydr)oxiden en sedimenteert. De overige meetlocaties staan meer onder invloed van inlaatwater en rwzi-effluent. Dat water komt niet via de bodem in de waterlopen terecht waardoor het proces van vastleggen via contact met ijzerrijk grondwater veel minder van invloed is. Zowel voor de MNLSO-locaties als voor de overige locaties verandert de trend in P-totaal concentraties rond 2013. Dit kan mogelijk verklaard worden door de verandering in de laboratoriummethode (zie ook hoofdstuk 2.4). Voor de MNLSO locaties verandert een opwaartse trend in een neerwaartse trend. Voor de overige locaties zijn de P-totaal concentraties tot 2013 stabiel en dalen daarna.

5 Reactie op extremen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de reactie van de waterkwaliteit op weersextremen. Hierbij wordt eerst gekeken naar de reactie op jaarniveau, vervolgens op maandniveau, daarna op natte vs. droge omstandigheden en als laatste zoomen we in op één extreme piekbui voor zover mogelijk op basis van maandelijkse metingen.

5.1 Per jaar

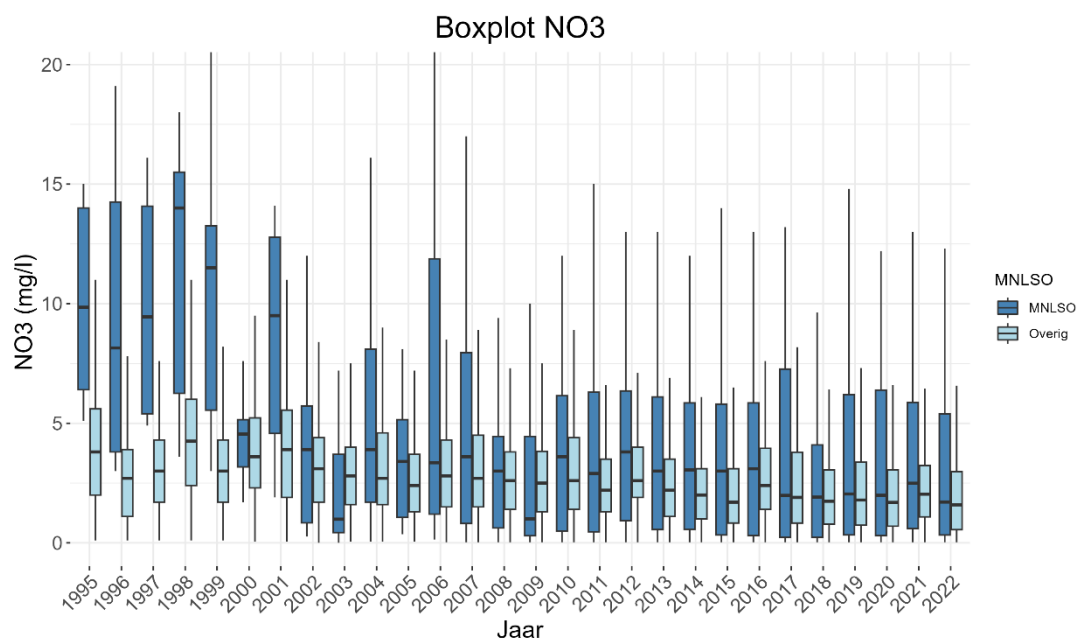
Om de reactie van de waterkwaliteit op droge en natte jaren te bepalen, leggen we de focus op de parameters Cl en NO₃, omdat deze het meest eenduidig reageren. In Figuur 5.1 zijn boxplots afgebeeld van de Cl-concentraties per jaar voor alle meetlocaties, verdeeld over landbouw-specifieke MNLSO locaties en overig. In het figuur is te zien dat de concentraties in de recente droge jaren zoals 2019, 2020 en 2022 relatief hoog zijn. Opvallend is dat in 2018 de Cl-concentraties nog niet verhoogd zijn in vergelijking met de jaren daarna. In het nattere jaar 2021 werden er juist weer wat lagere concentraties gevonden. Het effect van het erg natte jaar 1998 is nauwelijks te zien, wat mogelijk verklaard kan worden door het kleinere aantal metingen. Het droge jaar 2003 laat vervolgens weer een verhoogde Cl-concentratie zien. In drogere periodes is de invloed van grondwater, inlaatwater en rwzi-effluent met hogere zoutconcentraties groter. Daarnaast is het water stagnerender in deze periodes, waardoor verdamping van oppervlaktewater leidt tot meer indikking en dus hogere Cl gehalten. Daar kan doorheen spelen dat er sprake is van meer toepassing van zouten in het gebied (industriële lozing van zout op het rioolstelsel en toepassen van meer zouten in onthardingsinstallaties in de landbouw). In hoeverre deze bijdragen aan de trend zou verder moeten worden onderzocht.



Figuur 5.1. Boxplots voor de concentraties van Cl per jaar over de gehele meetperiode.

Deze patronen zijn voornamelijk waar te nemen in de 'overige' locaties. De landbouw-specifieke locaties laten de trends in veel minder sterke mate zien. Verder valt ook op dat de spreiding bij de landbouw-specifieke locaties veel kleiner is, wat deels toegeschreven kan worden aan het kleinere aantal locaties in vergelijking met de overige locaties. De medianen van de twee groepen zijn over de jaren ook verder uit elkaar gaan liggen, wat mogelijk verklaard kan worden doordat de hoeveelheid water in de landbouwsloten over het hele jaar wat stabiel is.

In Figuur 5.2 is eenzelfde soort figuur voor nitraat (NO_3) weergegeven. Wat opvalt is dat de spreiding voor de MNLSO locaties nu groter is dan voor de overige locaties, wat te maken kan hebben met de erg variërende omstandigheden op boerenbedrijven, door bijvoorbeeld verschil in gewas en toegestane mestgift. Ook is er tot 2000 een vrij groot verschil tussen MNLSO en overige locaties, wat deels verklaard kan worden door het kleinere aantal metingen op de MNLSO locaties. Het effect van droge en natte jaren is minder aanwezig dan voor Cl. Vooral in de recente droge jaren zijn er weinig schommelingen, mede doordat de concentratieniveaus flink lager liggen. Wel is duidelijk zichtbaar dat de mediane nitraatconcentratie in het gemiddelde jaar 2021 hoger liggen dan in de droge jaren ervoor en erna. Ook in het natte jaar 1998 zijn de concentraties hoger. Verder springt het relatief droge jaar 2003 er voornamelijk voor de landbouw-specifieke locaties uit met zeer lage concentraties. De nitraatconcentraties in droge jaren zijn waarschijnlijk niet alleen lager door verlaagde uitspoeling, maar ook door andere oorzaken, zoals het grotere effect van nitraatverwijdering (denitrificatie) en opname van nitraat (waterplanten) door stagnerend water.

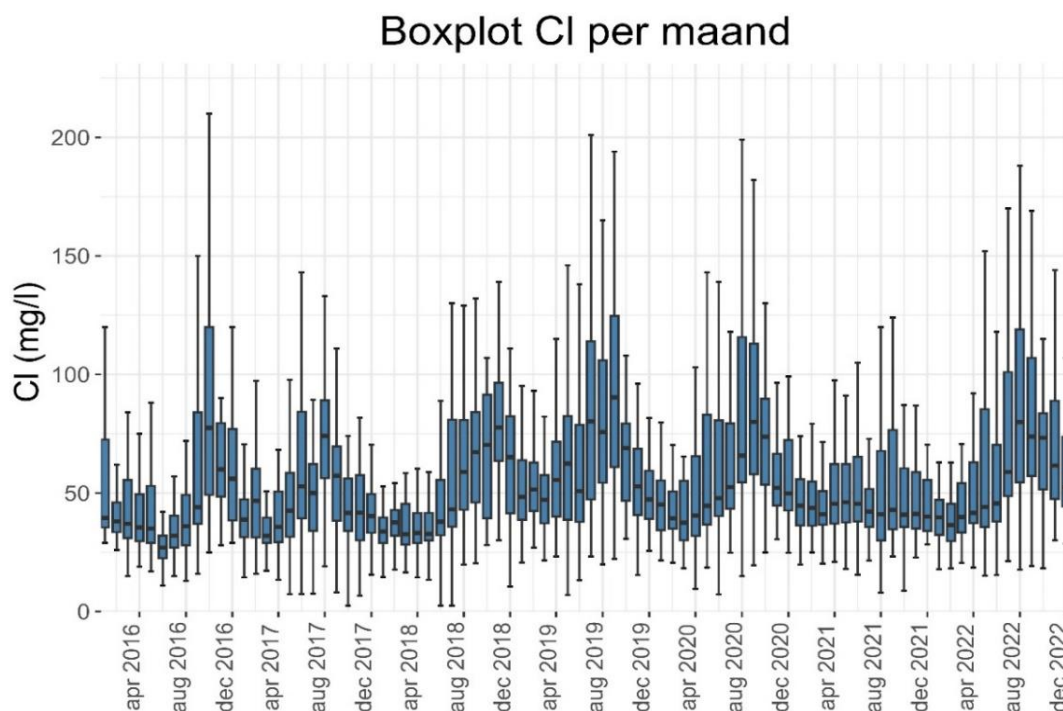


Figuur 5.2. Boxplots voor de concentraties van NO_3 per jaar over de gehele meetperiode. Let op, de eenheid is $\text{mg NO}_3\text{-N/l}$.

5.2 Per maand

Om een nog duidelijkere invloed van extreme weersomstandigheden te bepalen, is verder ingezoomd op de concentratie per maand voor de jaren 2016 tot en met 2022. Gekozen is om geen onderscheid te maken tussen verschillende typen invloeden op water (rwzi, inlaat en landbouw-specifiek), omdat het aantal metingen per maand te weinig is.

In Figuur 5.3 zijn de maandboxplots voor de concentratie van Cl weergegeven voor alle meetlocaties. In dit figuur is zichtbaar dat de chlorideconcentraties in het oppervlaktewater in de droge perioden in de zomer oplopen. Dit heeft te maken met minder verdunning van grondwater, inlaatwater en rwzi-water met regenwater in combinatie met indikking door relatief veel verdamping in wateren met een langere verblijftijd. In *Bijlage I* is het verschil tussen de gewone jaren 2016 en 2017 in vergelijking met 2018 en 2019 aan de hand van boxplots nog wat meer inzichtelijk weergegeven. Verder valt op dat er geen zomerpiek te zien is in 2021. Dit heeft onder andere te maken met de veel nattere zomer van 2021 (zie hoofdstuk 3).

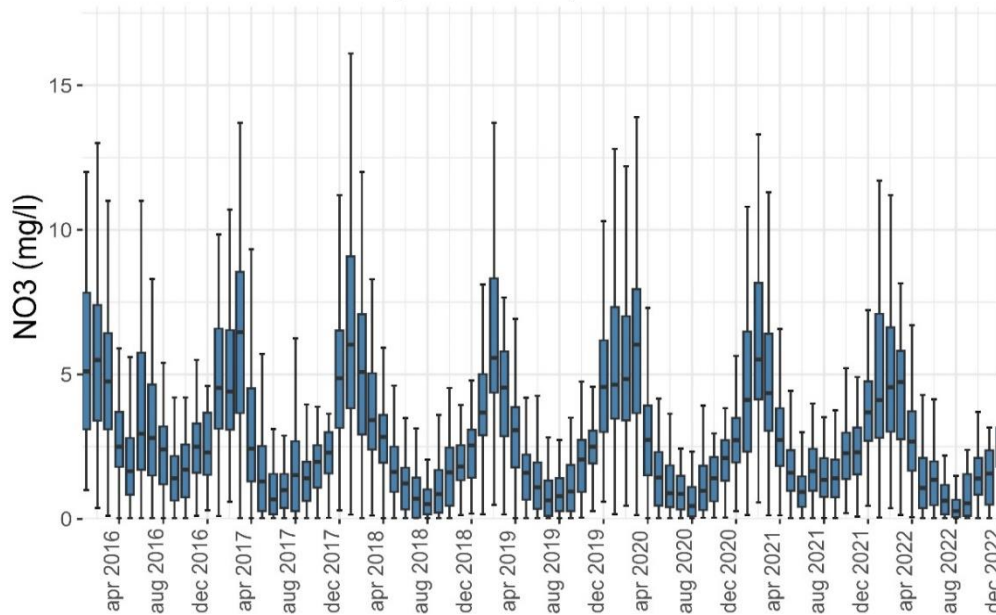


Figuur 5.3. Boxplot voor de concentratie van Cl per maand voor de jaren 2016 tot en met 2022.

In Figuur 5.4 zijn de boxplots per maand weergegeven voor nitraat. Ook hier valt het duidelijke seizoenspatroon op met veel hogere concentratie in de winter. Dit wordt grotendeels verklaard doordat in de winter de meeste uitspoeling optreedt en de biochemische afbraak en opname beperkt is. Met name in de droge jaren nemen de nitraatconcentraties in veel wateren bijna af tot 0. Doordat er een neerslagtekort is, treedt er nauwelijks uitspoeling op vanuit percelen. Daarnaast is er waarschijnlijk meer afbraak en opname van nitraat door biochemische processen. Door de beperkte stroming (langere verblijftijden) en de hogere temperaturen en instraling vindt er meer denitrificatie en opname plaats. In meer gemiddelde weerjaren, zoals 2016 en 2021, zijn de zomerconcentraties hoger dan in de droge jaren. Door onder andere zomerbuien en hogere grondwaterstanden spoelt er in deze jaren meer nitraat uit. Ook voor NO_3 is het verschil tussen gewone jaren en droge jaren in *Bijlage I* in meer detail weergegeven.

De reactie van chloride en nitraat op droge en natte perioden verschillen duidelijk. Chloride geeft vooral een beeld van de hydrologische reactie; meer of minder verdunning met regenwater, al spelen andere processen ook een rol. De reactie van nitraat weerspiegelt grotendeels de uitspoeling van nutriënten vanuit de landbouw. Nitraat blijft in droge perioden in de bodem en kan uitspoelen in een periode met een neerslagoverschot en verhoogde grondwaterstanden.

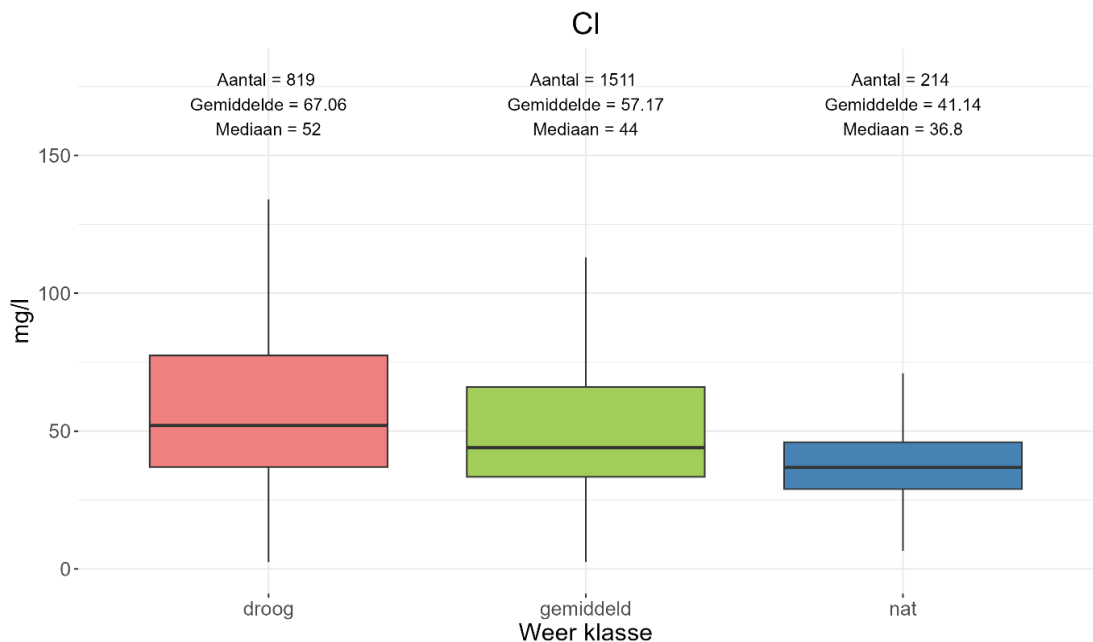
Boxplot NO3 per maand



Figuur 5.4. Boxplot voor de concentratie van NO_3 per maand voor de jaren 2016 tot en met 2022. Let op, de eenheid is $\text{mg NO}_3\text{-N/l}$.

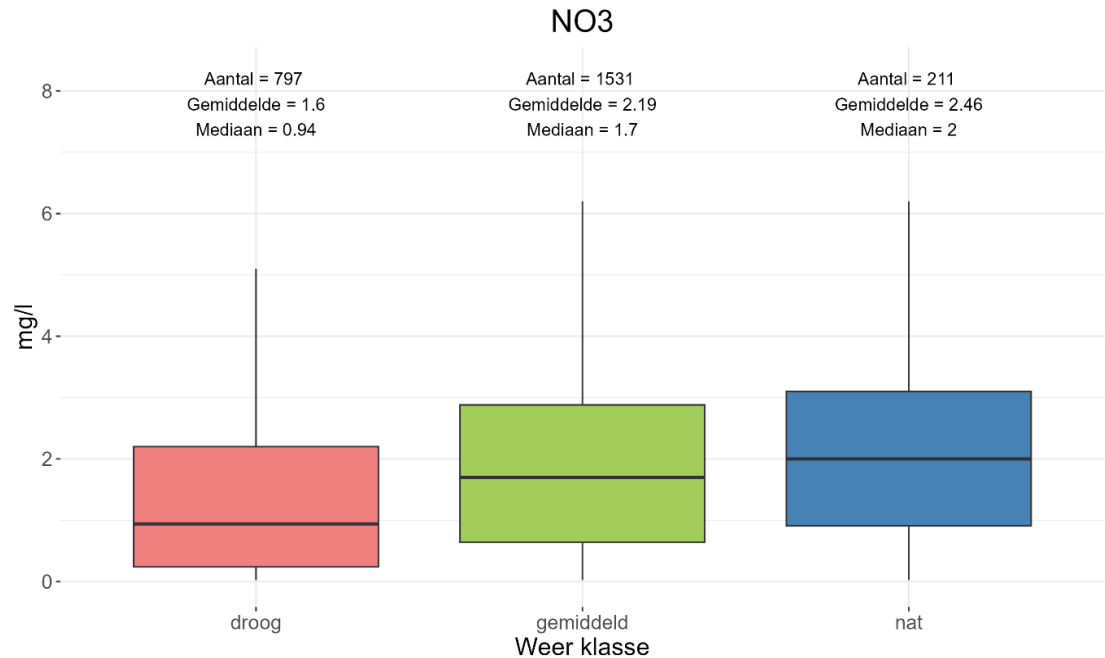
5.3 Nat vs. Droog

Per parameter is onderscheid gemaakt tussen zomermetingen gedaan tijdens gemiddelde, natte en droge weersomstandigheden. Voor Cl, NO_3 en P-totaal zijn de resultaten van deze analyse hieronder weergegeven als boxplots. Zoals te zien in Figuur 5.5 zijn er duidelijke verschillen in concentraties aanwezig tussen de drie condities voor Cl. De laagste concentraties worden gevonden tijdens natte condities, wat voornamelijk gelinkt kan worden



Figuur 5.5. Boxplots met de gemiddelde en mediane concentraties van Cl voor extreem droge en natte situaties en voor de gemiddelde situatie tijdens het zomerseizoen.

aan verdunning tijdens neerslag. Ook is er in perioden van droogte vaak meer verdamping van water, terwijl de hoeveelheid Cl in het water hetzelfde blijft. Voor nitraat is het effect van de weersomstandigheden juist omgekeerd; bij droge condities is de gemeten concentratie lager dan bij natte omstandigheden (Figuur 5.6). Zoals al eerder beschreven, heeft dit hoogstwaarschijnlijk te maken met een verlaagde uitspoeling van nitraat en een groter effect van nitraatprocessen (denitrificatie en opname door waterplanten). De nutriëntenprocessen die op gang komen tijdens droge, dan wel natte omstandigheden, zijn samengevat in Tabel 5.1.

