



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Meetgegevens in de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford

Een eerste data-analyse ten behoeve van het tussenrapport
Monitoring Stroomgebieden

Jan Roelsma, Patrick Bogaart en Christian Siderius

Alterra-rapport 1957, ISSN 1566-7197
Reeks Monitoring Stroomgebieden 19

Meetgegevens in de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het LNV-programma Beleidsondersteunend Onderzoek, cluster Mineralen en Milieukwaliteit

Projectcode BO-12.07-005-006

Meetgegevens in de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford

Een eerste data-analyse ten behoeve van het tussenrapport Monitoring Stroomgebieden

Jan Roelsma, Patrick Bogaart, Christian Siderius

Alterra-Rapport 1957

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Jan Roelsma, Patrick Bogaart, Christian Siderius, 2009. *Meetgegevens in de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford*. Wageningen, Alterra-Rapport 1957, .

Een eerste data-analyse ten behoeve van het tussenrapport Monitoring Stroomgebieden

Trefwoorden: Nutriënten, Monitoring Stroomgebieden, etc.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

©2009 Alterra

Postbus 47; 7600 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Normen en waterkwaliteit	13
3 Temporele analyse	15
3.1 Trends	15
3.2 Intra-annuele variatie	15
3.3 Stikstof	16
3.4 Fosfor	20
4 Ruimtelijke analyse	23
4.1 Stikstof	23
4.2 Fosfor	25
5 Aanvullende analyses	35
5.1 Correlatie neerslag en nutriëntenconcentraties	35
5.2 Drentse Aa: Fosfaatpieken oppervlaktewater en stikstofbelasting grondwater	37
5.3 Krimpenerwaard: Waterbodemp processen en een mogelijke bron van sulfaat	39
5.4 Drentse Aa: Uitspoeling uit landbouw en natuur	42
5.5 Schuitenbeek: Fosfaatpieken in het zomerhalfjaar	45
5.6 Quarles van Ufford: Landbouwuitspoeling en inlaatwater	47
6 Conclusies, discussie en vervolgstappen	51
6.1 Conclusies en discussie	51
6.2 Vervolgstappen	52
A Tijdreeksen	55
B kaarten	71

Woord vooraf

Deze rapportage ‘Meetgegevens in de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford’ vormt een onderdeel van het project ‘Monitoring Stroomgebieden’. Het primaire doel van het project is het leveren van een bijdrage aan de evaluatie van het mestbeleid door het kwantificeren van het aandeel van de landbouw in de belasting van het oppervlaktewater en de verandering van dit aandeel van de landbouw als gevolg van (mest)beleid in een aantal representatieve stroomgebieden in karakteristieke landschappelijke regio’s. Het secundaire doel is om een methodiek te ontwikkelen die het mogelijk maakt en perspectieven biedt om deze methodiek ook in andere stroomgebieden in te voeren.

Voor dit project zijn vier stroomgebieden geselecteerd: Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford. De waterbeheerders Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard, Waterschap Veluwe, Waterschap Rivierenland, Waterschap Hunze en Aa’s en Waterlaboratorium Noord participeren actief in dit project.

Het project wordt aangestuurd door een stuurgroep. In de stuurgroep hebben de Ministeries LNV, VROM en V&W als opdrachtgevers en de Unie van Waterschappen/de betrokken waterbeheerders zitting. Het project wordt uitgevoerd door Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte onderdeel van Wageningen Universiteit en Researchcentrum en Deltares.

Voor het kwantificeren van de landbouw in de belasting van het oppervlaktewater en de ontwikkeling van een monitoringsmethodiek is het noodzakelijk om een goed beeld te hebben van de waterkwaliteit. Een grondige analyse van de meetgegevens welke door de waterbeheerders in de vier stroomgebieden zijn verzameld is dan onontbeerlijk. Ten behoeve van het tussenrapport Monitoring Stroomgebieden (februari 2010) is in 2009 een eerste analyse verricht op de meetgegevens in de gebieden. In dit rapport wordt de oppervlaktewaterkwaliteit in ruimte en tijd voor de vier gebieden beschreven.

Voor informatie over het project Monitoring Stroomgebieden kunt u terecht op www.monitoringstroomgebieden.nl of bij:

Dorothee van Tol-Leenders
0317 - 48 42 79
dorothee.vantol-leenders@wur.nl

Frank van der Bolt
0317 - 48 64 44
frank.vanderbolt@wur.nl

Samenvatting

In de afgelopen zes jaar is er in het kader van het project Monitoring Stroomgebieden uitgebreid gemeten in de vier proefgebieden als aanvulling op de al aanwezige meetdata. In eerste instantie is deze data alleen gebruikt ter validatie van de in dit project gebruikte water- en nutriëntenmodellen. Ten behoeve van de Tussenrapportage Monitoring Stroomgebieden is nu ook een eerste aanzet gegeven voor een analyse van de meetgegevens zelf.

Op basis van de meetgegevens blijkt dat er grote verschillen in stikstof- en fosforconcentraties in de vier gebieden worden aangetroffen. De verschillen in meetwaarden tussen de gebieden zijn voor de fosforconcentraties groter dan voor de stikstofconcentraties. De waargenomen fosforconcentraties zijn in de Krimpenerwaard (veengebied) het hoogst; in de Drentse Aa (zandgebied) het laagst. In het gebied de Krimpenerwaard wordt zowel de stikstof- als de fosfornorm overschreden. In de Schuitenbeek alleen de fosfornorm. Voor de gebieden Drentse Aa en Quarles van Ufford blijven de waarnemingen binnen de norm of zijn gelijk aan de norm.

Voor zowel stikstof als fosfor worden, op basis van langjarige meetreeksen van de waterbeheerders, afnemende trends gedetecteerd. Op één enkele uitzondering na (fosfor in Quarles van Ufford) zijn al deze trends significant. De interannuele variatie (temporele variatie binnen een jaar) is aanzienlijk. In het algemeen zijn de concentraties stikstof in het winterhalfjaar hoger dan in het zomerhalfjaar. De relevantie hiervan is echter beperkt gezien het feit dat de normen strikt voor het zomerhalfjaar gelden, en er in het zomerhalfjaar sterke denitrificatie optreedt.