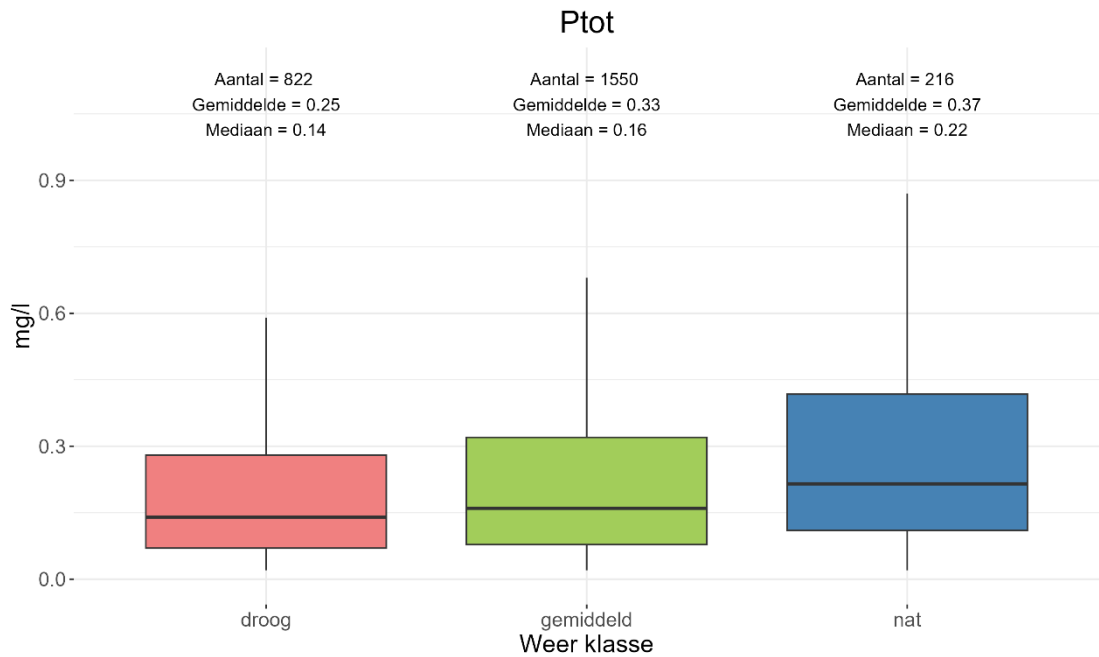


Figuur 5.6. Boxplots met de gemiddelde en mediane concentraties van NO₃ voor extreem droge en natte situaties en voor de gemiddelde situatie tijdens het zomerseizoen. Let op, de eenheid is mg NO₃-

Tabel 5.1. Overzicht van de consequenties van natte en droge omstandigheden op het transport van nutriënten. Bron: Buijs et al. (2020).

Droog	Nat
Diepe, relatief schone routes naar het oppervlaktewater; weinig uitspoeling.	Ondiepe routes naar het oppervlaktewater; veel uitspoeling uit en afstroming vanaf percelen.
Lage stroomsnelheden; lange verblijftijden; meer vegetatieopname, vastlegging en omzetting.	Hoge stroomsnelheden, korte verblijftijden; minder vegetatieopname, vastlegging en omzetting
Hoge temperaturen; meer/snellere vegetatieopname, vastlegging en omzetting.	Lagere temperaturen; minder vegetatieopname, vastlegging en omzetting
Consequentie: Lage concentraties nutriënten	Consequentie: Hoge concentraties nutriënten

Als laatste zijn in Figuur 5.7 voor P-totaal de concentraties voor de verschillende weersomstandigheden weergegeven. Tussen de droge en gemiddelde omstandigheden zit weinig verschil, maar juist de natte periode laat veel hogere concentraties zien. De toename in P-totaal is grotendeels gerelateerd aan snelle afvoerroutes, voornamelijk oppervlakkige afstroming en eventuele erfafspoeing. Daarnaast speelt bodemerrosie en het opwerpen van fosfaatrijk sediment door grotere afvoeren een belangrijke rol.



Figuur 5.7. Boxplots met de gemiddelde en mediane concentraties van P-totaal voor extreem droge en natte situaties en voor de gemiddelde situatie tijdens het zomerseizoen.

Voor de overige parameters zijn de gemiddelden en medianen voor de drie weercondities weergegeven in Tabel 5.2. Net zoals Cl, neemt de EC concentratie ook af in nattere perioden, al is het effect wat minder sterk. Verder laten ook pH en zuurstof iets lagere waarden zien bij natte omstandigheden. Voor zuurstof geldt dat bij extreme natheid extra organisch materiaal kan opwervelen of afspoelen, wat voor veel zuurstofvraag zorgt.

N-totaal, P-totaal en alle deelparameters hebben lagere concentraties in droge tijden ten opzichte van natte perioden. Voornamelijk voor N-totaal zijn de verschillen vrij groot, met een verschil van ongeveer 1,6 mg N/l (voor zowel mediaan als gemiddelde) tussen natte en droge omstandigheden.

Wat opvalt is dat voor temperatuur en sulfaat geen duidelijke trend zichtbaar is met betrekking tot de weersomstandigheden. Voor sulfaat geldt dat het zowel via bemesting vanuit de bodem kan uitspoelen als vanuit de diepere ondergrond na pyrietoxidatie. Hierdoor is geen eenduidige trend op te maken uit de verschillende weercondities. Voor temperatuur geldt dat de gemiddelde waarde het laagst is. Dit betekent dat door alleen de metingen uit het zomerseizoen mee te nemen in deze analyse, temperatuur-afhankelijk processen minder van invloed zullen zijn tijdens de droge of natte omstandigheden.

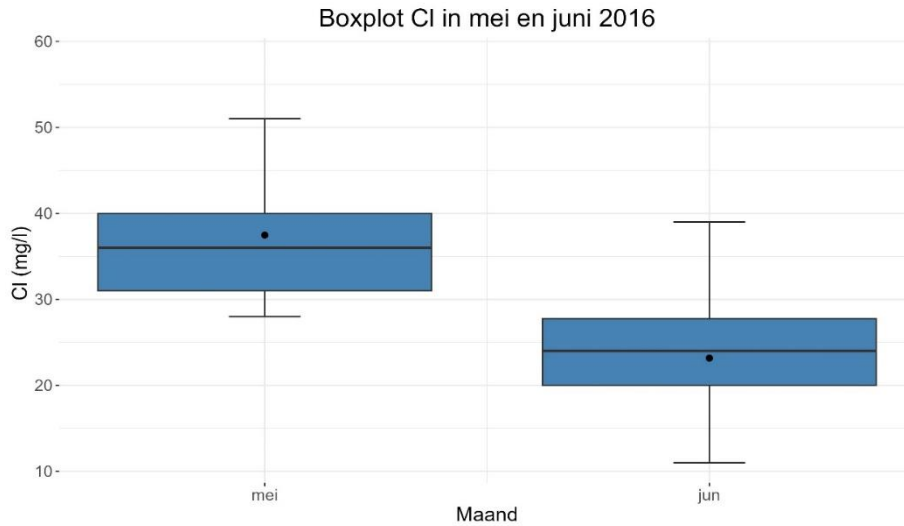
Tabel 5.2. De gemiddelde en mediane concentraties voor droge, gemiddelde en natte omstandigheden voor de verschillende parameters. De grijs gearceerde parameters laten een daling in concentratie zien van droog naar nat, de blauw gearceerde parameters laten een stijging zien en de gele parameters laten geen duidelijke trend zien.

Parameter	Centrummaat	Droog	Gemiddeld	Nat
Cl (mg/l)	Gemiddelde	67,06	57,17	41,14
	Mediaan	52,00	44,00	36,80
EC (mS/m)	Gemiddelde	65,19	60,75	51,05
	Mediaan	59,00	56,10	50,90
NH ₄ (mg N/l)	Gemiddelde	0,19	0,48	0,69
	Mediaan	0,08	0,14	0,30
NO ₃ (mg N/l)	Gemiddelde	1,60	2,19	2,46
	Mediaan	0,94	1,70	2,00
Norg (mg N/l)	Gemiddelde	1,18	1,23	1,46
	Mediaan	1,09	1,13	1,20
N-totaal (mg N/l)	Gemiddelde	2,98	3,93	4,68
	Mediaan	2,31	3,20	3,94
O ₂ (mg/l)	Gemiddelde	7,86	7,46	6,77
	Mediaan	7,45	7,30	6,76
pH (-)	Gemiddelde	7,69	7,45	7,29
	Mediaan	7,70	7,50	7,30
PO ₄ (mg P/l)	Gemiddelde	0,14	0,18	0,21
	Mediaan	0,04	0,04	0,08
PP (mg P/l)	Gemiddelde	0,11	0,12	0,14
	Mediaan	0,07	0,08	0,09
P-totaal (mg P/l)	Gemiddelde	0,25	0,33	0,37
	Mediaan	0,14	0,16	0,22
SO ₄ (mg/l)	Gemiddelde	61,15	61,68	51,65
	Mediaan	56,20	55,00	47,00
Temperatuur (°C)	Gemiddelde	20,34	16,91	17,19
	Mediaan	21,00	17,30	17,45

5.4 30 mei 2016

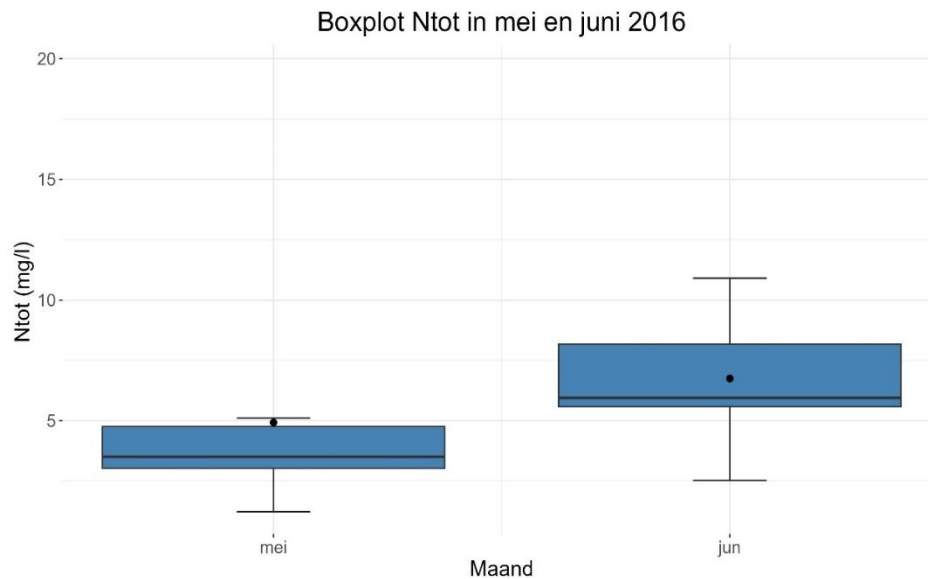
Het is niet eenvoudig om het effect van één extreem neerslag event op de waterkwaliteit uit de maandelijkse meetgegevens te destilleren. Voor veel parameters is de reactieduur vergelijkbaar met de duur van de afvoerpiek en alleen met continue metingen vast te stellen (zie ook hoofdstuk 6). Door de timing van de bemonstering ten opzichte van de extreme bui van 30 mei 2016 geven de meetgegevens wel inzicht. Er zijn relatief veel monsters genomen in de dagen vlak na de bui. Deze metingen zijn vergeleken met de bemonsteringen op dezelfde locaties één maand eerder in een drogere periode.

In Figuur 5.8 is te zien dat de Cl concentratie in mei veel hoger is dan in juni op dezelfde locaties. Dit is deels te verklaren doordat de bui zorgt voor een relatief groot aandeel neerslagwater met lage chlorideconcentraties in het oppervlaktewater. De gemiddelde concentratie chloride in regenwater is gemiddeld namelijk ca. 1 mg/l (Somhorst & Stolk, 1996). In mei is het droog en is er een grotere fractie grondwater, inlaatwater en rwzi-effluent met hogere chlorideconcentraties. Daarnaast zorgt indikking voor hogere Cl-concentraties, vooral in oppervlaktewater met een langere verblijftijd.



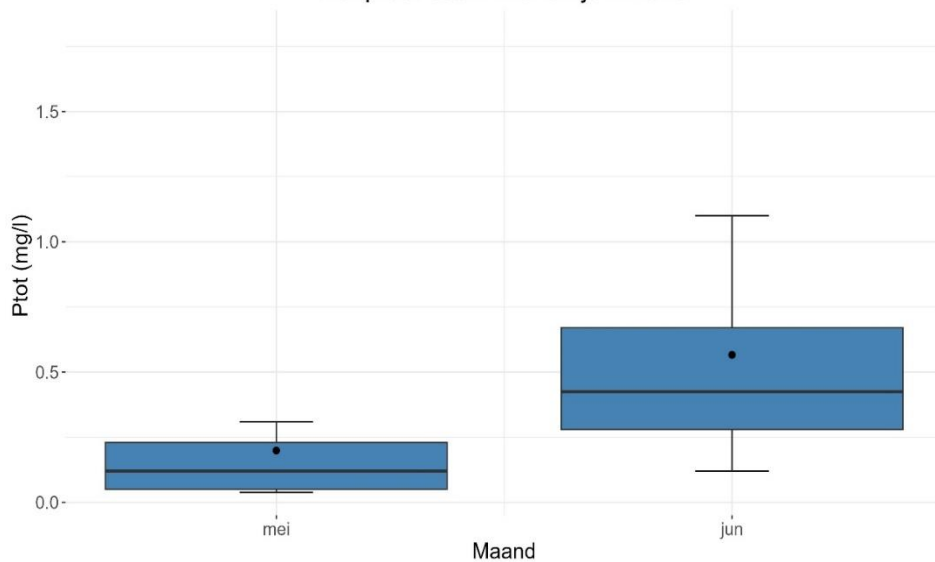
Figuur 5.8. Boxplot van de chloride concentraties op 31 mei t/m 2 juni in vergelijking met de concentraties van een maand eerder op dezelfde locaties.

In Figuur 5.9 en Figuur 5.10 zijn respectievelijk de boxplots voor N-totaal en P-totaal weergegeven. Voor beide parameters geldt dat de concentraties in mei juist lager waren dan in juni. Dit wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door een verhoogde uit- en afspoeling van beide stoffen als gevolg van de hevige neerslagpiek. De mediane concentratie van N-totaal is ongeveer 3,5 mg/l in mei en 6 mg/l in juni, wat betekent dat de concentratie bijna verdubbeld is. Voor P-totaal is de concentratie zelfs 2,5 keer toegenomen in juni ten opzichte van mei.



Figuur 5.9. Boxplot van de N-totaal concentraties op 31 mei t/m 2 juni in vergelijking met de concentraties van een maand eerder op dezelfde locaties.

Boxplot Ptot in mei en juni 2016



Figuur 5.10. Boxplot van de P-totaal concentraties op 31 mei t/m 2 juni in vergelijking met de concentraties van een maand eerder op dezelfde locaties.

Voor de parameters NH_4 , Norg, PO_4 , PP, O_2 en pH zijn soortgelijke boxplots te vinden in *Bijlage J. Tabel 5.* vat het verschil voor alle relevante parameters samen met de mediane waarden in mei en juni en de procentuele verandering tussen de twee maanden. Norg laat eenzelfde toename als N-totaal zien, terwijl de procentuele toename van NH_4 veel groter is (bijna 6 keer zo groot). De verandering van NO_3 is juist erg klein. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de verdunning van de concentratie door de snelle afvoer met onvoldoende bodempassage om nitraat op te nemen.

Ook voor de deelparameters van fosfor is een toename te zien in juni ten opzichte van mei. Echter verschilt de procentuele toename vrij veel tussen de parameters. Zo neemt particulier fosfor met zo'n 90% toe, terwijl de concentratie van PO_4 met meer dan 600% toeneemt.

Voor de overige parameters O_2 en pH is, vergelijkbaar met Cl, de waarde in juni juist afgenomen in vergelijking met mei. Voor O_2 is de afname bijna 50%, wat nadelig kan zijn voor de aquatische organismen. De pH is na de bui 0,45 punt lager door de relatief zure neerslag.

De trends die we hier zien voor en na de bui komen goed overeen met de bevindingen in hoofdstuk 5.3. Het punt van aandacht zit voornamelijk in de grootte van de verschillen tussen droog en nat, wat per event kan variëren. De parameters die na de bui in concentratie toenemen zijn vaak gerelateerd aan snelle afvoerroutes (oppervlakkige afstroming, erfafspoeling), erosie van bodemdeeltjes en het opwerpen van (fosfaatrijk) sediment. In bebouwd gebied kunnen ook overstorten een rol spelen. Vooral de organische bestanddelen in de afvoer zorgen voor een grote zuurstofvraag, waardoor de O_2 concentraties na de bui flink lager zijn.

Tabel 5.3. Overzicht van de mediane concentraties/waarden van verschillende parameters in mei en juni 2016, en het procentuele verschil van de medianen tussen de twee maanden.

Parameter	Mediaan mei	Mediaan juni	Procentueel verschil
Cl (mg/l)	36,00	24,00	-33,3%
EC (mS/m)	Te weinig metingen		
NH ₄ (mg N/l)	0,12	0,81	575,0%
NO ₃ (mg N/l)	2,10	2,20	4,8%
Norg (mg N/l)	1,39	2,38	71,2%
N-totaal (mg/l)	3,50	5,95	70,0%
O ₂ (mg/l)	9,63	5,53	-42,6%
pH (-)	7,40	6,95	-6,1%
PO ₄ (mg P/l)	0,03	0,22	633,3%
PP (mg P/l)	0,09	0,17	88,9%
P-totaal (mg/l)	0,12	0,42	250,0%
SO ₄ (mg/l)	Te weinig metingen		
Temperatuur (°C)	13,90	17,15	23,4%

6 Signalen uit andere meetnetten en projecten

Naast de uitgevoerde analyses is ook gekeken of in andere meetnetten en projecten soortgelijke patronen werden gezien die kunnen helpen bij het duiden van de resultaten in dit rapport. De andere meetnetten die meegenomen zijn, zijn de Vinkenloop (Sensor Gestuurd Boeren (SGB) en Kennis Impuls Waterkwaliteit (KIWK)), Landelijk Meetnet Meststoffen (LMM), Wetterskip Fryslân, het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifieke Oppervlaktewateren (MNLISO) en een trendstudie door Hallmann et al. (2021).

6.1 Onderzoekstroomgebied Vinkenloop

De verhoogde concentraties van stoffen na hevige buien komen ook terug in metingen van de Vinkenloop. De Vinkenloop is een klein (ca. 7 km²) bijna volledig agrarisch stroomgebied bij Westerbeek in Noord-Brabant. Sinds 2021 wordt er continue gemeten aan de concentraties nutriënten bij het uitstroompunt. Deze continue metingen dragen bij aan het inzicht in transportprocessen en de dynamiek in de nutriëntenconcentraties, wat ook helpt bij de interpretatie van laagfrequente metingen op andere locaties. Details over deze metingen zijn gerapporteerd in Schipper et al. (2022).

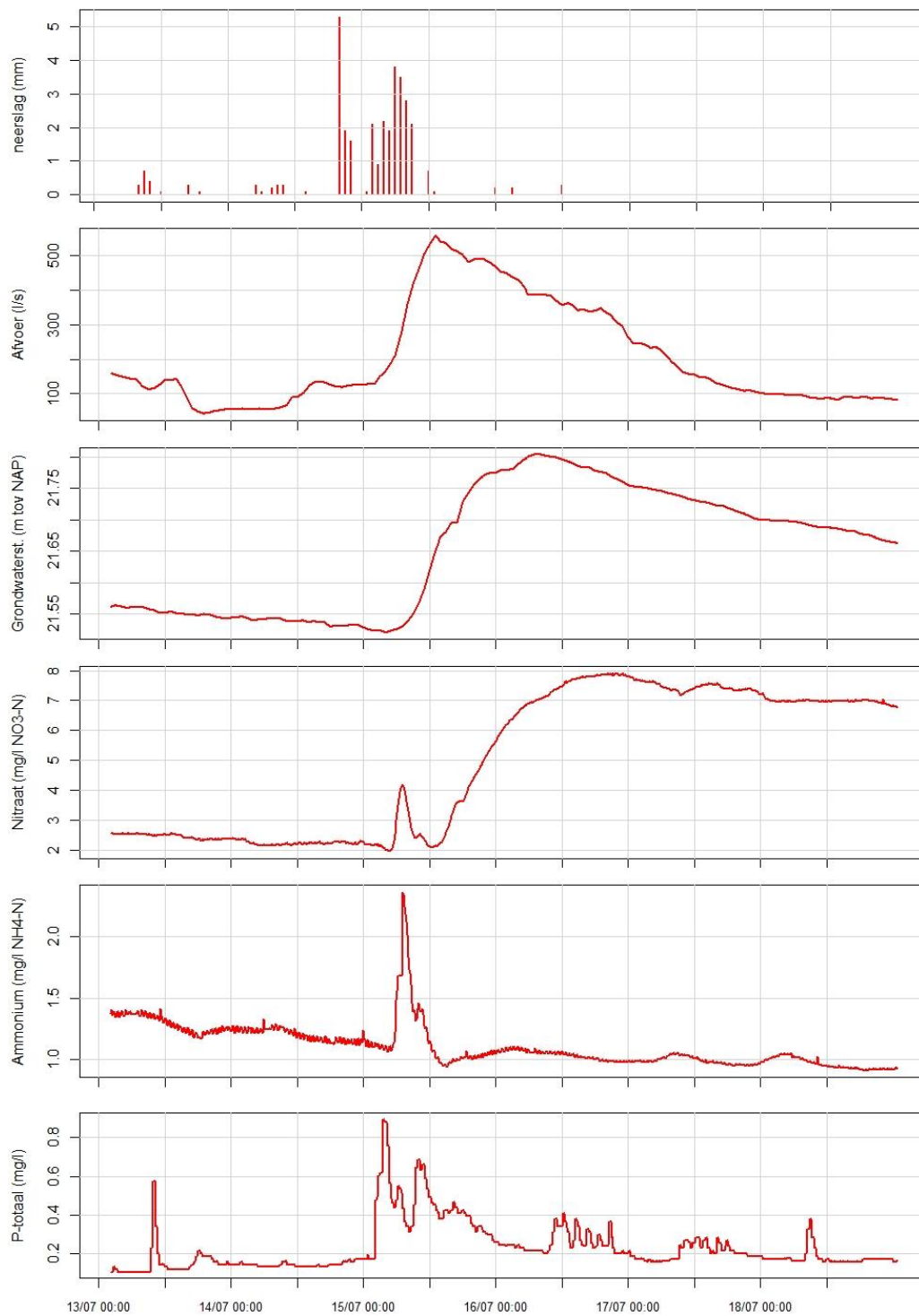
Als voorbeeld van de reactie van de waterkwaliteit op een flinke bui is in Figuur 6.1 de meetreeks van een bui op 14-15 juli 2021 weergegeven. Het was de zomerbui die voor overstromingen zorgen in Limburg, m.n. in Valkenburg (Asselman et al., 2022). In de Vinkenloop viel de neerslag mee; in totaal viel er ca. 30 mm. In de grafiek is te zien dat de afvoer net na de bui de piek bereikt, terwijl de grondwaterstanden pas één dag na de bui het hoogst zijn.

De reactie van de waterkwaliteit is sneller dan de hydrologische respons. Vooral de concentratie P-totaal reageert al binnen enkele uren na de bui. De piek wordt veroorzaakt door P-rijk sediment dat al voor de bui in de beek lag en bij toenemende afvoer wordt weggespoeld. Binnen 24 uur is de concentratiepiek weer voorbij, hoewel de afvoer dan nog hoog is; het P-rijke sediment wordt aan het begin van de afvoergolf al meegevoerd.

De concentratiepiek voor ammonium komt iets later dan die voor P, maar is al binnen 12 uur na de bui weer voorbij. Dit ammonium komt waarschijnlijk via snelle afvoerroutes (oppervlakkige afstroming, preferente stroombanen, erfafspoeling) in de beek terecht.

Voor nitraat zien we eerst een korte piek (op hetzelfde moment als de ammoniumpiek) en vervolgens een langdurigere hoge concentratie die gelijk oploopt met de grondwaterstand. De korte piek wordt waarschijnlijk door dezelfde snelle afvoerroutes veroorzaakt als de ammoniumpiek. Bij andere buien kwam overigens ook een snelle verlaging van de nitraatconcentraties door verdunning met regenwater. De verhoging van de nitraatconcentraties die pas na de bui inzet komt door de hogere afvoer van het nitraatrijke bovenste grondwater, deels via drains.

De resultaten in de Vinkenloop laten zien waarom de reactie op extreem natte omstandigheden moeilijk uit maandelijkse metingen te destilleren is (hoofdstuk 5). Vooral voor P-totaal en NH₄ zijn de concentratiepieken erg kort.



Figuur 6.1. Reactie van de afvoer, grondwaterstand en de nitraat-, ammonium- en fosforconcentraties op een bui begin maart. Voor deze bui zijn de uurneerslagdata van het KNMI station Volkel gebruikt. De afvoermetingen zijn indicatief.

6.2 Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM)

Het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM) van het RIVM meet de waterkwaliteit op circa 450 landbouwbedrijven. De gegevens uit het LMM kunnen helpen bij het duiden van de trends en variaties in het oppervlaktewater van waterschap Aa en Maas. Zeker in de winter bestaat een groot deel van het oppervlaktewater namelijk uit afvoer vanuit landbouwgebieden. In deze paragraaf ligt de focus op nitraat en zoomen we eerst in op de reactie van de nitraatconcentraties op de droogte van 2018-2020 op één bedrijf. Vervolgens worden de gemiddelde concentraties voor het gehele Nederlandse zandgebied getoond.

6.2.1 Voorbeeldbedrijf LMM zuidelijk zand

Figuur 6.2 geeft de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties voor het grondwater, drainwater en slootwater op een melkveebedrijf in het zuidelijk zandgebied. Voor het grondwater gaat het per meetmoment om de gemiddelde concentratie van 16 monsters van de bovenste meter grondwater vanuit tijdelijke open boorgaten. De grondwaterstand is ter plekke gemiddeld 2m -mv. Het diepte-traject van de grondwaterbemonstering is bij deze gemiddelde grondwaterstand 2-3m -mv (bovenste meter), maar deze diepte kan variëren afhankelijk van de grondwaterstand op het moment van bemonsteren. Het bovenste grondwater is twee keer per jaar bemonsterd, zowel in de zomer als in de winter.

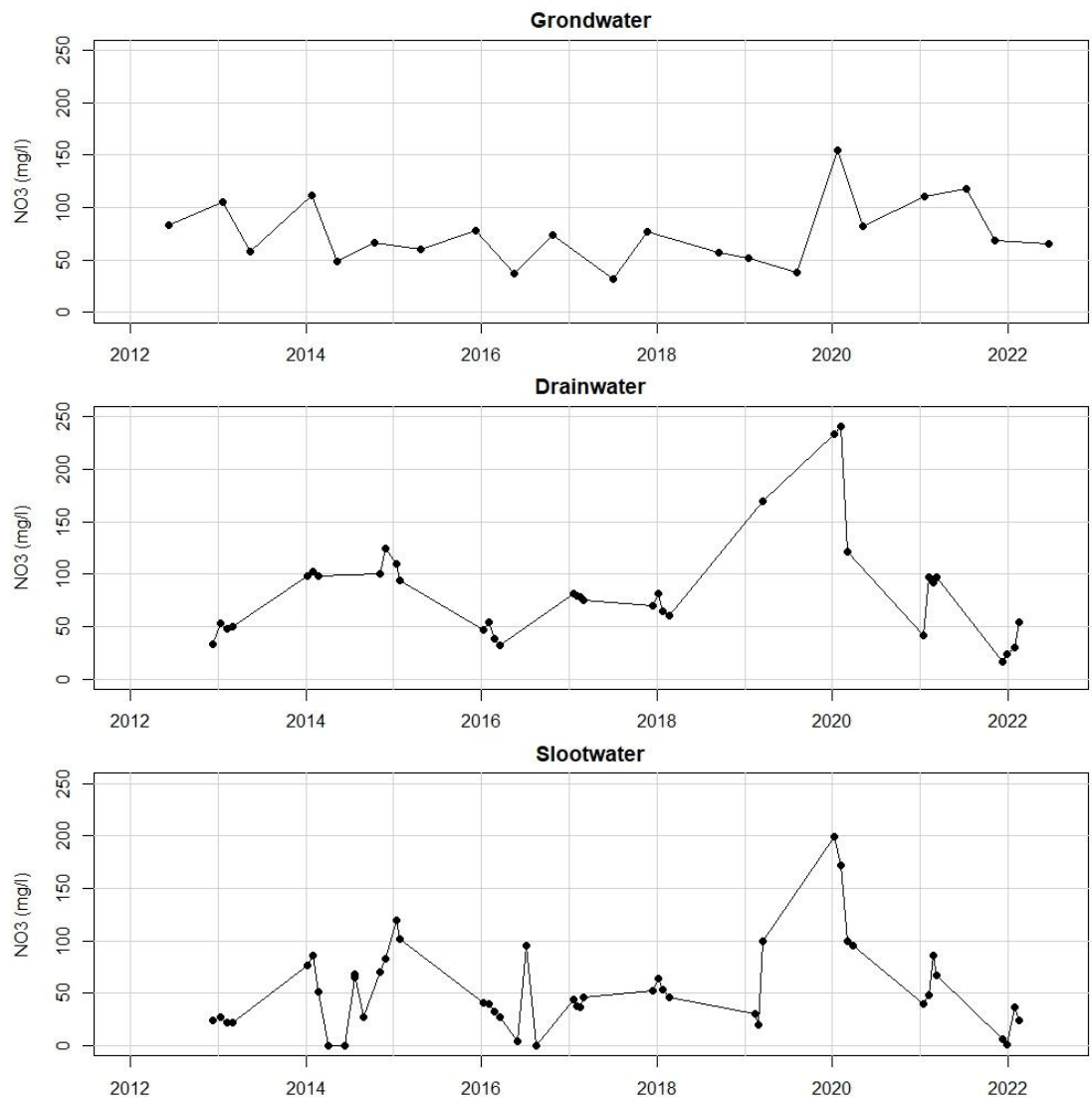
Voor het drainwater is voor elk bemonsteringsmoment het gemiddelde van 16 bemonsterde drains weergegeven. De drains kunnen alleen bemonsterd worden als ze water afvoeren in het drainageseizoen. Indien mogelijk worden de drains vier keer per drainageseizoen bemonsterd. Voor het slootwater is voor elk bemonsteringsmoment het gemiddelde van twee locaties gegeven. Meestal is het slootwater alleen in het drainageseizoen bemonsterd op dezelfde momenten als de drains. Soms is echter wel slootwater bemonsterd, maar liepen de drains niet en in enkele jaren is het slootwater ook in de zomer bemonsterd.

Voor het grondwater zien we dat de nitraatconcentraties in de winter van 2019-2020 met 154 mg/l NO₃ ongeveer 3-4x hoger zijn dan in het jaren ervoor. Ook in 2021 zijn de concentraties nog hoog, maar in 2022 zijn de nitraatconcentraties weer bijna terug op het niveau van voor de droogte. Het concentrerende (indikkende) effect van de droogte van 2018 en 2019 bereikt op dit bedrijf pas in het winterseizoen van 2019-2020 het bovenste grondwater. De winter van 2018-2019 was met een neerslagoverschot van 198 mm (oktober 2018 t/m maart 2019) ook relatief droog (zie ook Figuur 3.3). Het nitraatrijke uitspoelingswater heeft daardoor nog niet of nauwelijks de bovenste meter grondwater kunnen bereiken (stand deze winter op 2,2-3,2 m -mv). Dat gebeurde pas in het daaropvolgende uitspoelingsseizoen met een neerslagoverschot van 305 mm (van oktober 2019 t/m maart 2020).

De nitraatconcentraties in het drainwater zijn wel in de winter van 2018-2019 al verhoogd ten opzichte van de jaren ervoor. Deze winter was echter relatief droog en de drains konden slechts 1 keer bemonsterd worden. Overigens stond de grondwaterstand in deze periode onder het drainageniveau en voeren de drains hangwater af boven een slecht doorlatende laag (schijngrondwaterspiegel). Hierdoor kan het dat de concentratie in het drainwater eerder verhoogd is dan de concentraties in het diepere bovenste grondwater. In de winter van 2019-2020 zijn de drains 3 keer bemonsterd en waren de nitraatconcentraties vooral bij de eerste twee bemonsteringen met 240 mg/l NO₃ extreem hoog. In de twee drainageseizoenen daarna nemen de nitraatconcentraties in het drainwater weer snel af tot gemiddeld 30 mg/l in de winter 2021-2022.

Het slootwater laat een vergelijkbare reactie op de droge jaren zien als de drains, maar met iets lagere concentratieniveaus. In de winter van 2018-2019 zijn de concentraties in het slootwater bij de eerste 2 bemonsteringen nog erg laag, maar tijdens deze bemonsteringen

was het nog relatief droog en was er nog geen drainafvoer. Bij de derde slootwater bemonstering van dat seizoen zijn de concentraties in het slootwater wel verhoogd, mede door de drains die op dat moment water met een gemiddelde concentratie van 170 mg/l NO₃ afvoerden naar de sloot.



Figuur 6.2. Gemeten nitraatconcentraties in het bovenste grondwater, drainwater en slootwater op een melkveebedrijf in het zuidelijk zandgebied. Data uit het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid van het RIVM.

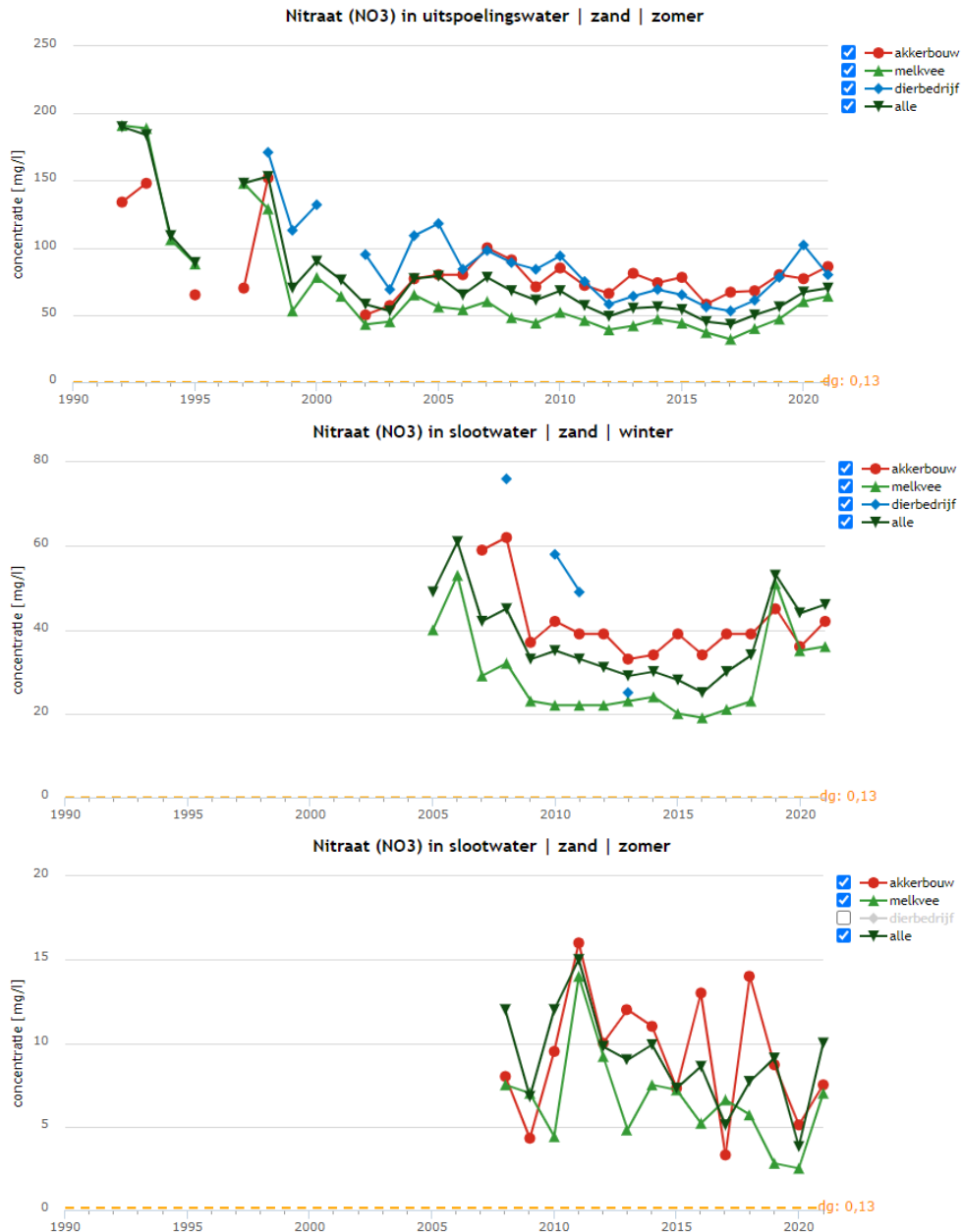
6.2.2 Landbouwbedrijven zandgebied

De regionale data voor het gehele Nederlandse zandgebied uit het LMM kunnen ook helpen bij het duiden van de trends in waterschap Aa en Maas. In Figuur 6.3 staan de gemiddelde nitraatconcentraties voor ongeveer 200 landbouwbedrijven in het zandgebied. De bovenste grafiek geeft de gemiddelde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (uitspoelingswater) op landbouwpercelen. Sinds de start van het meetnet is de nitraatuitspoeling afgenomen en in 2017 liggen de concentraties in het bovenste grondwater gemiddeld onder de norm van 50 mg/l NO₃. Deze daling is gerelateerd aan de daling in het stikstofbodemschot na de invoering van het mestbeleid, zie ook Figuur 6.4.