De uitsplitsing van totaal-stikstof in de verschillende componenten geeft, samen met de interannuele variatie, informatie over de herkomst van stikstof. In de Krimpenerwaard wordt gevonden dat stikstof in het zomerhalfjaar gedomineerd wordt door organisch stikstof, wat een aanwijzing is voor de veenbodem en -ondergrond zelf als een bron voor stikstof. De hoge concentraties nitraat in het zomerhalfjaar in Quarles van Ufford lijken het gevolg te zijn van inlaatwater uit de Maas. Ook in Schuitenbeek worden in het zomerhalfjaar hoge concentraties nitraat gemeten. Hiervoor ontbreekt een verklaring nog. Voor fosfor is de interannuele variatie relatief laag, met uitzondering van de Krimpenerwaard waar met name de zomerwaarden mineraal fosfor zeer hoog zijn. Een voorlopige analyse van andere relevante stoffen suggereert dat in dit gebied het in het winterhalfjaar uitspoelende fosfor op dat moment wordt geadsorbeerd in de waterbodem, om in het zomerhalfjaar onder zuurstofloze condities alsnog in het oppervlaktewater terecht te komen. Mogelijk speelt hierbij sulfaat, wat uit de veenondergrond afkomstig lijkt te zijn, een rol.

De ruimtelijke variatie in nutriënten verschilt per gebied. In de Drentse Aa en Schuitenbeek is zij hoog, en grotendeels gerelateerd aan het landgebruik. In de Krimpenerwaard is de ruimtelijke variatie laag, wat ook gerelateerd lijkt aan het uniforme landgebruik. In de polder Quarles van Ufford is de ruimtelijke variatie beperkt, en lijkt vooral in de zomer gerelateerd te zijn aan het inlaatwater.

Er is een aanvullende studie verricht in hoeverre neerslag, op verschillende tijdschalen, verklarend kan zijn voor de oppervlaktewaterconcentraties. De sterkste correlaties zijn gevonden in Quarles van Ufford, waar de uitspoeling van stikstof relatief sterk is gecorreleerd met neerslag op korte tijdschalen (regenbuien). Dit wordt verklaard vanuit het voorkomen van macroporiën in de hier aanwezige kleigronden. In Schuitenbeek wordt een sterke correlatie tussen fosfor en regenbuien gevonden, wat verklaard kan worden door het optreden van een lichte vorm van bodemerosie in dit zandgebied.

1 Inleiding

In de afgelopen zes jaar is er uitgebreid gemeten in de vier stroomgebieden van het project Monitoring Stroomgebieden als aanvulling op de al aanwezige meetdata. In eerste instantie zijn deze data alleen gebruikt ter validatie van de in dit project gebruikte water- en nutriëntenmodellen (zie o.a. de validatie rapportage van Walvoort et al., 2009). Ten behoeve van de Tussenrapportage Monitoring Stroomgebieden is nu ook een eerste aanzet gegeven voor een analyse van de data zelf.

Binnen het project Monitoring Stroomgebieden wordt geprobeerd antwoord te geven op een achttal beleidsvragen gericht op de relatie tussen mestbeleid en oppervlaktewaterkwaliteit. Deze eerste analyse van de gegevens is met name gericht op beleidsvraag 1 ('is er een waterkwaliteitsprobleem?'). In 2010/11 worden de beschikbare data verder geanalyseerd om interpretaties te kunnen maken over de routes en de bronnen van nutriënten (relevant voor beleidsvragen 2: 'oorzaak normoverschrijdingen', 3: 'effectiviteit van het mestbeleid', 5: 'effectiviteit aanvullende landbouwmaatregelen' en 6: 'effectiviteit oppervlaktewatermaatregelen').

In dit rapport zal eerst gekeken worden of de normen gehaald worden die voor de gemiddelde zomerconcentraties in de vier gebieden zijn opgesteld door de waterbeheerders. Een gemiddelde zegt echter weinig over de variatie in ruimte en tijd. In de hoofdstukken 3 en 4 zal hier afzonderlijk op ingegaan worden. In hoofdstuk 5 komen vervolgens nog een aantal specifieke en gebiedsbepalende kenmerken in de individuele gebieden kort aan bod. Zo wordt voor de Krimpenerwaard gekeken in hoeverre de metingen inzicht geven in de rol van sulfaat en inlaatwater op de waterbodemp processen. In de Drentse Aa en Schuitembeek zijn verschillen in uitspoeling vanuit landbouw en natuur duidelijk in de meetdata terug te vinden. In Quarles van Ufford is vervolgens gekeken in hoeverre meetpunten bij inlaten en in kleinere watergangen verschillen van de hoofdwatgangen.

Dit rapport vormt een eerste aanzet tot een uitgebreidere analyse tijdens de komende 1.5 jaar. De huidige dataset zal daarbij aangevuld worden met meer en specifiekere metingen in bodem en oppervlaktewater, o.a. met de inlaatconcentraties buitendijks in Quarles van Ufford en de veenbodem als bron van nutriënten in de Krimpenerwaard. Door deze meetdata te combineren met de inzichten vanuit de modellen zal tenslotte een antwoord gegeven kunnen worden op de verschillende beleidsvragen.

2 Normen en waterkwaliteit

Een belangrijke vraag voor waterbeheerders is in hoeverre er een waterkwaliteitsprobleem is als gevolg van te hoge stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater. Een manier om deze te beantwoorden, is door de waarnemingen te toetsen aan een grenswaarde (norm). Als de waarnemingen boven deze grenswaarde liggen, is sprake van een slechte waterkwaliteit. Als grenswaarden zijn de gebiedsgerichte normen uit de waterbeheersplannen (de zogenaamde normen voor Goed Ecologisch Potentieel, afgekort tot GEP) genomen (Tabel 2.1). Deze normen gelden voor het zomerhalfjaar (1 april – 30 september).