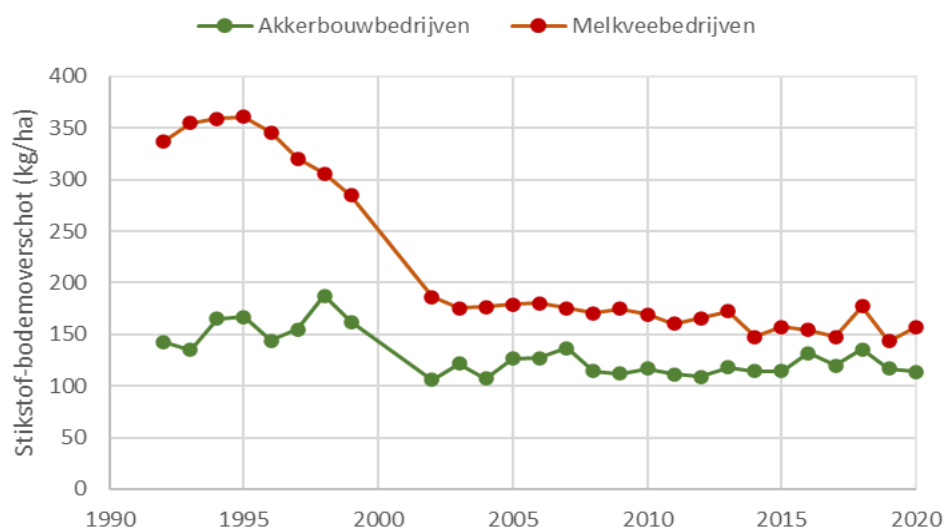
Na 2017 nemen de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater weer toe en ligt de gemiddelde nitraatconcentratie rond de 70 mg/l NO₃. De stijging wordt grotendeels

veroorzaakt door indikking; het bodemoverschot wordt opgelost in minder infiltrerend regenwater wat voor hogere concentraties zorgt. Vooral in 2018 was daarnaast het stikstofbodemoverschot relatief hoog door verminderde gewasgroei (Figuur 6.4).

Figuur 6.3 toont ook de gemiddelde slootwaterconcentraties in de winter (midden) en in de zomer (onder). De kwaliteit in het slootwater wordt in het LMM minder lang gemeten (sinds 2005-2008 afhankelijk van seizoen en bedrijfstype). Vooral de winterconcentraties schieten omhoog na de droogte van 2018. De reactie op de droogte is in het slootwater sneller dan in het bovenste grondwater, waarschijnlijk door hoge concentraties in de eerste uitspoeling in de winter na de droogte. In de zomer zijn de nitraatconcentraties in het slootwater veel lager dan in de winter en is de reactie op de droogte minder eenduidig, waarschijnlijk door de beperkte uitspoeling in de zomer en invloed van biochemische processen.

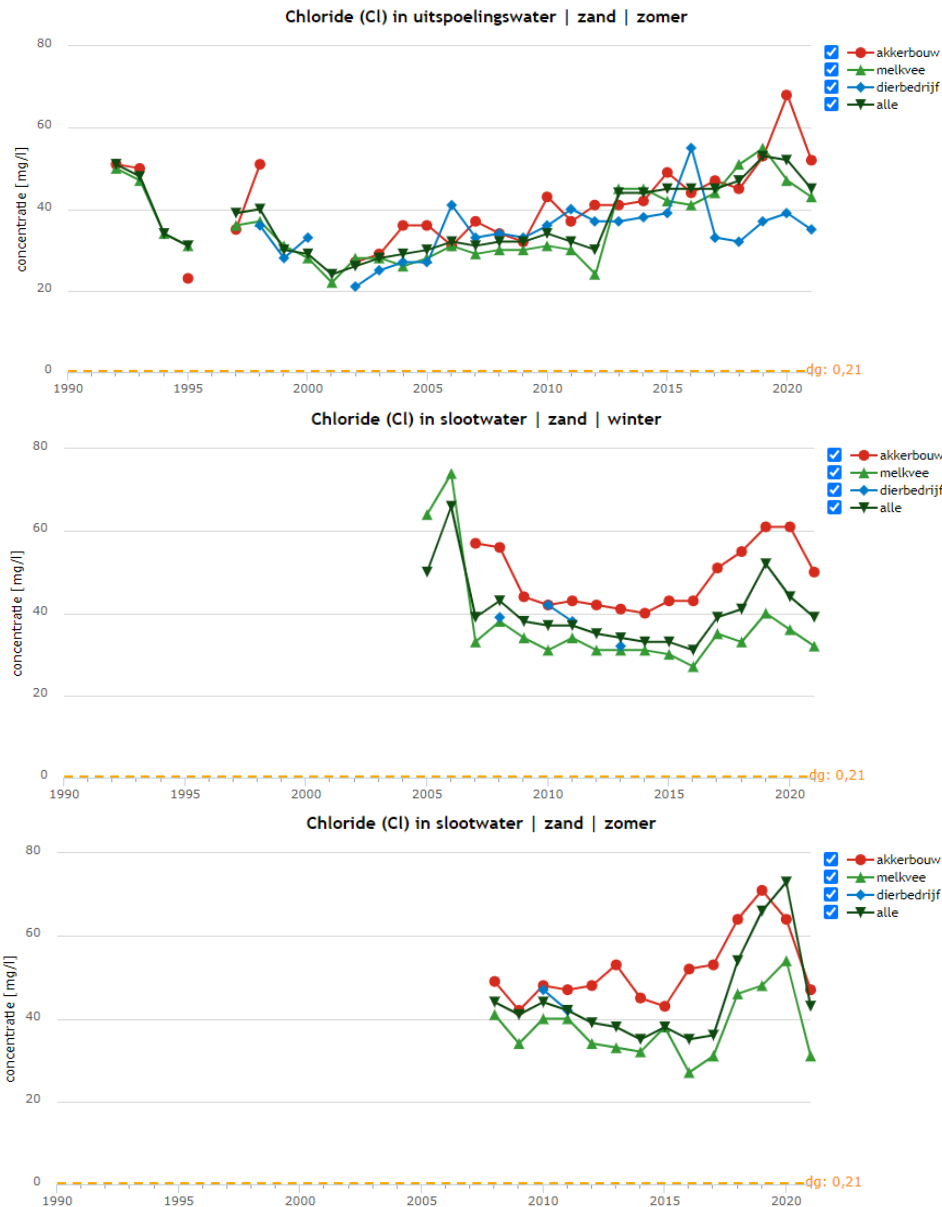


Figuur 6.3. Gemiddelde nitraatconcentraties op landbouwbedrijven in het zandgebied; gemiddelde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (boven), in het slootwater in de winter (midden) en in het slootwater in de zomer (onder). Data uit het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid van het RIVM.



Figuur 6.4. Ontwikkeling in het landelijke stikstofbodemoverschot op Akkerbouw- en Melkveebedrijven van 1992-2020 (bron: www.staatvanlandbouwnatuurevoedsel.nl)

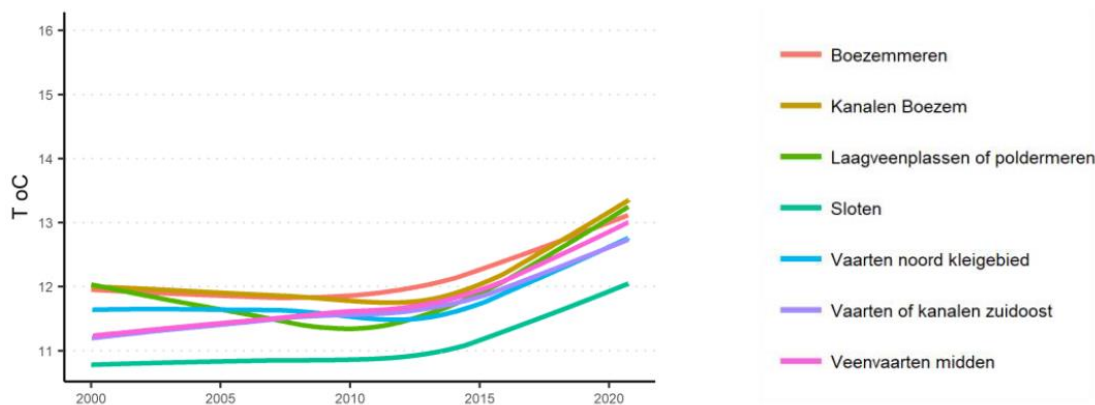
In Figuur 6.5 zijn ook de chlorideconcentraties weergegeven voor het bovenste grondwater en het slotwater in de LMM-bedrijven op zand. In het bovenste grondwater (bovenste grafiek) valt de trendomkering op met vanaf 2001 een toename in de gemiddelde chlorideconcentraties van circa 25 mg/l tot circa 45 mg/l in 2021. Dit is een te grote toename om alleen te kunnen verklaren door een toename in verdamping. Daarnaast daalt de EC aanvankelijk (tot ca. 2000), terwijl de temperatuur (en verdamping) al langer toeneemt. De recente toename in de EC is mogelijk het gevolg van een toename in het gebruik van kunstmest (vaak in de vorm van een chloride-zout). In 2019 en 2020 is de chlorideconcentratie in het bovenste grondwater extra hoog door de droogte. Deze trend in chlorideconcentraties verklaard mogelijk de trendomkering in chlorideconcentraties in het oppervlaktewater van waterschap Aa en Maas (hoofdstuk 4). De chlorideconcentraties in het slotwater reageren zowel in de winter (midden) als in de zomer (onder) duidelijk op de droogte. Vooral in de zomer zijn de chlorideconcentraties in 2018 t/m 2020 duidelijk hoger.



Figuur 6.5. Gemiddelde chlorideconcentraties op landbouwbedrijven in het zandgebied; gemiddelde chlorideconcentraties in het bovenste grondwater (boven), in het slootwater in de winter (midden) en in het slootwater in de zomer (onder). Data uit het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid van het RIVM.

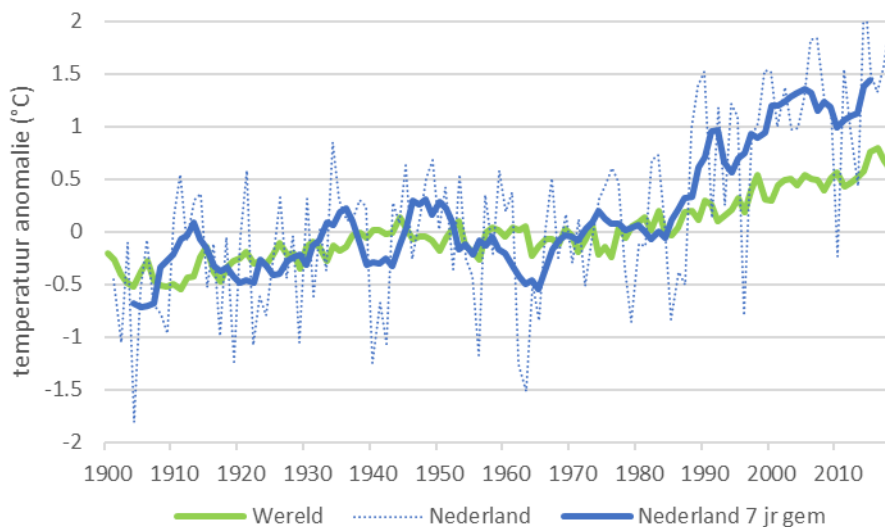
6.3 Wetterskip Fryslân – trends in watertemperatuur

De verrassende trend in temperatuur, waarbij een constante temperatuur wordt gemeten die vanaf ongeveer 2010 stijgt, wordt ook bevestigd door data van Wetterskip Fryslân. Voor de waterkwaliteitsgegevens van Wetterskip Fryslân is namelijk recent ook een trendanalyse uitgevoerd voor de meetgegevens van 2000 tot en met 2020 (Buijs et al., 2021). Uit deze analyse kwam naar voren dat de waterkwaliteit in deze periode is verbeterd voor stikstof en stabiel is gebleven voor fosfor. Een opmerkelijk resultaat van de trendanalyses was de stabiele watertemperatuur tot 2012, waarna een snelle opwaartse trend in de inzet in alle verschillende typen wateren (Figuur 6.6). De trend in de watertemperatuur voor waterschap Aa en Maas (Figuur 4.5) laat een vergelijkbaar patroon zien.



Figuur 6.6. LOWESS trendlijnen voor de watertemperatuur in verschillende watertypen in Wetterskip Fryslân (bron: Buijs et al., 2021).

De gemiddelde luchttemperatuur in Nederland is sinds de jaren '80 al gestaag met 2 graden gestegen (Figuur 6.7). De stijging in Nederland is groter dan in de rest van de wereld door de verbeterde luchtkwaliteit. Het lijkt erop dat de gestegen luchttemperatuur zowel in Friesland als bij Aa en Maas met vertraging doorwerkt in de watertemperaturen. De verwachting is dat deze stijging in de watertemperatuur doorzet, aangezien de luchttemperatuur ook blijft stijgen. De stijgende watertemperatuur heeft op verschillende manieren invloed op de aquatische ecologie. Zo neemt bij hogere watertemperaturen de hoeveelheid opgeloste zuurstof af en kan het groeiseizoen voor algen al eerder beginnen. Al met al wordt het watersysteem bij hogere temperaturen gevoeliger voor de gevolgen van eutrofiering.



Figuur 6.7. Trends in de luchttemperatuur in Nederland vergeleken met de wereldwijde trend. De anomalieën zijn berekend als het jaarlijkse verschil met de gemiddelde temperatuur over 1961-1990 in Nederland (De Bilt). Data Nederland van KNMI en wereldwijd van het Hardley Centre.

6.4 Trendstudie Hallmann

Door Hallmann et al. (2021) is recentelijk ook onderzoek gedaan naar trends en relaties in de meetnetdata voor waterkwaliteit en ecologie van waterschap Aa en Maas (periode 1990-2019). De resultaten met betrekking tot trends zijn vergelijkbaar; ook Hallmann et al. (2021) vinden neerwaartse trends voor N en P, opwaartse trends voor pH, en recente opwaartse trends voor Cl en watertemperatuur. Hallmann et al. (2021) hebben ook naar trends in de ecologische data gekeken. Over het waterschap als geheel is er voor macrofauna een neerwaartse trend in de abundantie en heeft droogte een sterk negatief effect. Macrofyten laten juist een toename zien in soortenrijkdom. Voor vissen neemt de dichtheid en het aantal soorten toe tot circa 2013 en stabiliseert daarna.

Aangezien Hallmann et al. (2021) gewerkt hebben met General Additive Models (GAM) was het ook mogelijk te kijken naar statistische relaties tussen parameters. Zo is vastgesteld dat een hogere 30-daagse neerslag voorafgaand aan een meting zorgt voor hogere concentraties P-totaal, N-totaal en NH_4 en voor lagere waarden voor O_2 , Cl, pH, T en doorzicht. Dit sluit aan bij wat in deze studie gevonden is over het effect van extreem natte perioden. Voor P-tot en NH_4 (en niet voor N-totaal) vonden Hallmann et al. (2021) dat meetlocaties dicht bij rwzi's (stroomafwaarts) hogere concentraties hadden, maar ook dat dit effect met de jaren verminderd door de verbeterde zuiveringstechnieken van de rwzi's.

De relaties tussen de fysisch-chemische parameters en de ecologie komen niet erg eenduidig naar voren in Hallmann et al. (2021). Vooral hogere waarden voor N-totaal lijken de ecologie negatief te beïnvloeden, maar voor andere parameters is het effect variabel.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Waterkwaliteit verbetert; versnelde toename watertemperatuur maakt aquatisch ecosysteem kwetsbaarder

Op basis van de historische meetreeksen van de waterkwaliteitsmeetnetten van waterschap Aa en Maas is in deze studie gekeken naar de lange termijn ontwikkelingen in de oppervlaktewaterkwaliteit en naar effecten van klimaatverandering, voornamelijk in de vorm van extreem droge en natte perioden. Hiervoor werden verschillende trendanalyses uitgevoerd, waarvan de algemene resultaten zijn samengevat in Tabel 7.1. Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat het over het algemeen de goede kant op gaat met de waterkwaliteit binnen waterschap Aa en Maas. De meeste nutriënten laten neerwaartse trends zien, ook als gekeken wordt naar zomer en winter apart, of zonder de droge jaren vanaf 2018. Mogelijke verklaringen voor de verbetering in de waterkwaliteit zijn de vermindering van landbouwemissies, evenals de verbeterde zuivering van rioolwater.

Tabel 7.1. De gevonden trends (1990-2022) per type analyse en de algehele conclusie per parameter.

Parameter	SMK	Theil-Sen	LOWESS	Conclusie
Cl (mg/L)	Opwaarts	Geen trend	Geen trend	Geen trend
EC (mS/m)	Opwaarts	Opwaarts	Opwaarts	Opwaarts
NH ₄ (mg N/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
NO ₃ (mg N/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
Norg (mg N/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
N-totaal (mg N/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
O ₂ (mg/L)	Geen trend	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
pH (-)	Opwaarts	Geen trend	Geen trend	Geen trend
PO ₄ * (mg P/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
PP* (mg P/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Geen trend	Geen trend
P-totaal* (mg P/L)	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts	Neerwaarts
SO ₄ (mg/L)	Neerwaarts	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Temperatuur (°C)	Opwaarts	Opwaarts	Opwaarts	Opwaarts

* Zoals beschreven in hoofdstuk 2.3 en 4.1.3 kan de verandering in meetmethode voor deze stoffen mogelijk een effect op de trend hebben gehad.

De trends in het gebiedseigen water verschillen vrij sterk van trends op meetlocaties met veel invloed van inlaatwater en rwzi effluent. Voor N-totaal zijn de concentraties in het gebiedseigen (landbouw-specifieke) water wat hoger dan in het inlaat water, maar nemen ook sneller af. In het rwzi-effluent water zijn de concentraties in de zomer hoger dan het gebiedseigen water, maar in de winter lager. Voor P-totaal zijn de concentraties in het rwzi-effluent ook hoger in de zomer, maar in de winter zijn de concentraties vanaf circa 2000 vrij gelijk. Verder liggen de P-totaal concentraties in het gebiedseigen water wat lager dan het inlaatwater, mogelijk door de vastlegging van fosfaat aan ijzer(hydr)oxiden. Over het algemeen verschilt de bijdrage van landbouw, rwzi's en inlaatwater aan de waterkwaliteit dus sterk per seizoen, evenals de nutriëntenprocessen in het water die het zelfreinigend vermogen van de waterlopen bepalen.

Een ander opvallend resultaat is de toename in de EC en chlorideconcentraties vanaf circa 2012 in de wateren binnen het beheergebied van waterschap Aa en Maas. De toename voor chloride is ook zichtbaar vanaf circa 2000 in het uitspoelingswater op landbouwbedrijven in het zandgebied (Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid). Een deel van deze gestegen concentraties kan toegeschreven worden aan de toegenomen verdamping. Echter is de toename zo groot, dat het mogelijk ook een gevolg kan zijn van meer gebruik van kunstmestzouten.

De bijdrage van klimaatverandering aan de waterkwaliteitsverbetering kan niet precies geïdentificeerd worden. De waargenomen stijging in watertemperatuur van gemiddeld 0,1 °C per jaar (1990-2023) is waarschijnlijk wel vooral toe te schrijven aan klimaatverandering. In de laatste 10 jaar is deze temperatuurstijging versneld tot 0,3 °C per jaar. Deze extra stijging werd ook in het meetnet van Wetterskip Fryslân geobserveerd. Dit is mogelijk een vertraagde reactie op de stijgende luchttemperatuur sinds de jaren '80. De opwarming maakt het watersysteem waarschijnlijk gevoeliger voor algenbloei en zuurstofloosheid, waardoor soorten kunnen verdwijnen. De waargenomen afname in de zuurstofconcentraties is mogelijk het gevolg van de lagere oplosbaarheid van zuurstof bij hogere watertemperaturen.

Weersextremen (nat en droog) zijn over het algemeen ongunstig voor de waterkwaliteit

Verder is gekeken naar de verschillen in concentratie tussen droge en natte perioden, zowel voor de gehele meetreeks als voor een extreme bui op 30 mei 2016. Uit deze analyses wordt duidelijk dat extreme weersomstandigheden over het algemeen ongunstig zijn voor de waterkwaliteit. Hevige regenval kan leiden tot hogere concentraties en grote vrachten naar ontvangende wateren. De reactie is wel kort en lastig in maandelijkse metingen terug te zien, maar wanneer onderscheid wordt gemaakt tussen natte en droge perioden wordt dit effect duidelijker (zie hoofdstuk 5.3). De metingen voor en na een hevige bui op 30 mei 2016 geven door een gunstige timing van de metingen (vlak na de bui) wel een beeld van het effect. De N en P concentraties in een natte periode waren sterk verhoogd en de zuurstofconcentraties waren erg laag. Continue metingen zoals sinds 2021 in de Vinkenloop geven een meer gedetailleerd beeld van de veelal korte concentratiepieken voor P-totaal en NH₄ bij buien.

Het effect van droge periodes is beter uit de gebruikte maandelijkse meetgegevens te destilleren. Chlorideconcentraties en de EC lopen in droge perioden flink op door minder verdunning en indikking. De nitraatconcentraties in het oppervlaktewater zijn juist laag tijdens de droogte, maar door minder verdunning (door neerslagwater) en minder gewasopname bouwt zich in de bodem en het ondiepe grondwater wel een grotere voorraad nitraat op. In een eerstvolgende nattere periode spoelt deze voorraad alsnog uit, zoals terug te zien in verhoogde gemeten nitraatconcentraties. Deze effecten zijn ook opgevallen in andere studies, zoals het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en de trendstudie van Hallmann et al. (2021). Voor zuurstof geldt dat zowel onder extreem droge als onder extreem natte omstandigheden concentratiedips kunnen voorkomen.

7.2 Aanbevelingen

Uit deze studie volgen een aantal aanbevelingen voor waterkwaliteitsbeheer met betrekking tot monitoring, modellering en maatregelen.

Continuïteit monitoring

Ten eerste wordt aanbevolen om te letten op de continuïteit in monitoring met betrekking tot meetlocaties, parameters en meetmethoden, zowel op regionale schaal als in onderzoekstroomgebieden. Tijdens de voorbereiding van de analyses viel op dat voor veel meetlocaties en gemeten parameters de reeksen te kort en/of onregelmatig waren om mee te nemen. Om het klimaateffect van meer en heftigere piekbuien op de waterkwaliteit te onderzoeken wordt aanbevolen om op enkele plekken (bijvoorbeeld de uitstroompunten van de Aa en de Raam; de grootste beken van Aa en Maas) hoogfrequentier te gaan meten, eventueel met sensoren. Hierbij kunnen dan ook weer meer metingen in de winter gedaan worden (maandelijks i.p.v. eens per drie maanden). De invloed van het gebiedseigen water is namelijk juist in de winter het grootst (vergeleken met inlaatwater en rwzi-effluent), ook al focust de KRW-beoordeling op zomergemiddelde concentraties. Ook voor de vrachten naar benedenstreams oppervlaktewater is de winterperiode dominant. Als alternatief voor sensoren kan, voor zover mogelijk, voor de meetmomenten ook meer rekening gehouden worden met het weer. Bijvoorbeeld, als er op korte termijn flinke regenval gemeld wordt, kan op een aantal locaties vóór de bui en binnen drie dagen na de bui een meting gedaan worden. Dit vergt wel ad-hoc beschikbaarheid van bemonsteraars en/of de inzet van automatische monsternamekasten. Het verzamelen van monsters tijdens extremen kan bij analyse van een breed pakket aan stoffen ook informatie opleveren over andere verontreinigingen die onder extreme omstandigheden mobiel worden.

Modellering van de invloed van klimaatverandering op de waterkwaliteit

Om een nog beter inzicht te krijgen in de invloed van klimaatverandering en klimaatextremen op de waterkwaliteit, wordt geadviseerd om de kennis uit meetnetten ook te verwerken in procesmodellen. In een model is het namelijk gemakkelijker om andere invloeden, zoals een nieuw mestbeleid of veranderingen in landgebruik, buiten beschouwing te laten. Met andere woorden, het effect van klimaatverandering kan beter geïsoleerd worden. Hiervoor is het belangrijk om de biologische en chemische processen die van invloed zijn in een vervolgstudie zo mogelijk beter in kaart te brengen. Ook moeten randvoorwaarden en procesparameters die in veel modellen vastliggen mogelijk aangepast worden of variabel gemaakt worden. Een toename in de (water)temperatuur heeft bijvoorbeeld invloed op de verdamping, maar ook op de snelheids-‘constanten’ voor biochemische processen. En met het veranderende klimaat verandert niet alleen de meteorologische modelinput (neerslag en verdamping), maar mogelijk ook de toestroom van oppervlaktewater en grondwater van buiten het modelgebied (modelrandvoorwaarden).

Klimaatrobuuste inrichting

Qua maatregelen ondersteunen de resultaten van deze studie het beleid om het watersysteem meer klimaatrobuust in te richten. Bijvoorbeeld, het beschaduen van waterlopen (met o.a. bomen) kan ervoor zorgen dat de watertemperatuur, vooral in de zomer, minder hard oploopt, wat gunstig is voor de oplosbaarheid voor zuurstof. Verder zal het bufferen van hevige neerslag in bodem, grondwater en oppervlaktewatersysteem positief uitwerken voor de waterkwaliteit. Een herstelde sponswerking van het landschap voorkomt grote nutriëntenverliezen bij klimaatextremen en zorgt voor meer tijd voor gewasopname en retentie in het oppervlaktewatersysteem. Ook kan het vasthouden van water in de winter gecombineerd worden met het afvangen en mogelijk hergebruiken van nutriënten (stimuleren afbraak, afvangen sediment) en het herstel van de biodiversiteit. Het verbeteren van de sponswerking van het bodem- en watersysteem heeft positieve effecten op al deze aspecten.

8 Literatuur

- Asselman, N., van Heeringen, K.-J., de Jong, J., & Geertsema, T. (2022). Juli 2021 overstroming en wateroverlast in Zuid-Limburg: Eerste bevindingen voor Valkenburg, Geulmonding, Roermonding en Eygelshoven. In *waterschap Limburg* (Nr. 11207700-000-ZWS-0019). <https://www.waterschaplimburg.nl/vaste-onderdelen/zoeken/@7103/resultaten-case-studies-vier/>
- Broers, H.P. & Van der Grift, B., 2004. Regional monitoring of temporal changes in groundwater quality. *J. Hydrol.* 296, 192-220.
- Buijs, S., Ouwerkerk, K. & Rozemeijer, J., 2020. Metneet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater: Toestand en trends tot en met 2018. Deltares rapport 1203728-005-BGS-0002, Utrecht.
- Buijs, S., Ouwerkerk, K. & Rozemeijer, J., Hooijboer, A., 2021. Trends waterkwaliteit in het beheergebied van Wetterskip Fryslân in de periode van 2000 tot en met september 2020. Deltares rapport 11206260-002-BGS-0003, Utrecht.
- Buijs, S., 2022. Update toestand en trend MNLSO tot en met 2021. Deltares memo 11205268-005-BGS-0001.
- Cleveland, W.S., 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J. Am. Stat. Ass.* 74, 829–836.
- Compendium voor de Leefomgeving. (2022). *Fysisch-chemische Waterkwaliteit KRW, 2021*. CLO. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0252-fysisch-chemische-waterkwaliteit-krw>
- Didde, R. (2023, 2 januari). *Een dikke onvoldoende voor waterkwaliteit*. WUR. Geraadpleegd op 19 december 2023, van <https://www.wur.nl/nl/show-longread/een-dikke-onvoldoende-voor-waterkwaliteit.htm>
- Hallmann, C., van der Pol, J., & Brugmans, B. (2021). Trends en toestand ecologische, fysische en chemische parameters Aa en Maas: Effecten van inrichting en beheer & onderhoud. In *WUR* (Nr. 525641).
- Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A., 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.* 18 (1), 107–121.
- Hirsch, R.M. & Slack, J.R., 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resour. Res.* 20 (6), 727–732.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). (2023). Volkel [Dataset; Internet]. In *Daggegevens van het weer in Nederland*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- NOS Nieuws. (2016, 30 mei). Ondergelopen auto's door slagregens, maar ook wakeboarden op straat. *NOS*. <https://nos.nl/artikel/2108208-ondergelopen-auto-s-door-slagregens-maar-ook-wakeboarden-op-straat>
- R Development Core Team, 2009. R: A language and environment for statistical computing, Wenen, Oostenrijk, URL <http://www.R-project.org>, ISBN 3-900051-07-0.
- Rozemeijer, J., Broers, H. P. & Passier, H. (2007). Een quickscan inventarisatie van de bijdrage van het grondwater aan de oppervlaktewaterkwaliteit in Noord-Brabant. Eindrapport. Deelrapport I van het Aquaterra/STROMON project. In *TNO* (TNO-rapport 2008-U-R0406/A).

Rozemeijer, J., Noordhuis, R., Ouwkerk, K., Pires, M. D., Blauw, A., Hooijboer, A., & Van Oldenborgh, G. J. (2021). Climate variability effects on eutrophication of groundwater, lakes, rivers, and coastal waters in the Netherlands. *Science of The Total Environment*, 771, 145366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145366>

Schipper, P., Groenendijk, P., Van Gerven, L., Van Loon, A., Lukács, S., Rozemeijer, J., 2022. Monitoring en modellering in twee pilotgebieden voor gebiedsgerichte aanpak. Onderdeel KIWK-project Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout? KIWK-rapport 2022-22.

Schipper, P., van Boekel, E., Mi-Gegotek, Y., Groenendijk, P., Kros, H., Renaud, L., & Voogd, J. C. (2024). *KRW-doelbereik en resterende opgave 2027 voor de nutriënten in de Maasregio*. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3353). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/660087>

Somhorst, M. H. M., & Stolk, A. P. (1996). Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 1994. In *RIVM* (RIVM rapport 723101 057). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <https://www.rivm.nl/publicaties/landelijk-meetnet-regenwatersamenstelling-meetresultaten-1994>

Visser, A., 2009. *Trends in groundwater quality in relation to groundwater age*. Proefschrift Universiteit Utrecht, Nederlandse Geografische Studies 384, Utrecht.

van Puijenbroek, P. (2014). De kwaliteit van het Nederlandse oppervlaktewater beoordeeld volgens de Kaderrichtlijn Water (KRW). In *PBL* (publicatienummer: 1355). Den Haag: PBL. <https://www.pbl.nl/publicaties/de-kwaliteit-van-het-nederlandse-oppervlaktewater-beoordeeld-volgens-de-kaderrichtlijn-water-krw-0>

Waterschap Aa en Maas. (2021). Waterbeheerplan 2022-2027. In *Aa en Maas*. <https://www.aaenmaas.nl/overons/waterbeheerplan-2022-2027/bekijk-wbp/>

Winter, C., Nguyễn, T., Musolff, A., Lutz, S., Rode, M., Kumar, R., & Fleckenstein, J. H. (2023). Droughts can reduce the nitrogen retention capacity of catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(1), 303–318. <https://doi.org/10.5194/hess-27-303-2023>

9 Bijlagen

9.1 Bijlage A: overzicht meetpunten

Naam	Waterloop	Omschrijving	Water type	District
oAFSLSC500	Afvoersloot Schaijk	voor uitmonding in de Hertogswetering	Sloot	Raam
oASTEAA860	Astense Aa	Astense Aa voor uitm. Aa	Stromend water	Boven Aa
oBAKEAA100	Bakelse Aa	Bakelse Aa HelmondBakel	Stromend water	Boven Aa
oBEEKGR880	Beekgraaf	Ben. str. overkluizing A50	Wetering/Tocht	Beneden Aa
oBEEKLO890	Beekerloop	Beeker Aa voor uit. in de Aa (sluis 10)	Stromend water	Boven Aa
oBIEZLO850	Biezenloop	Biezenloop aan de Dintherse Dijk	Sloot	Beneden Aa
oBOSSSL870	Nieuwe Bossche Sloot	bij Gementweg tnv Drongelens Kanaal	Sloot	Hertogswetering
oDE_AA_100	Aa	Aa op de grens met Limburg	Stromend water	Boven Aa
oDE_AA_210	Aa	Vanaf brug Kanaalweg	Stromend water	Boven Aa
oDE_AA_330	Aa	brug kruising met Vareschut	Stromend water	Boven Aa
oDE_AA_410	Aa	Aa AarleRixtel, ben. str. RWZI	Stromend water	Beneden Aa
oDE_AA_440	Aa	Bov.str. brug Gemertseweg	Stromend water	Beneden Aa
oDE_AA_500	Aa	Aa KeldonkErp, Achterdijk	Stromend water	Beneden Aa
oDE_AA_630	Aa	benedenstrooms Veghel instr. Beekgraaf	Stromend water	Beneden Aa
oDE_AA_680	Aa	Aa HeeswijkSchijndel	Stromend water	Beneden Aa
oDE_AA_860	Stads-Aa	Aa s Hertogenbosch	Stromend water	Hertogswetering
oDIEPLO250	Diepenhoekse Loop	Bovenstr duiker, Belienberkdijk SomerenEind	Sloot	Boven Aa
oDIEZE_550	Dieze	bovenstrooms RWZI Den Bosch gr.v.Solsweg	Stromend water	Hertogswetering
oDIEZE_900	Dieze	bov. str. stuw Crevecoeur ben. str. RWZI	Stromend water	Hertogswetering
oDRONKA820	Drongelens Kanaal	nabij uitwateringssluis in de Maas	Kanaal	Hertogswetering
oDUNGLO100	Dungense Loop	Inlaat Boschweg Schijndel	Sloot	Beneden Aa
oESPELO820	Esperloop	Esperloop Bakel, Beekse peeldijk	Stromend water	Boven Aa
oGOORLO520	Goorloop	t. h. v. Jonker Karellaan te Rixtel	Stromend water	Boven Aa
oGOORLO740	Goorloop	voor uitmon. in Boerdonkse Aa	Stromend water	Beneden Aa
oGRAARA100	Graafse Raam	brug nabij Escharen	Stromend water	District Raam
oGROOWE320	Groote Wetering	Groote Wetering Molenhoeve stuw k	Wetering/Tocht	Beneden Aa

oGROOWE650	Groote Wetering	Gr Wetering Bov str. RWZI Vinkel, Brugstraat	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oGROOWE690	Groote Wetering	bovenstrooms stuw c Coppense Dijk	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oGROOWE890	Groote Wetering	Groote Wetering RosmalenBerlicum	Wetering/Tocht	Beneden Aa
oGULDAA790	Gulden Aa	Gulden Aa Helmond	Stromend water	Boven Aa
oHEDIMA540	Hedikhuizense Maas	ter hoogte van duiker onder De Omloop	Sloot	Hertogswetering
oHEESOM320	Heesbeense Oude Maasje	Heesbeen, Grote Straat	Kanaal	Hertogswetering
oHERTWE250	Hertogswetering	Herpen, Hamelspoelweg	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oHERTWE690	Hertogswetering	Bovenstrooms vanaf de brug weg Oss Het Wild	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oHERTWE900	Hertogswetering	nabij gemaal Gewande	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oHOEFGR900	Hoefgraaf	brug in de weg Empel t Wild	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oHOOGRA860	Hooge Raam	nabij Escharen, v uitm in de Graafsche Raam	Stromend water	Raam
oJANSBE880	St. Jansbeek	voor uitmonding in de Maas	Stromend water	Raam
oKADEUR110	Kanaal van Deurne	bij de stuw inlaat Astense Aa	Kanaal	Boven Aa
oKIEVLO100	Kievitsloop	Kievitsloop Limburg	Stromend water	Boven Aa
oKLEIAA890	Kleine Aa	Kleine Aa nabij sluis 10, 30 m bov. str. stuw	Stromend water	Boven Aa
oKLEIWE900	Kleine Wetering	Kleine Wetering Maliskamp, Veedijk	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oKONIVL800	Koningsvliet	ten zuiden van Doeveren, Valkenvoortseweg	Sloot	Hertogswetering
oLAARWL430	Laarakkerse Waterleiding	Bovenstr. stuw MDS nabij Mondsestraat	Stromend water	Raam
oLACTBE130	Lactariabeek	ten westen van Overloon, Vredepeelweg	Stromend water	Raam
oLAGERA250	Lage Raam	bovenstrooms Verkavelingsweg	Sloot	Raam
oLANDLO780	Landmeerse loop	Landmeerse Loop Esdonk, Schuurkerweg	Stromend water	Beneden Aa
oLEIJGR840	Leijgraaf	Leijgraaf te Kamen	Stromend water	Beneden Aa
oLITHAS630	Lithse aanvoersloot	nabij Lith, Hertog Janstraat	Sloot	Hertogswetering
oLOKAGO800	Loop vh Kattenhol naar het Goor	WL 01130 aan de Knokerdweg	Sloot	Beneden Aa
oLORRGR700	Lorregraaf	zuidelijk van brug Burg. Smitsweg	Sloot	Hertogswetering
oMOERPU000	Moerputten	Genomen vanaf de brug bij de steiger	Ven	Hertogswetering
oOEFFRA850	Oeffeltse Raam	benedenstrooms lozing Oeffelt	Stromend water	Raam
oPEELKA100	Peelkanaal	op de grens met Limburg, Vredepaal	Kanaal	Raam
oPEELKA450	Peelkanaal	brug in de weg Landhorst Veldhorst	Kanaal	Raam