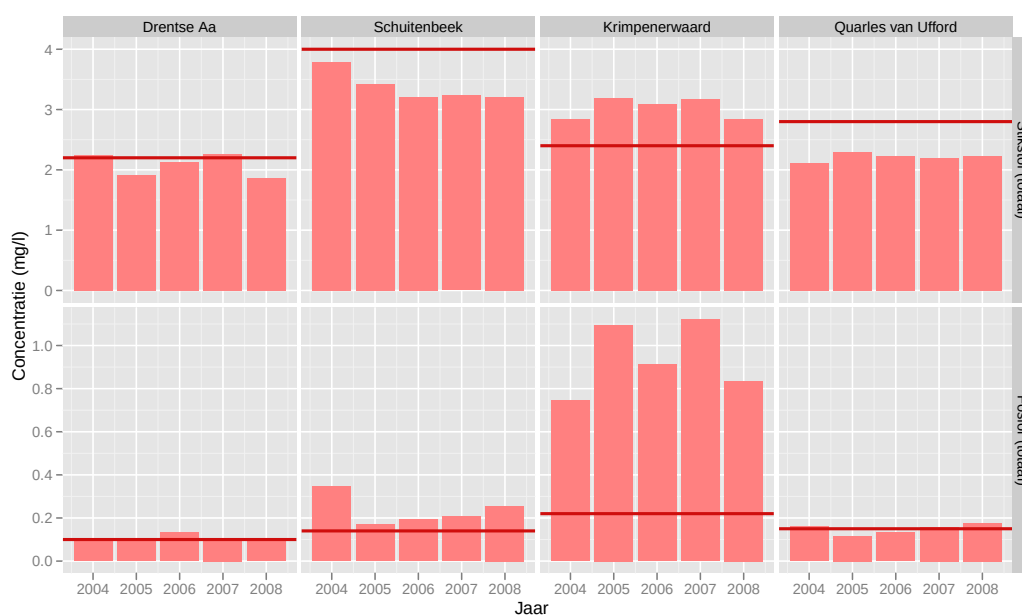
In Figuur 2.1 zijn de gemeten gemiddelde stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater voor het zomerhalfjaar voor de vier pilotgebieden weergegeven. Hieruit blijkt dat er grote verschillen in stikstof- en fosforconcentraties in de vier gebieden worden aangetroffen. De verschillen in meetwaarden tussen de gebieden zijn voor de fosforconcentraties groter dan voor de stikstofconcentraties. Zo zijn de waargenomen fosforconcentraties in de Krimpenerwaard (veengebied) veel hoger (factor 5–10) dan in de resterende gebieden. Deze zijn in de Drentse Aa (zandgebied) het laagst.

De normering heeft betrekking op het zomerhalfjaar. Tabel 2.2 laat zien dat in de Krimpenerwaard zowel de stikstof als de fosfornorm wordt overschreden. In de Schuitenbeek alleen de fosfornorm. De zomerhalfjaar gemiddelden in de Drentse Aa en Quarles van Ufford zijn vrijwel gelijk aan de fosfornorm, maar blijven binnen de stikstofnorm.

Bij nadere bestudering van de meetgegevens blijken er meer variaties te zien, zowel in de tijd als ruimtelijk. Zo variëren de nutriëntenconcentraties sterk in zomer

Tabel 2.1: Gebiedsgerichte normen (GEP) voor de vier pilotgebieden. De normen gelden voor de gemiddelde concentratie gedurende het zomerhalfjaar (april–september)

Gebied	Totaal-stikstof mg/l	Totaal-fosfor mg/l
Drentse Aa	2,2	0,08 – 0,10
Schuitenbeek	4,0	0,14
Krimpenerwaard	2,4	0,22
Quarles van Ufford	2,8	0,15



Figuur 2.1: Gemeten zomergemiddelde concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in de vier pilotgebieden voor alle meetlocaties, per jaar. De rode lijnen geven de gebiedsspecifieke normen weer.

en winter. In de winterperiode zijn de stikstofconcentraties in de drie gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek en Krimpenerwaard min of meer gelijk en die in het kleigebied Quarles van Ufford lager. In de zomerperiode zijn juist de concentraties in de Drentse Aa het laagst. Uit deze en andere variaties in de meetgegevens is potentieel veel informatie te halen die bijdraagt aan het inzicht over de processen die spelen in een stroomgebied. In de volgende hoofdstukken wordt hier verder op ingegaan.

Tabel 2.2: Gemeten zomerhalfjaargemiddelde stikstof- en fosforconcentraties voor de periode 2004–2008 in de vier proefgebieden, vergeleken met de GEP normen. Normoverschrijdingen zijn in vet aangegeven.

Gebied	Totaal stikstof (zomerhalfjaargemiddelde)		Totaal fosfor (zomerhalfjaargemiddelde)	
	Gemeten (mg/l)	Norm (mg/l)	Gemeten (mg/l)	Norm (mg/l)
Drentse Aa	2,1	2,2	0,11	0,10
Schuitenbeek	3,4	4,0	0,24	0,14
Krimpenerwaard	3,0	2,4	0,90	0,22
Quarles van Ufford	2,2	2,8	0,15	0,15

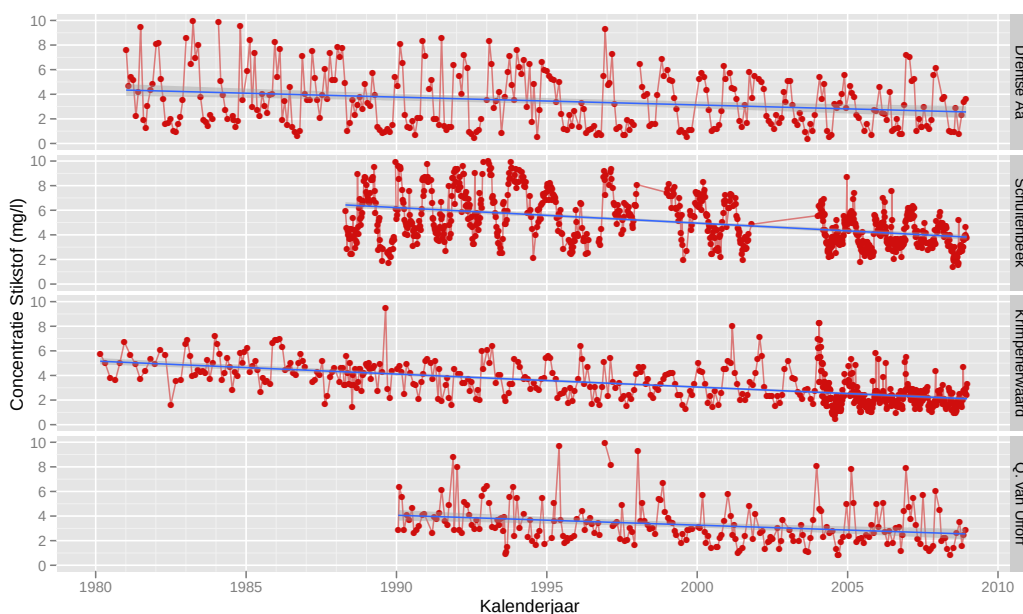
3 Temporele analyse

3.1 Trends

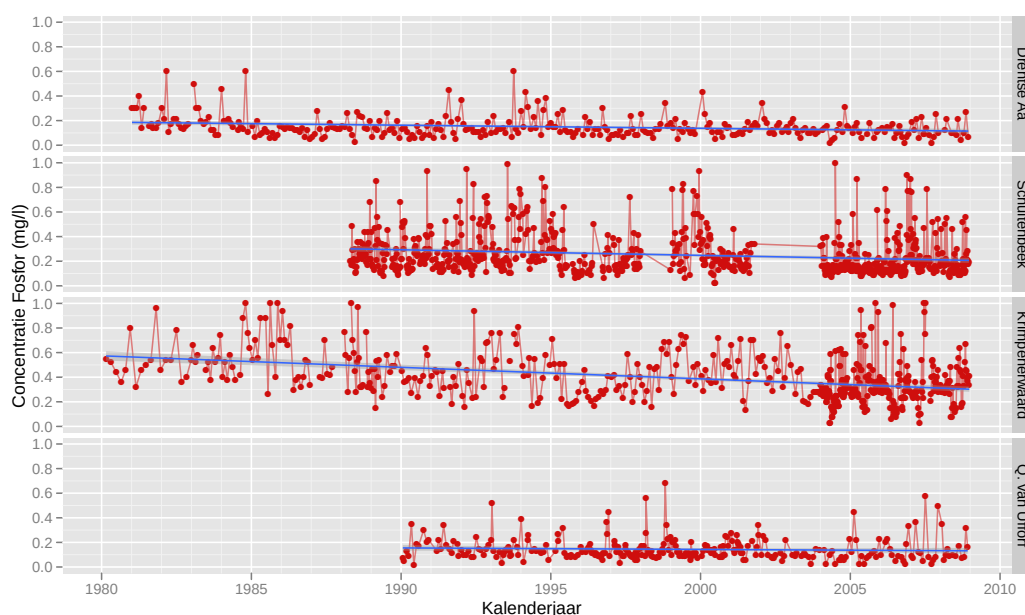
Uit langjarige meetreeksen van de waterbeheerders (Figuren 3.1 en 3.2) blijkt dat er in alle vier de pilotgebieden een significante daling van de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater optreedt. De enige uitzondering is fosfor in de polder Quarles van Ufford, waar er wel een daling wordt gedetecteerd, maar waarbij de significantie van deze trend relatief laag.

3.2 Intra-annuele variatie

Bekijk je de meetgegevens wat gedetailleerder, bijvoorbeeld per maandgemiddelde waarde in plaats van per zomergemiddelde (Figuren 3.3 en 3.4) dan wordt duidelijk dat de zomer- en wintergehalten sterk verschillen. Ook verschijnen er soms pieken. In het gebied Quarles van Ufford lijken de fosforconcentraties relatief



Figuur 3.1: Trendanalyse van het totaal-stikstofgehalte voor de meest dominante uitstroompunten van de vier pilotgebieden. De schaduw rondom de trendlijn geeft het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de trendlijn aan.

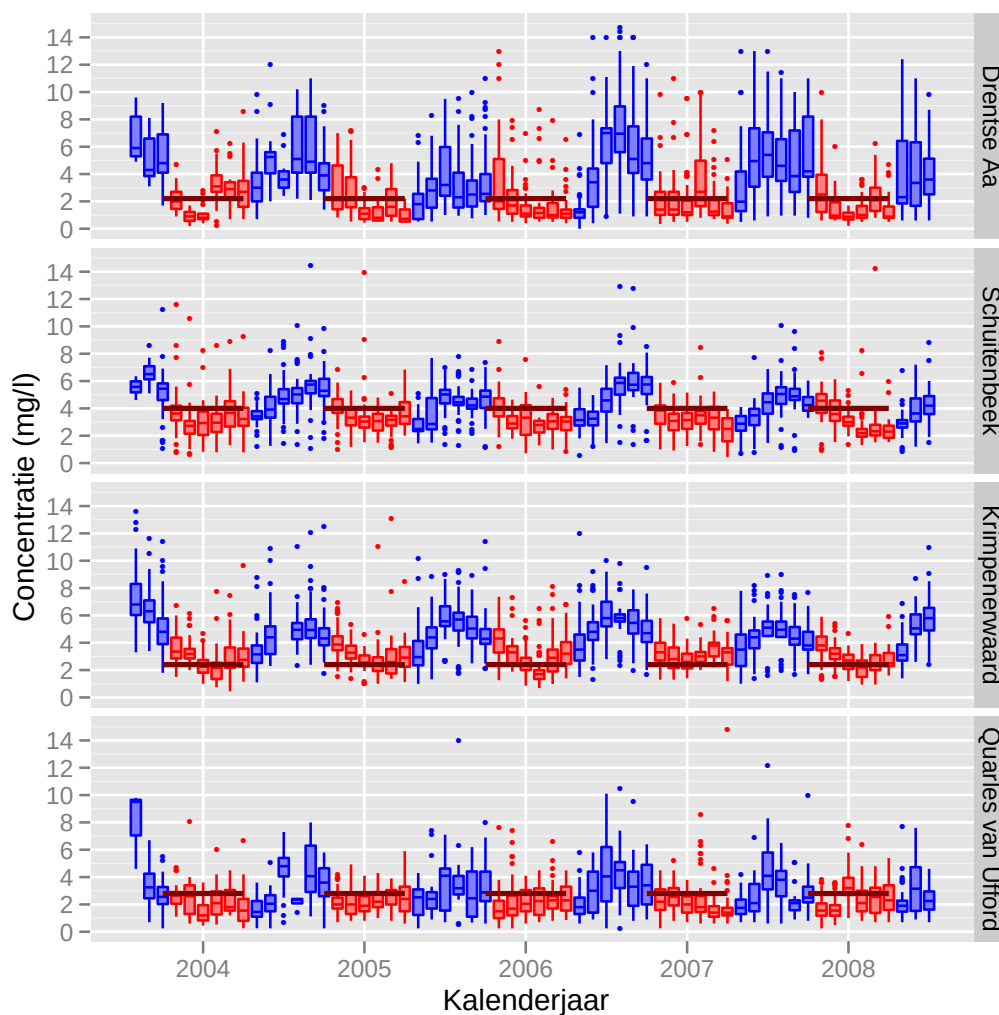


Figuur 3.2: Trendanalyse van het totaal-fosforgehalte voor de meest dominante uitstroompunten van de vier pilotgebieden. De schaduw rondom de trendlijn geeft het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de trendlijn aan.