oPEELKA650	Peelkanaal	Vanaf brug Volkelseweg	Kanaal	Raam
oPEELLO890	Peelse Loop	Peelse Loop Esdonk, Plateau voor uitm. in de Aa	Stromend water	Boven Aa
oSAMBUI860	Sambeekse Uitwatering	even voor uitmonding in de Maas	Wetering/Tocht	Raam
oSCHYLO820	Schijndelse Loop	Schijndelse Loop t.h.v het Woud	Sloot	Beneden Aa
oSNELLO810	Snelle Loop	Snelle Loop nabij Gemert, Vondersweg	Stromend water	Beneden Aa
oSTRIJP100	Stripse Beek	Voor stuw NieuwewegStevensstraat	Sloot	Raam
oTEEFWE100	Teeffelense Wetering	ten westen van Teeffelen, Beatrixweg	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oTEEFWE900	Teeffelense Wetering	voor uitmonding in de Hertogswetering	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oTOCHSL800	Tochtsloot	Bruggetje bovenstreams Overlaatweg Gassel Linden	Stromend water	Raam
oTOVEBE790	Tovense Beek	benedenstreams Papenvoortsesteeg	Stromend water	Raam
oTRAVER830	Traverse	ZWV Albers Pistoriusstr.	Kanaal	Beneden Aa
oVLIET_210	Nieuwe Vliet	brug weg Rosmalen Empel, Empelseweg	Wetering/Tocht	Hertogswetering
oVLVELO530	Vlijmensvensche Hoofdloop	ca. 10 m bov. str. duiker thv Vliedbergweg	Sloot	Hertogswetering
oVOBRLO820	Voordeldonkse Broekloop	brug in de weg HeusdenAsten	Stromend water	Boven Aa
oVOBRLO880	Voordeldonkse Broekloop	Brug Waardjesweg westkant	Stromend water	Boven Aa
oWILHKA100	Wilhelminakanaal	bij inlaat Donkevoortse Loop	Kanaal	Beneden Aa
oZUIDWV780	Zuid-Willemsvaart	ZWV Den DungenBerlicum	Kanaal	Hertogswetering

9.2 Bijlage B: Vergelijking trends verschillende meetjaren SMK resultaten

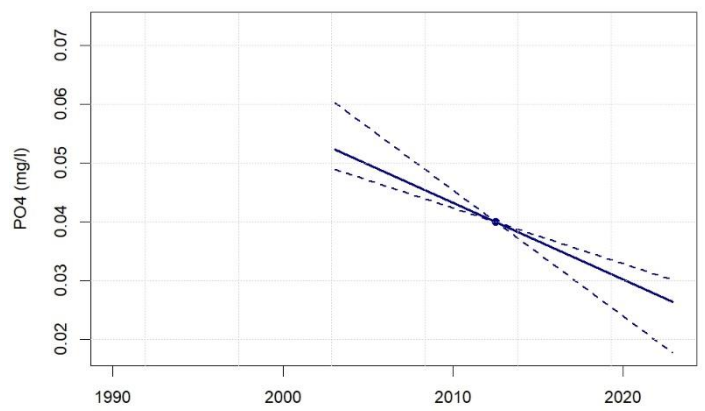
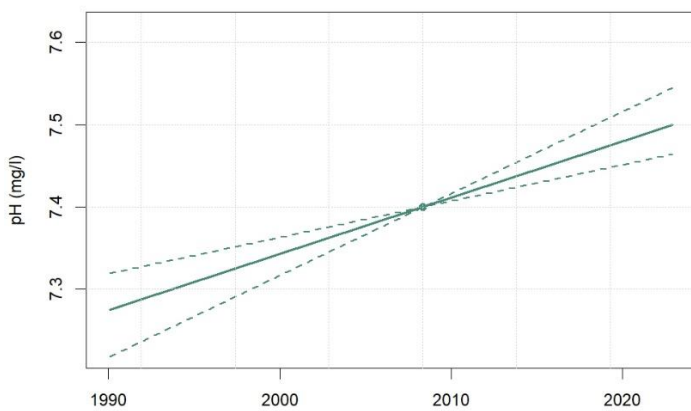
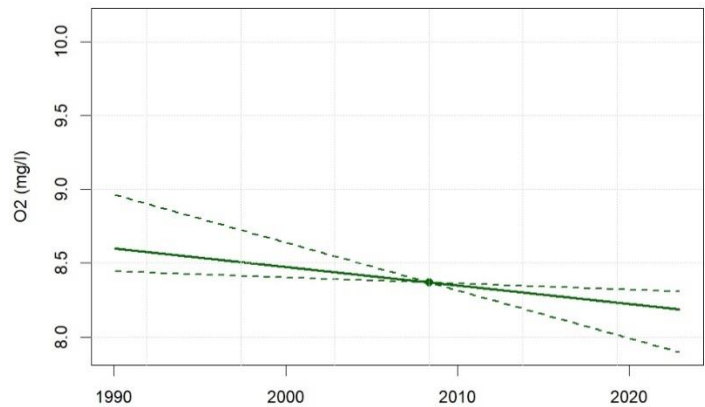
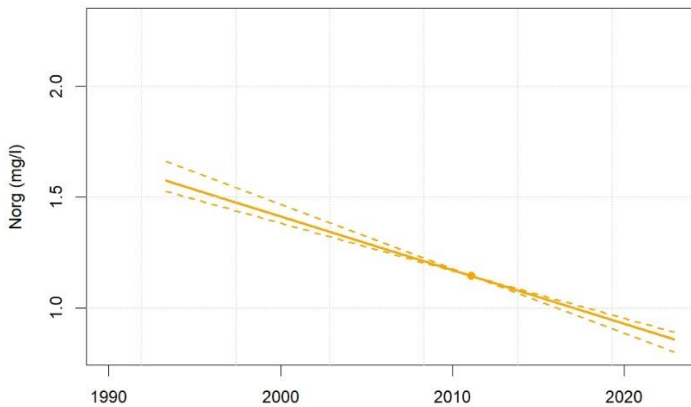
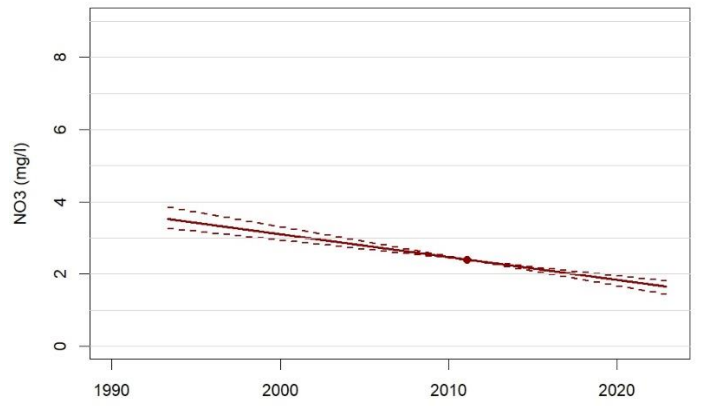
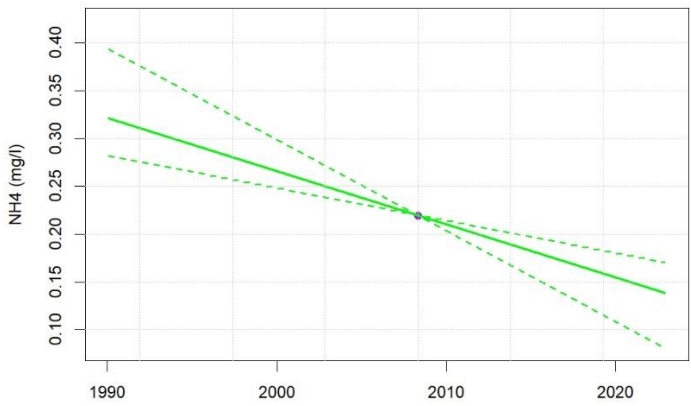
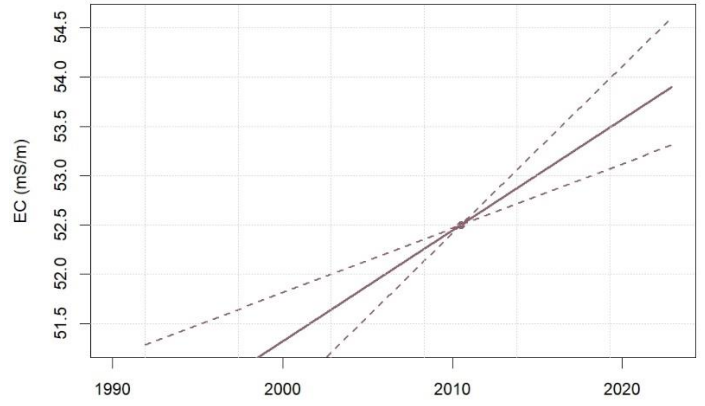
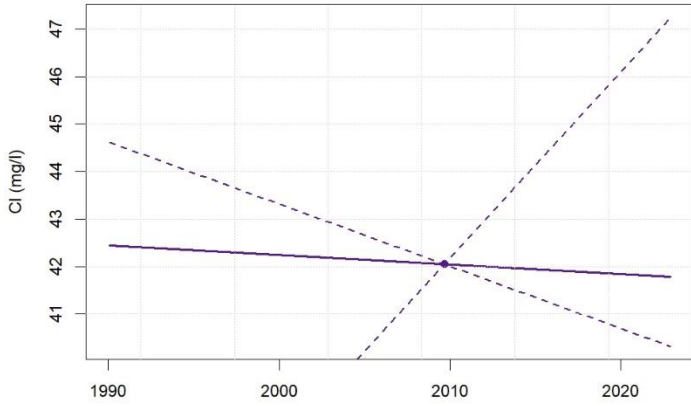
Parameter	Totaal*			Tot 2018*			Vanaf 2000*		
	Geen trend	Opwaartse trend	Neerwaartse trend	Geen trend	Opwaartse trend	Neerwaartse trend	Geen trend	Opwaartse trend	Neerwaartse trend
Cl	20	27	25	25	9	38	26	35	11
EC	24	39	9	46	17	9	26	38	8
NH₄	26	5	41	31	10	31	32	2	38
NO₃	18	1	53	24	0	48	18	3	51
Norg	10	0	62	45	0	27	10	0	62
N-totaal	13	0	59	23	1	48	14	0	58
O₂	42	12	18	42	10	20	41	20	11
pH	24	42	6	43	19	10	20	47	5
PO₄	23	3	46	36	5	31	25	3	44
PP	28	13	31	31	25	16	30	10	32
P-totaal	26	11	35	28	21	23	25	1	46
SO₄	29	12	31	33	13	26	33	17	22
Temperatuur	30	42	0	61	10	1	41	31	0

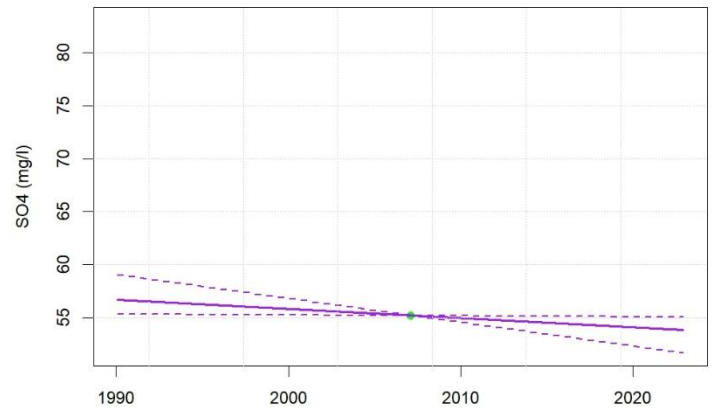
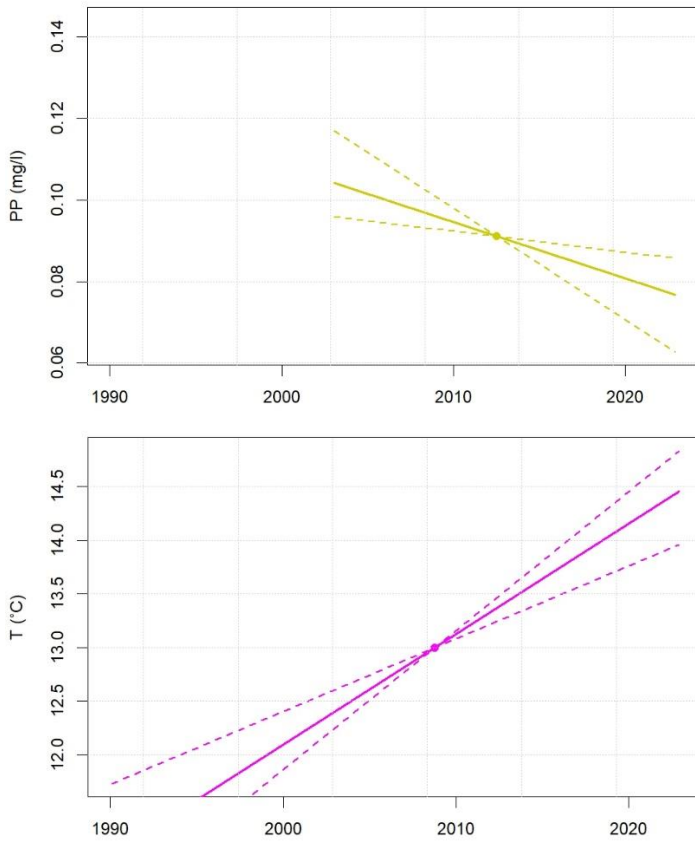
* De meest voorkomende trend per meetreeks is in een donkerdere tint gearceerd.

9.3 Bijlage C: Vergelijking trends verschillende meetjaren Theil-Sen resultaten

Parameter	Totaal					Tot 2018					Vanaf 2000				
	Onder 95%	Mediane trend	Boven 95%	Conclusie	Mediane waarde	Onder 95%	Mediane trend	Boven 95%	Conclusie	Mediane waarde	Onder 95%	Mediane trend	Boven 95%	Conclusie	Mediane waarde
CI	-0,12	0,22	2,58	geen trend	42,05	-3,83	-2,55	-1,61	neerwaarts sig.	40,15	0,33	2,44	5,07	opwaarts sig.	40,88
EC	0,90	1,52	2,44	opwaarts sig.	52,50	-0,62	0,17	0,94	geen trend	52,25	1,07	1,89	3,37	opwaarts sig.	52,45
NH4	-0,08	-0,02	-0,01	neerwaarts sig.	0,22	-0,03	-0,01	0,00	geen trend	0,25	-0,10	-0,05	-0,02	neerwaarts sig.	0,21
NO3	-0,68	-0,57	-0,50	neerwaarts sig.	2,40	-0,78	-0,63	-0,45	neerwaarts sig.	2,63	-0,76	-0,63	-0,54	neerwaarts sig.	2,40
Norg	-0,26	-0,23	-0,20	neerwaarts sig.	1,15	-0,17	-0,14	-0,10	neerwaarts sig.	1,24	-0,35	-0,30	-0,24	neerwaarts sig.	1,14
N-totaal	-1,04	-0,93	-0,75	neerwaarts sig.	4,01	-1,08	-0,80	-0,72	neerwaarts sig.	4,37	-1,26	-1,10	-0,91	neerwaarts sig.	3,89
O2	-0,31	-0,14	-0,07	neerwaarts sig.	8,37	-0,49	-0,31	-0,21	neerwaarts sig.	8,37	-0,30	-0,07	0,05	geen trend	8,32
pH	0,00	0,05	0,08	geen trend	7,40	0,00	0,00	0,00	geen trend	7,38	0,00	0,09	0,13	geen trend	7,40
PO4	-0,02	-0,01	-0,01	neerwaarts sig.	0,04	-0,02	-0,01	0,00	neerwaarts sig.	0,05	-0,02	-0,01	-0,01	neerwaarts sig.	0,04
PP	-0,03	-0,02	-0,01	neerwaarts sig.	0,09	-0,02	0,00	0,01	geen trend	0,10	-0,03	-0,02	-0,01	neerwaarts sig.	0,09
P-totaal	-0,04	-0,02	-0,01	neerwaarts sig.	0,15	-0,02	0,00	0,00	geen trend	0,17	-0,06	-0,03	-0,02	neerwaarts sig.	0,14
SO4	-1,98	-0,31	0,00	geen trend	55,20	-2,42	0,00	0,00	geen trend	55,00	-1,11	0,00	0,87	geen trend	55,35
T	0,74	1,03	1,25	opwaarts sig.	13,00	0,60	0,88	1,17	opwaarts sig.	12,30	0,93	1,25	1,75	opwaarts sig.	13,75