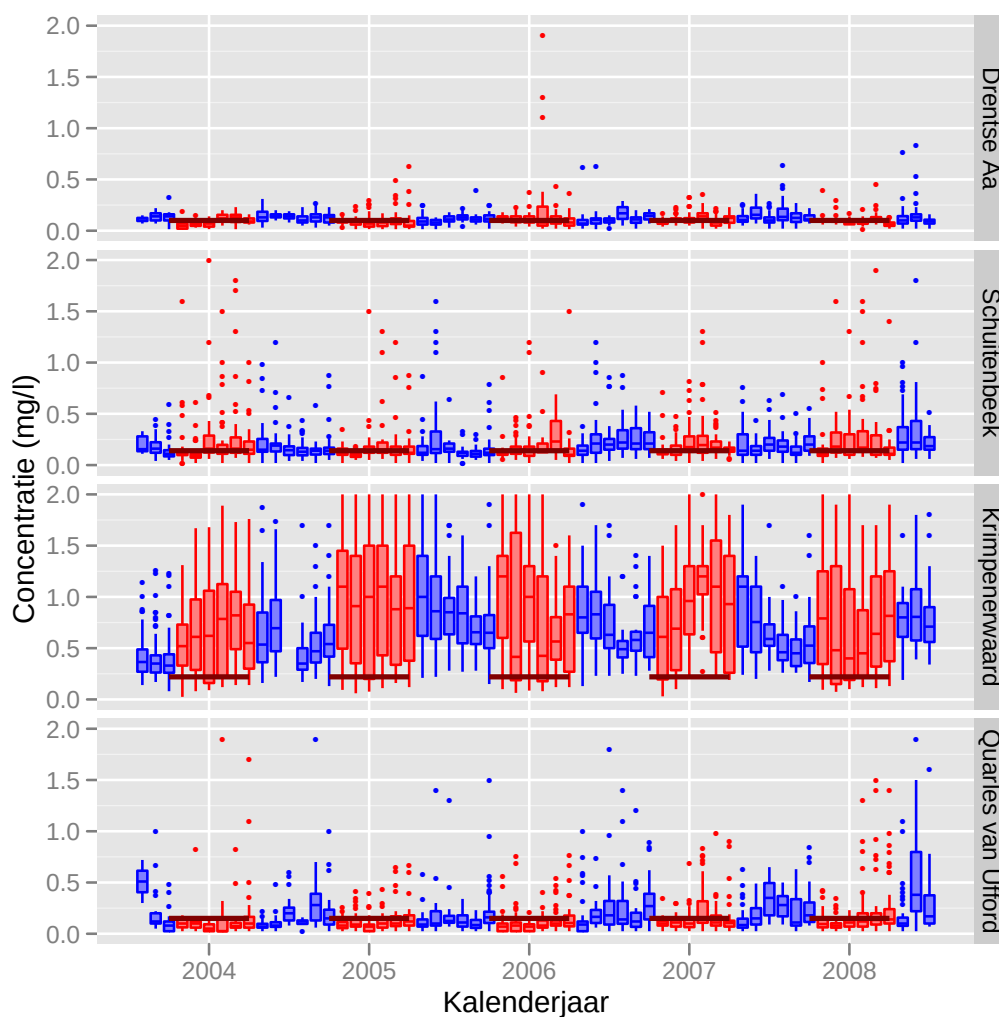
laag te zijn, zelfs meestal onder de norm, maar de pieken die voorkomen kunnen van groot ecologisch belang zijn. Iets vergelijkbaars gebeurt met de stikstofconcentraties in de Drentse Aa: vaak onder de norm, maar soms even flink er boven. Duidelijk wordt dat een enkele meting op een willekeurig tijdstip in het jaar weinig zegt over de variatie in concentraties gedurende een jaar.

3.3 Stikstof

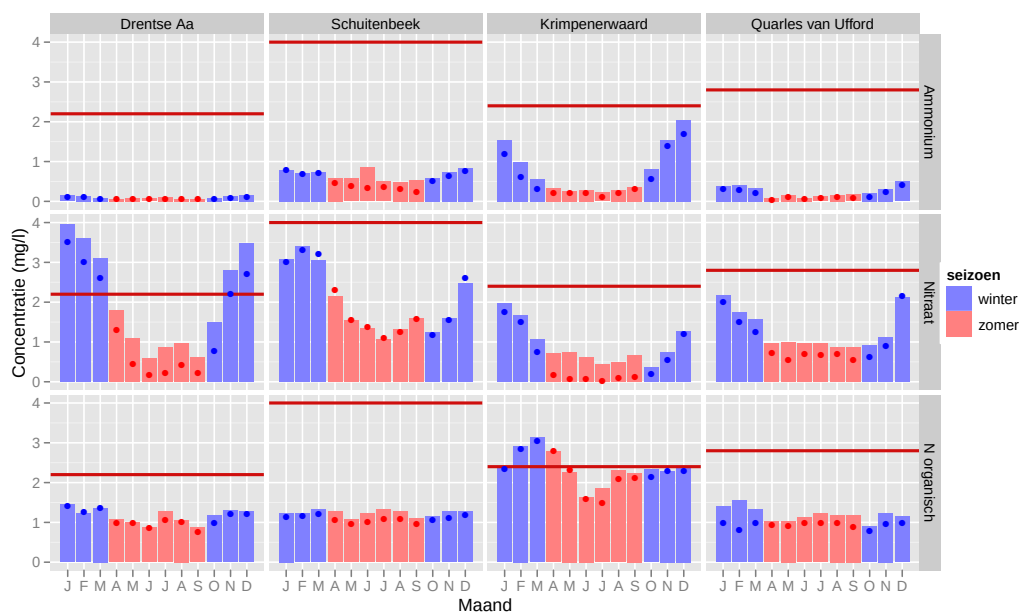
In Figuur 3.5 zijn de gemeten gemiddelde maandelijkse concentraties van de afzonderlijke stikstofcomponenten (ammonium, nitraat, organische stikstof) in het oppervlaktewater in de vier gebieden weergegeven. Hieruit blijkt ondermeer dat in de Drentse Aa nagenoeg geen ammonium in het oppervlaktewater wordt aangetroffen. Waardoor dit wordt veroorzaakt en of dit gerelateerd kan worden aan bronnen (landbouw, kwel) is vooralsnog niet duidelijk. In de Krimpenerwaard worden de hoogste ammoniumconcentraties in de winterperiode gemeten. De hoogste nitraatconcentraties worden in de winterperiode in de zandgebieden (Drentse Aa en Schuitenbeek) gemeten. Het verschil is wel dat in de Drentse Aa de nitraatconcentraties in de zomerperiode richting 0 mg/l gaan, terwijl die in de Schuitenbeek niet onder de 1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ komen. In de Krimpenerwaard en Quarles van Ufford blijven de waargenomen nitraatconcentraties in de winterperiode laag (ten opzichte van de zandgebieden). In de zomerperiode wordt in de



Figuur 3.3: Gemeten maandstatistieken van de stikstofconcentraties in het oppervlaktewater voor de vier pilotgebieden voor de periode 2004–2008 voor alle meetlocaties opgesplitst in zomer (rood) en winter (blauw). De donker rode lijnen geven de gebiedsspecifieke norm weer.



Figuur 3.4: Gemeten maandstatistieken fosforconcentraties in het oppervlaktewater voor de vier pilotgebieden voor de periode 2004–2008 voor alle meetlocaties opgesplitst in zomer (rood) en winter (blauw). De donkerrode lijnen geven de gebiedsspecifieke norm weer.



Figuur 3.5: Gemeten gemiddelde maandelijkse ammonium-, nitraat en organischestikstofconcentratie in het oppervlaktewater in de vier gebieden over de periode 2004–2008.

Krimpenerwaard nagenoeg geen nitraat in het oppervlaktewater aangetroffen; in Quarles van Ufford ligt deze rond de 1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$. In de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek en Quarles van Ufford wordt door het gehele jaar een stabiele fractie organische stikstof van ca. 1 mg/l N waargenomen.

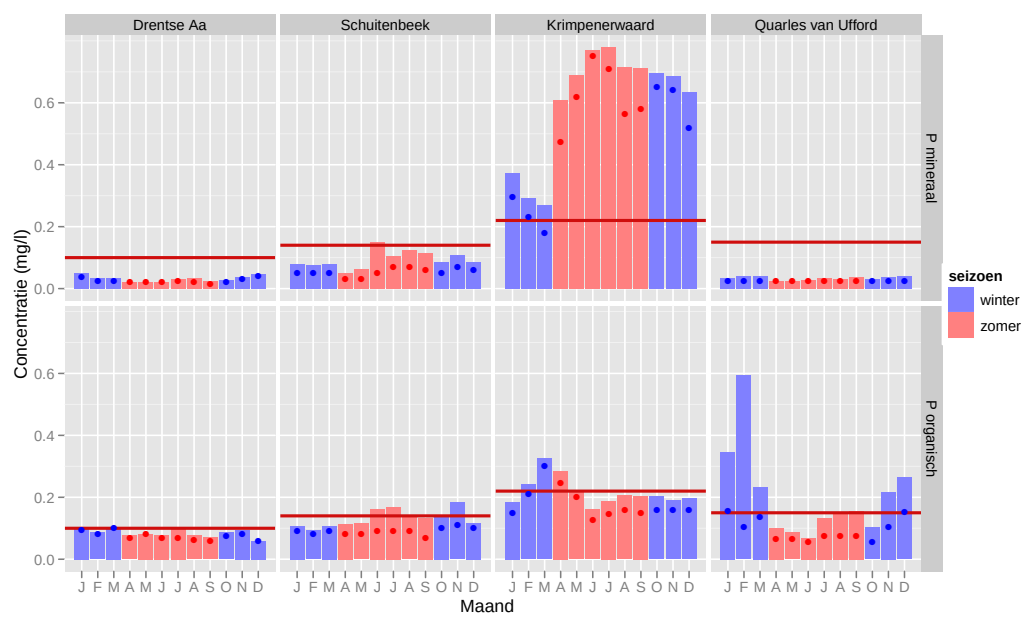
In de Krimpenerwaard wordt er wel een seizoensdynamiek gevonden met waarden van ca. 3 mg/l N in de winterperiode en ca. 1,5 mg/l N in de zomerperiode. De hogere organisch-stikstofconcentraties in de periode januari–april komen overeen met hogere gemeten organisch-fosforconcentraties in diezelfde periode (zie onderdeel fosfor). In diezelfde periode worden ook hogere concentraties chlorofyl-A (algen) gemeten. Een deel van de organische stikstof- en organische fosforconcentraties in deze periode is biomassa in de vorm van algen.

Voor stikstof zijn de verschillen in meetwaarden tussen de gebieden, met name voor het winterhalfjaar, minder groot. Zo zijn de waargenomen stikstofconcentraties in het winterhalfjaar voor de Drentse Aa, Schuitenbeek en Krimpenerwaard min of meer vergelijkbaar. Voor het gebied Quarles van Ufford (kleigebied) worden in het winterhalfjaar ten opzichte van de andere gebieden lagere stikstofconcentraties waargenomen.