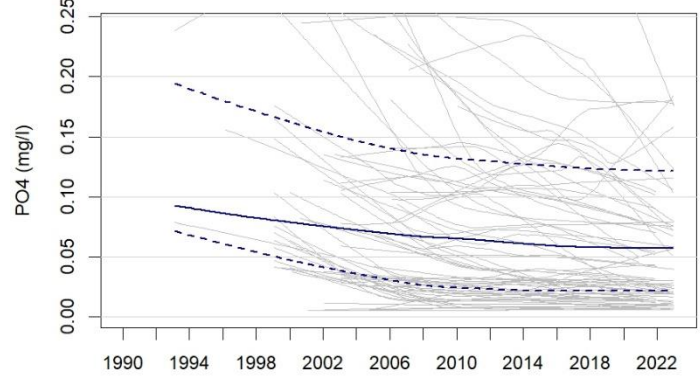
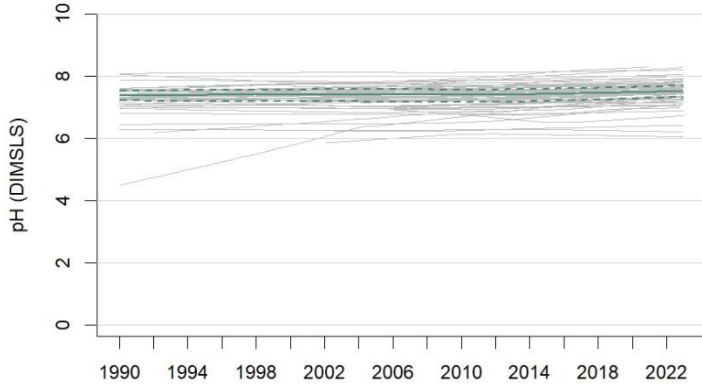
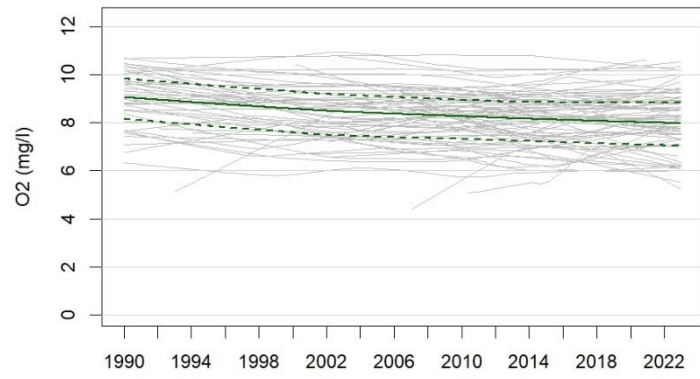
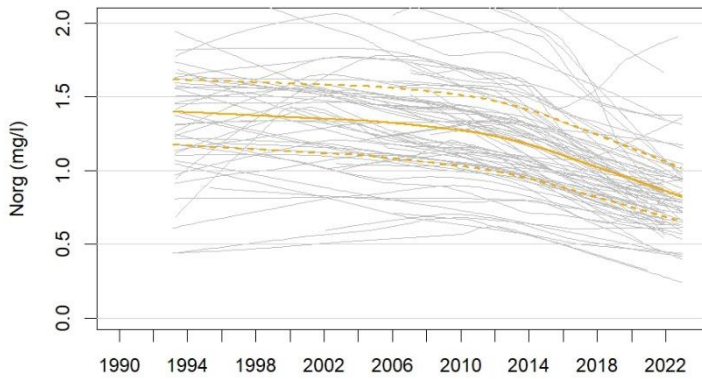
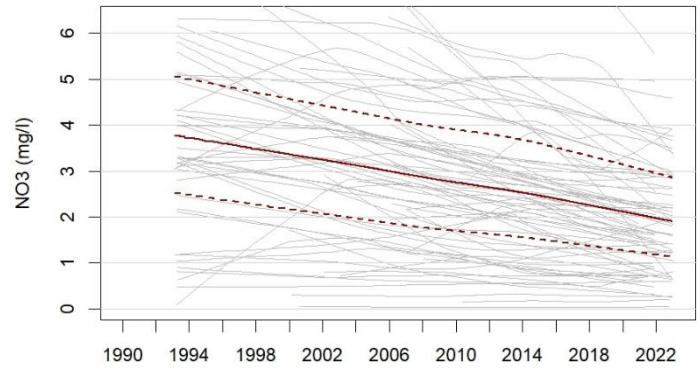
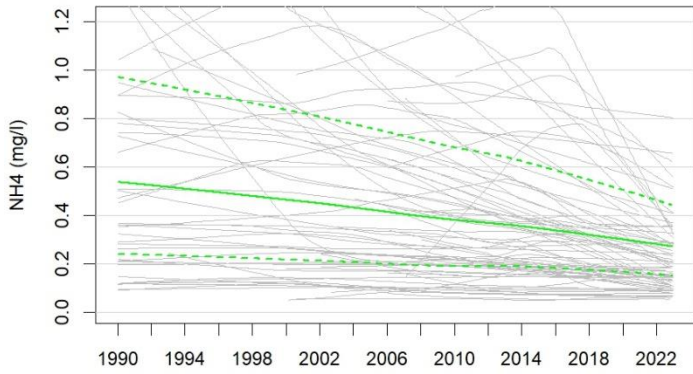
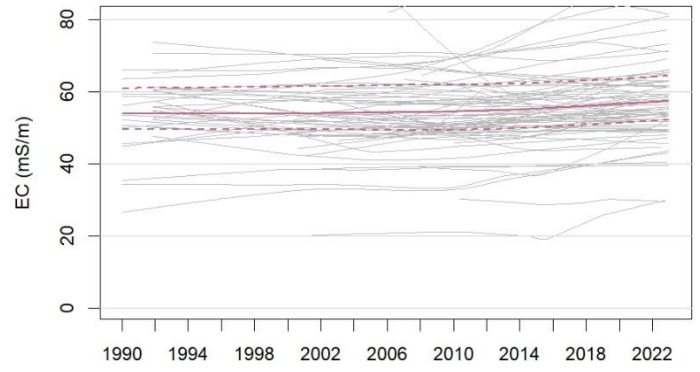
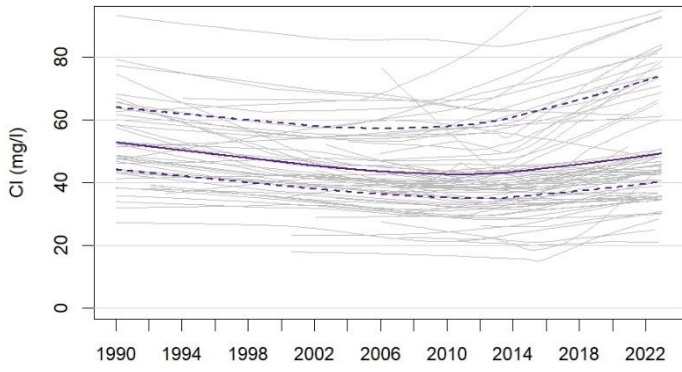
9.4 Bijlage D: Theil-Sen trendhellingen

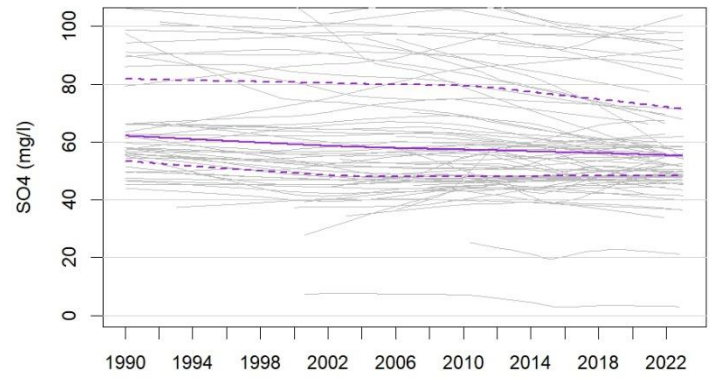
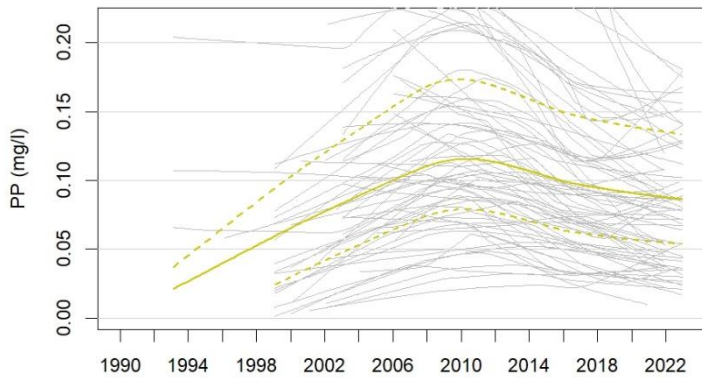




Figuur 9.1. De Theil-sen trendhellingen voor de parameters Cl, EC, NH₄, NO₃, organisch N (Norg), O₂, pH, PO₄, particulier P (PP), SO₄ en temperatuur (T). Voor NO₃, NH₄ en Norg is de eenheid mg N/l en voor PP en PO₄ is de eenheid mg P/l. De waarden van de y-as verschillen per parameter.

9.5 Bijlage E: LOWESS trendhellingen

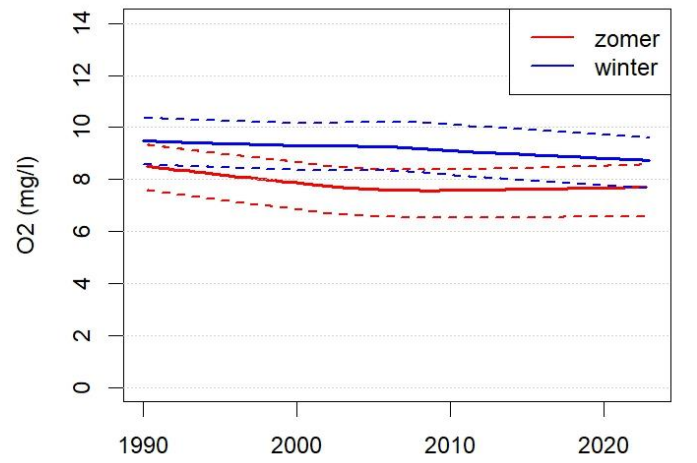
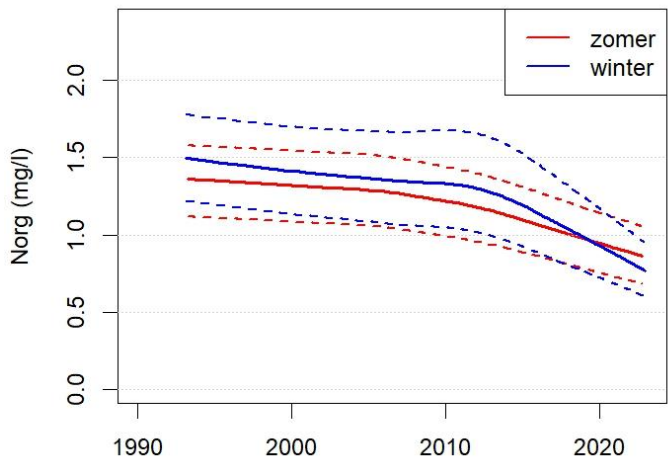
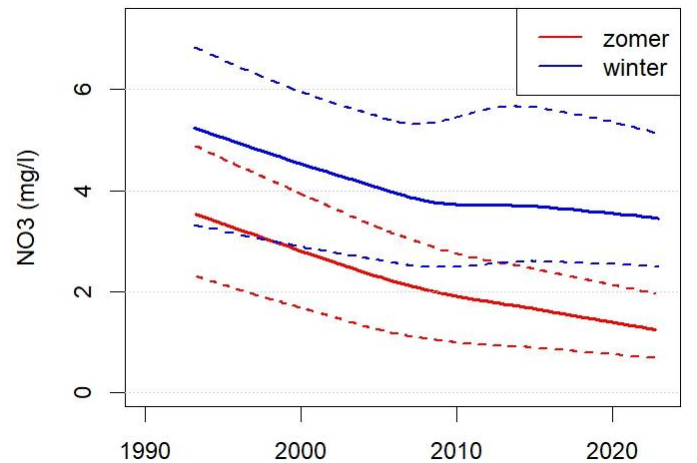
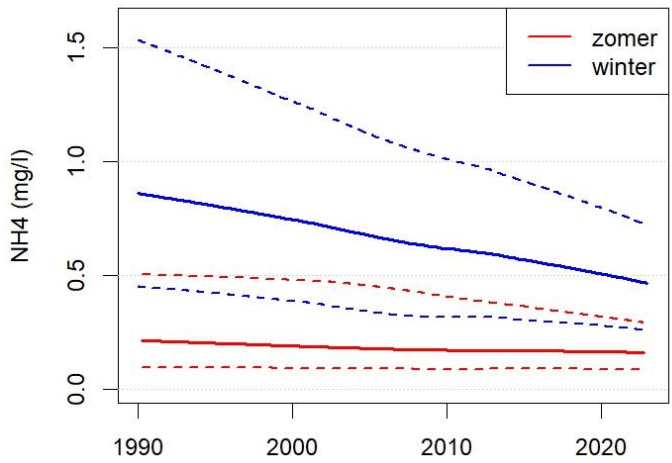
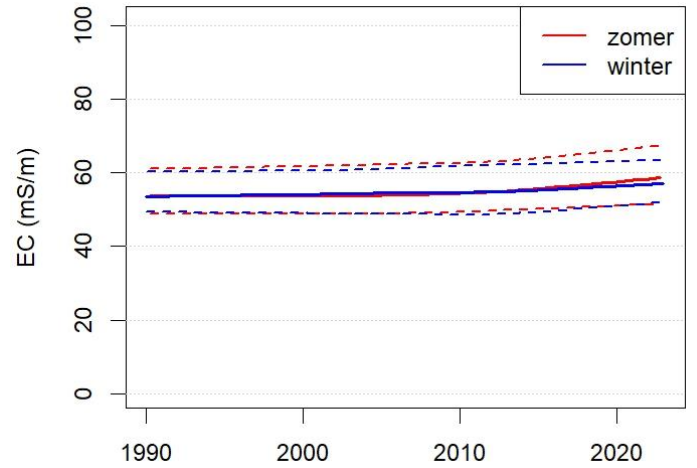
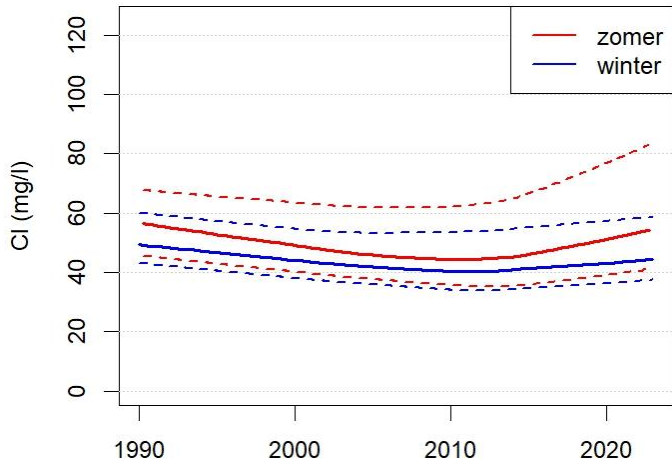


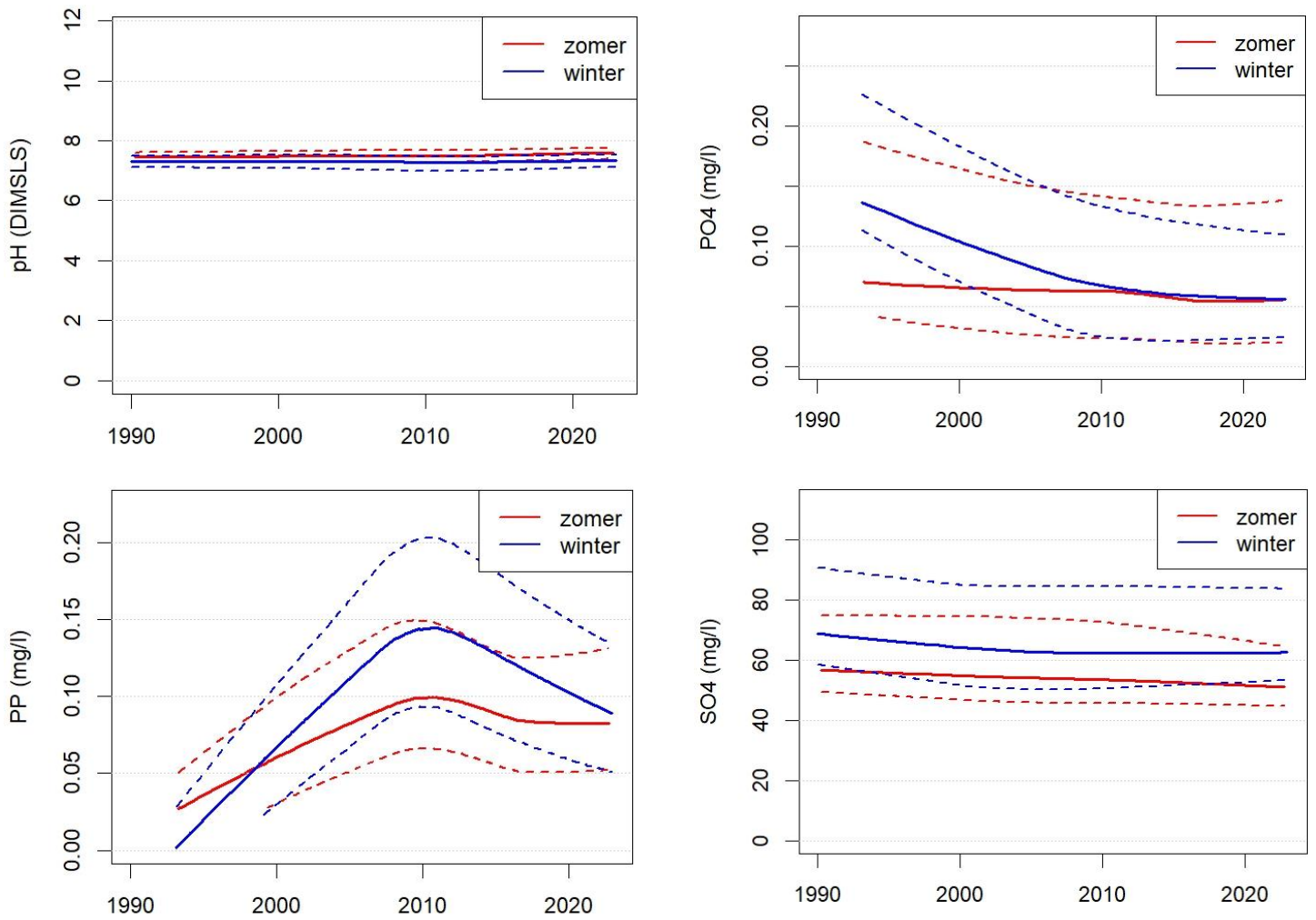


Figuur 9.2. De LOWESS-trendlijnen voor de parameters Cl, EC, NH₄, NO₃, organisch N (Norg), O₂, pH, PO₄, particulier P (PP) en SO₄. De grijze lijnen zijn de lijnen per locatie en de gekleurde lijnen zijn de geaggregeerde LOWESS-trendlijnen. Voor NO₃, NH₄ en Norg is de eenheid mg N/l en voor PP en PO₄ is de eenheid mg P/l.