3.4 Fosfor

In Figuur 3.6 zijn de gemeten gemiddelde maandelijks concentraties van de afzonderlijke fosforcomponenten (ortho-fosfaat en organischefosfor) in het oppervlaktewater in de vier gebieden weergegeven. Hieruit blijkt dat de hoge fosforconcentraties in de Krimpenerwaard hoofdzakelijk in minerale vorm (dus ortho-fosfaat) voorkomen. De lagere ortho-fosfaatconcentraties in periode januari–maart in de Krimpenerwaard valt samen met hogere gemeten chlorofyl-A concentraties (algenbloei). In diezelfde periode wordt juist een hogere organischefosforconcentratie gemeten. Een deel van deze verhoogde organischefosfor is biomassa van algen. De verhoogde ortho-fosfaatconcentraties in de zomerperiode wordt veroorzaakt door remobilisatie van fosfaat uit de waterbodem door zuurstofloze (gereduceerde) omstandigheden in de zomer.

In de gebieden Drentse Aa (zandgebied) en Quarles van Ufford (kleigebied) wordt in het gehele jaar lage ortho-fosfaatconcentraties gemeten. In Schuitenbeek zijn zowel de ortho-fosfaat- als de organischfosfaatconcentraties hoger dan in het andere zandgebied, de Drentse Aa, waardoor de fosforconcentraties ruwweg tweemaal hoger zijn. Opvallend zijn verder de hoge uitschieters van organischfosfaatconcentraties in Quarles van Ufford in de wintermaanden en dan met name in februari. Deze worden hoofdzakelijk veroorzaakt door extreme uitschieters in een meetpunt (PMW0187) met meerdere pieken rond de 5 mg/l en een uitschieter van meer dan 25 mg/l. Een duidelijke oorzaak voor deze pieken is niet achterhaald. Voor de volledigheid zijn de data niet uit de meetset verwijderd.



Figuur 3.6: Gemeten gemiddelde maandelijks ortho-fosfaat- en organischefosforconcentratie in het oppervlakterwater in de vier gebieden over de periode 2004–2008.

4 Ruimtelijke analyse

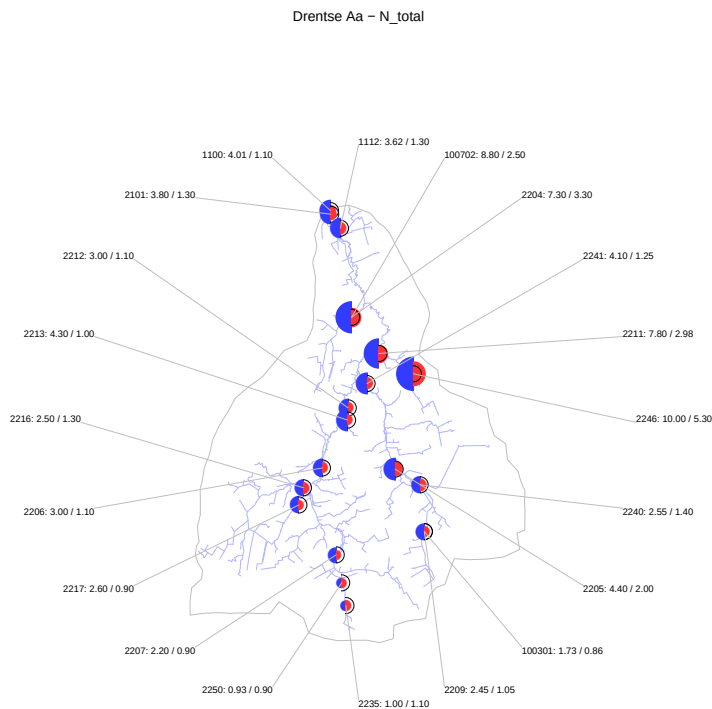
4.1 Stikstof

Niet alleen tussen de gebieden kunnen de verschillen in waargenomen nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater groot zijn, ook binnen een gebied kunnen deze verschillen groot zijn. Voor de Drentse Aa blijft de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie voor het zomerhalfjaar (2,1 mg/l totaal-stikstof) onder de norm van 2,2 mg/l totaal-stikstof (Tabel 2.2). Toch zijn er enkele locaties waar deze norm wel wordt overschreden (Figuur 4.1). Dit geldt voor het Zeegserloopje (meetlocatie 2204 en 100702) en het Anloërdiepje (meetlocatie 2211 en 2246). Daar staan weer andere locaties tegenover die ver onder de norm blijven (Amerdiep: meetlocaties 2235 en 2250).

Voor de Schuitenbeek blijft de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie voor het zomerhalfjaar (3,4 mg/l totaal-stikstof) onder de norm van 4,0 mg/l totaal-stikstof. Slechts op 1 meetlocatie wordt de norm overschreden (meetlocatie 25309; Figuur 4.2). Voor de Krimpenerwaard overschrijdt de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie voor het zomerhalfjaar (3,0 mg/l totaal-stikstof) de norm van 2,4 mg/l totaal-stikstof. Slechts een kwart van de meetlocaties in de Krimpenerwaard heeft een gemiddelde stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar welke onder de norm van 2,4 mg/l totaal-stikstof ligt (Figuur 4.3). Voor het gebied Quarles van Ufford blijft de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie voor het zomerhalfjaar (2,2 mg/l totaal-stikstof) onder de norm van 2,8 mg/l totaal-stikstof. Slechts 10% van de meetlocaties laat een overschrijding van de norm voor stikstof in het zomerhalfjaar zien (Figuur 4.4).

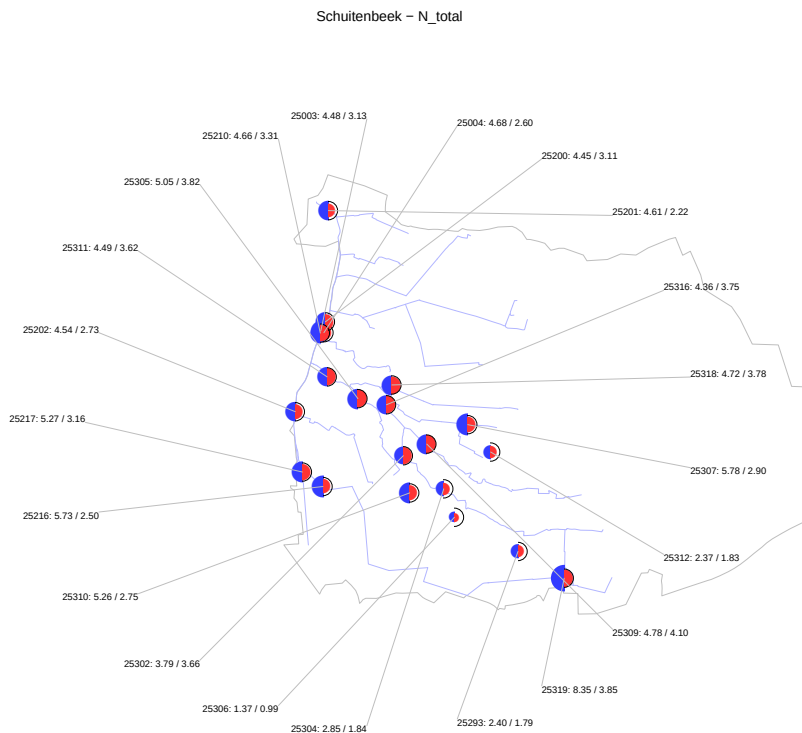
Opvallend is dat de ruimtelijke variatie in stikstofconcentraties groter is in de Drentse Aa dan voor de andere drie gebieden (Figuur 4.5). Met name de ruimtelijk variatie in de stikstofconcentraties in het winterhalfjaar is groot in de Drentse Aa (1–10 mg/l totaal-stikstof). Voor het gebied Quarles van Ufford is de ruimtelijke variatie in stikstofconcentraties het kleinst. De uniformiteit van het landgebruik (hoofdzakelijk grasland) en de grote invloed van inlaatwater op de nutriëntenconcentraties in het bemalingsgebied zijn hiervoor mogelijke verklaringen.

Een ander opmerkelijk verschil tussen de gebieden is de verhouding in stikstofconcentratie tussen het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar (Figuur 4.6). De zomerconcentraties in het oppervlaktewater is een afspiegeling van de processen die plaatsvinden in het oppervlaktewater. Ook hier heeft de Drentse Aa de grootste verhouding gemiddelde winterconcentratie/zomerconcentratie (2,51). Voor de gebieden Schuitenbeek, Quarles van Ufford en Krimpenerwaard ligt deze ver-



Figuur 4.1: Gemiddelde gemeten winterhalfjaar (blauw) en zomerhalfjaar (rood) totaal-stikstofconcentratie in het oppervlaktewater van de Drentse Aa. De normwaarde voor het zomerhalfjaar is als een cirkel weergegeven.

houding lager (respectievelijk 1,55, 1,54 en 1,75). De scherpe daling van de gemeten stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar in de Drentse Aa geven aan dat hier de vastleggings- en omzettingsprocessen (opname door vegetatie; afbraak door waterbodem; etc.) in dit gebied een belangrijke rol spelen. De langere verblijftijden van water in het beekstelsysteem (onder meer door meandering van de Drentse Aa) ten opzichte van de Schuitembeek speelt hierbij een rol. Uit de modelstudie van Fase 3 is gebleken dat de gemiddelde verblijftijd van water in de zomerperiode 14 dagen is in de Drentse Aa, tegen 4 dagen in de Schuitembeek. De verhouding winter/zomerconcentratie is niet constant binnen het stroomgebied. Meetlocaties in de bovenloop lijken een grotere verhouding winterconcentratie/zomerconcentratie te hebben dan benedenstroomse meetlocaties. Opvallend in Quarles van Ufford is dat er een tweedeling lijkt te zijn in meetlocaties. De meetlocaties die meer 'bovenstrooms' (een lastige term in een poldergebied) gelegen zijn hebben net zoals de andere gebieden lagere zomerconcentraties. Een deel van de meetlocaties heeft echter zomerconcentraties die gelijk of zelfs hoger zijn dan de winterconcentraties, uniek binnen de vier stroomgebieden. Dit lijkt met name veroorzaakt te worden door de inlaat van water vanuit de Maas in de



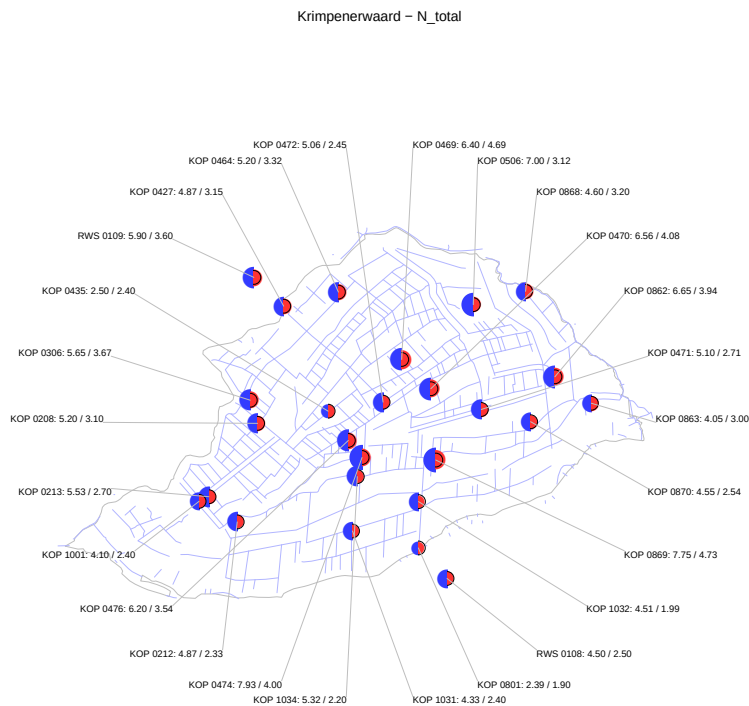
Figuur 4.2: Als Figuur 4.1, voor Schuitembeek.

zomer wat een constante instroom van nutriënten oplevert. Het zijn de meetlocaties bij de inlaatpunten in het zuiden van het stroomgebied die dit effect het sterkste laten zien (Figuur 4.4).

In Tabel 4.1 worden de verschillen in de onderdelen van het watersysteem samengevat. Voor de Krimpenerwaard wordt voor de gemiddelde zomerstikstofconcentratie een significant verschil tussen de inlaatwateren, de A- en de B-watergangen gevonden. Voor de fosforconcentratie worden significante verschillen in zowel de Krimpenerwaard als Quarles van Ufford gevonden. Deze polders laten water van buiten de polder in waarvan de nutriëntenconcentraties dus duidelijk anders zijn dan wat in de polders aanwezig is.

4.2 Fosfor