9.6 Bijlage F: Vergelijking trends zomer en winter

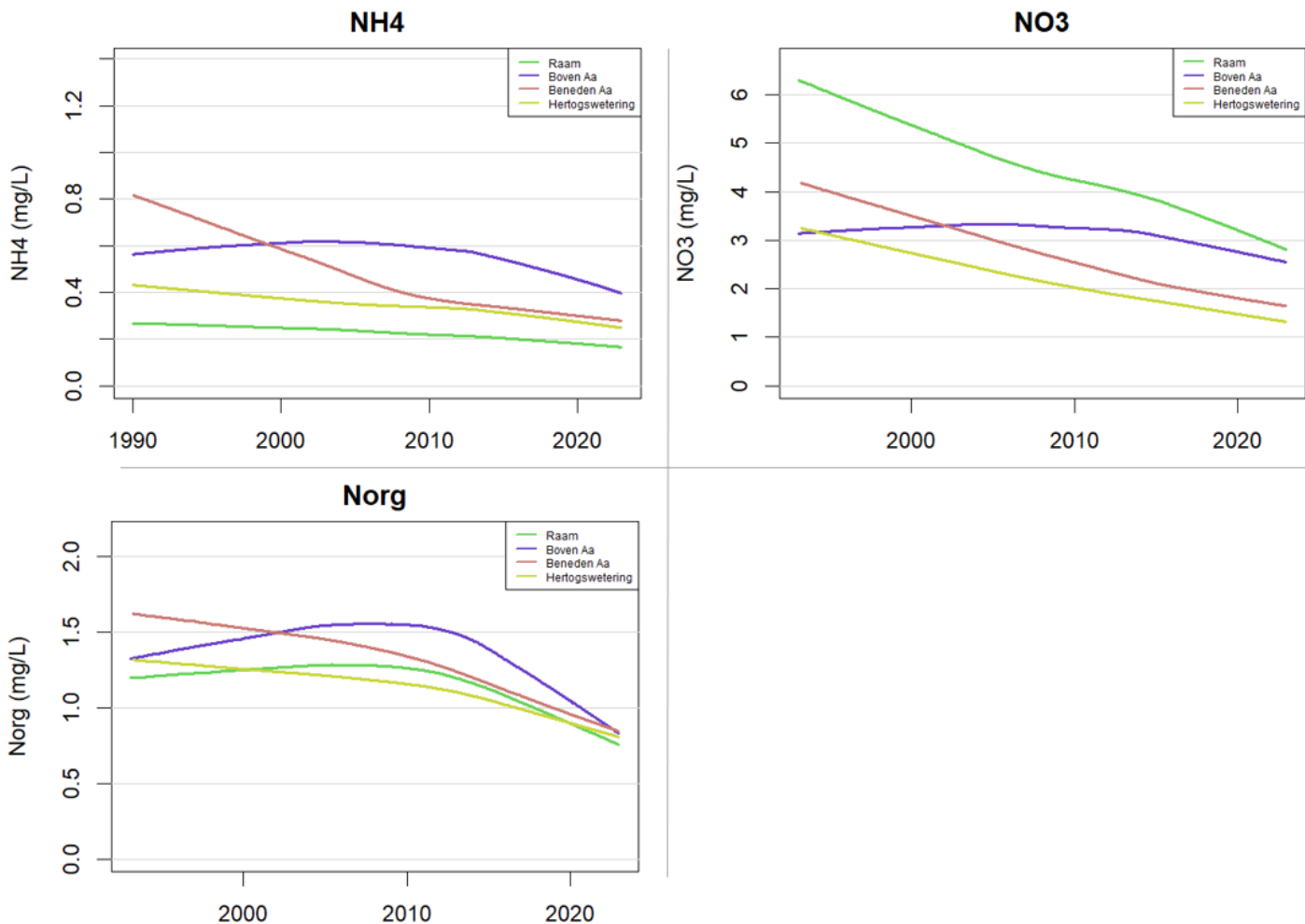
Parameter	Totaal						Winter						Zomer					
	Geen trend	Opwaarts	Neerwaarts	Onder / boven 95%	Mediane helling	Conclusie	Geen trend	Opwaarts	Neerwaarts	Onder / boven 95%	Mediane helling	Conclusie	Geen trend	Opwaarts	Neerwaarts	Onder / boven 95%	Mediane helling	Conclusie
CI	20	27	25	-0,12 / 2,58	0,22	geen trend	26	18	28	-1,83 / 1,63	0,00	geen trend	21	28	23	0,00 / 3,28	1,20	geen trend
EC	24	39	9	0,90 / 2,44	1,52	opwaarts sig.	42	23	7	0,21 / 1,44	0,93	opwaarts sig.	22	42	8	1,16 / 2,95	2,06	opwaarts sig.
NH ₄	26	5	41	-0,08 / -0,01	-0,02	neerwaarts sig.	27	6	39	-0,12 / -0,04	-0,07	neerwaarts sig.	30	5	37	-0,03 / 0,00	-0,01	neerwaarts sig.
NO ₃	18	1	53	-0,68 / -0,50	-0,57	neerwaarts sig.	30	1	41	-0,74 / -0,35	-0,54	neerwaarts sig.	18	2	52	-0,74 / 0,43	-0,61	neerwaarts sig.
Norg	10	0	62	-0,26 / -0,20	-0,23	neerwaarts sig.	21	0	51	-0,34 / -0,24	-0,27	neerwaarts sig.	12	1	59	-0,23 / -0,18	-0,20	neerwaarts sig.
N-tot	13	0	59	-1,04 / -0,75	-0,93	neerwaarts sig.	24	1	47	-1,18 / -0,74	-1,02	neerwaarts sig.	12	1	59	-1,04 / -0,74	-0,87	neerwaarts sig.
O ₂	42	12	18	-0,31 / -0,07	-0,14	neerwaarts sig.	48	6	18	-0,21 / 0,06	-0,07	geen trend	50	9	13	-0,20 / 0,07	-0,01	geen trend
PO ₄	23	3	46	-0,02 / -0,01	-0,01	neerwaarts sig.	28	3	41	-0,03 / -0,01	-0,02	neerwaarts sig.	29	5	38	-0,02 / 0,00	-0,01	neerwaarts sig.
PP	28	13	31	-0,03 / -0,01	-0,02	neerwaarts sig.	37	14	21	-0,03 / 0,00	-0,01	geen trend	33	7	32	-0,02 / -0,01	-0,01	neerwaarts sig.
P-tot	26	11	35	-0,04 / -0,01	-0,02	neerwaarts sig.	33	13	26	-0,04 / 0,00	-0,01	geen trend	28	7	37	-0,04 / -0,01	-0,02	neerwaarts sig.
SO ₄	29	12	31	-1,98 / 0,00	-0,31	geen trend	35	8	29	-2,99 / 0,00	-1,48	geen trend	34	14	24	-1,09 / 0,37	-0,45	geen trend
T	30	42	0	0,74 / 1,25	1,03	opwaarts sig.	45	27	0	0,20 / 0,50	0,32	opwaarts sig.	40	30	2	0,45 / 0,71	0,60	opwaarts sig.
pH	24	42	6	0,00 / 0,08	0,05	geen trend	40	30	2	0,00 / 0,05	0,00	geen trend	34	32	6	0,00 / 0,08	0,04	geen trend





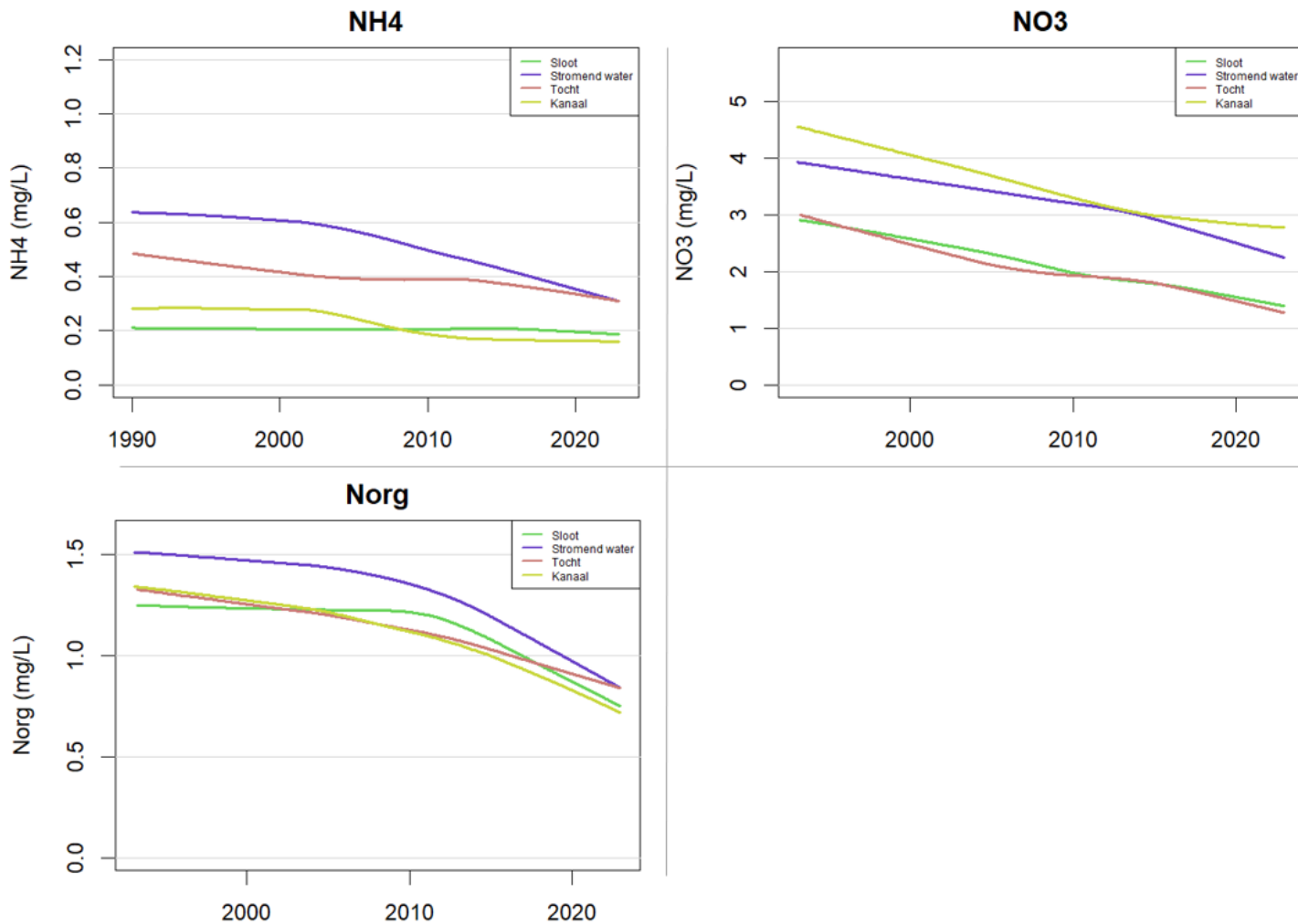
Figuur 9.3. De LOWESS-trendlijnen verdeeld over zomer en winter voor de parameters Cl, EC, NH₄, NO₃, organisch N (Norg), O₂, pH, PO₄, particulier P (PP) en SO₄. Voor NO₃, NH₄ en Norg is de eenheid mg N/l en voor PP en PO₄ is de eenheid mg P/l.

9.7 Bijlage G: LOWESS per district

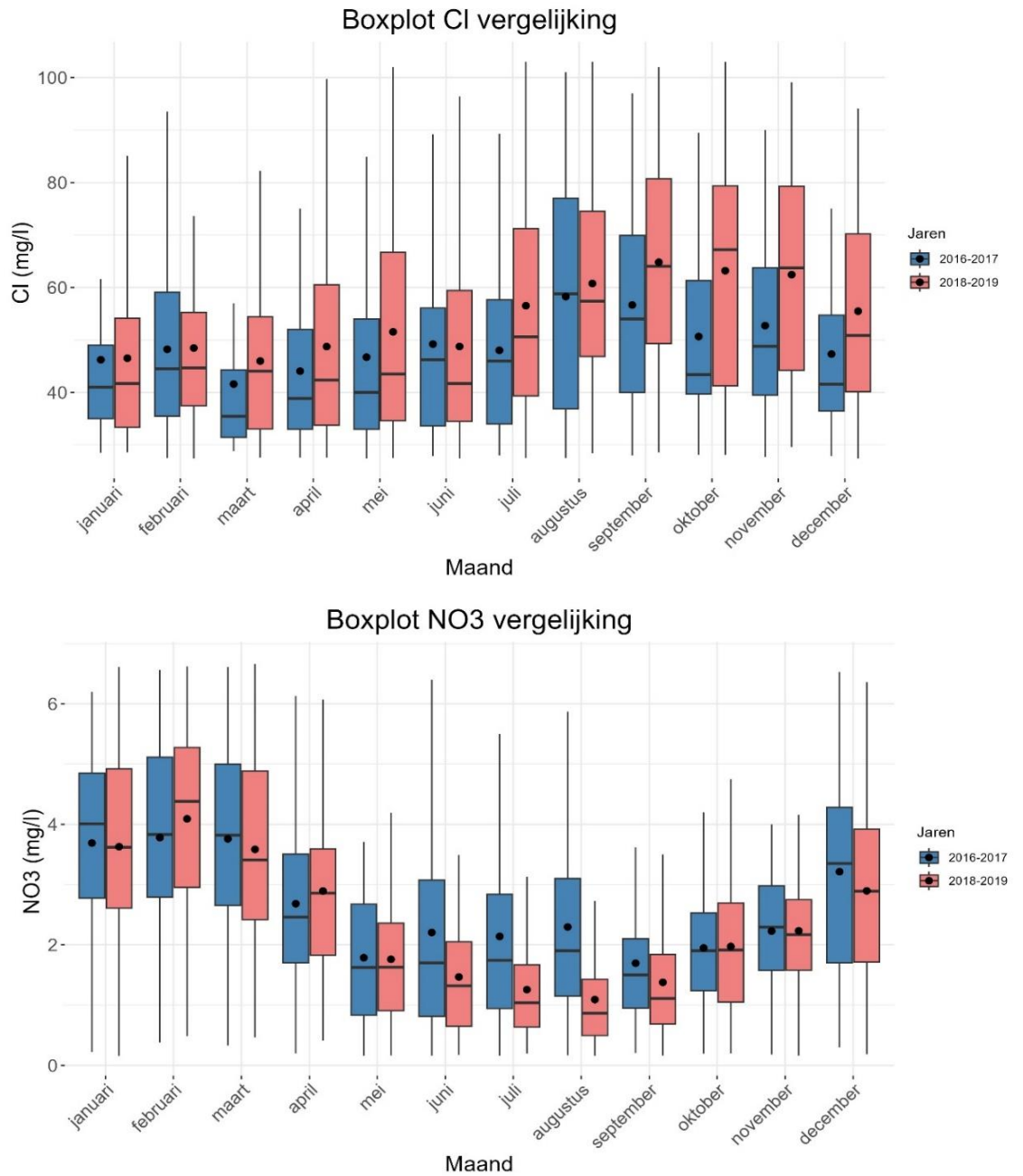


Figuur 9.4. De geaggregeerde LOWESSEN per district voor de parameters NH₄, NO₃ en Norg. Let op, de gegeven eenheid is in mg N/l.

9.8 Bijlage H: LOWESS per water type

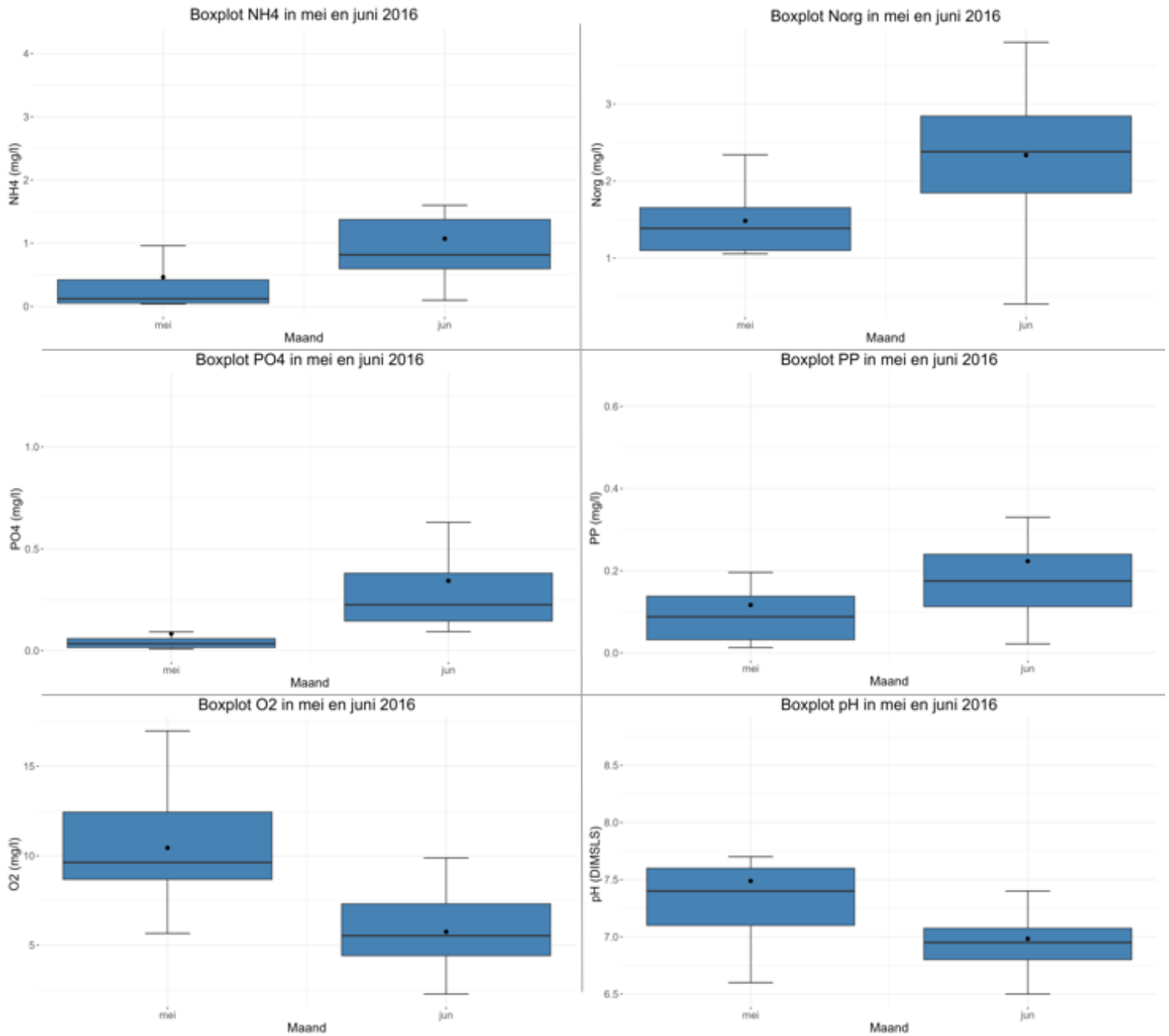


Figuur 9.5. De geaggregeerde LOWESSEN per type water voor de parameters NH4, NO3 en Norg. Let op, de gegeven eenheid is in mg N/l.



Figuur 9.6. Het verschil in de concentratie van Cl tussen 2016-2017 en 2018-2019 weergegeven als boxplots per maand.

9.10 Bijlage J: Reacties op extremen – 30 mei 2016



Figuur 9.7. De boxplots voor de concentratie in de maanden mei en juni 2016 voor een aantal parameters.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl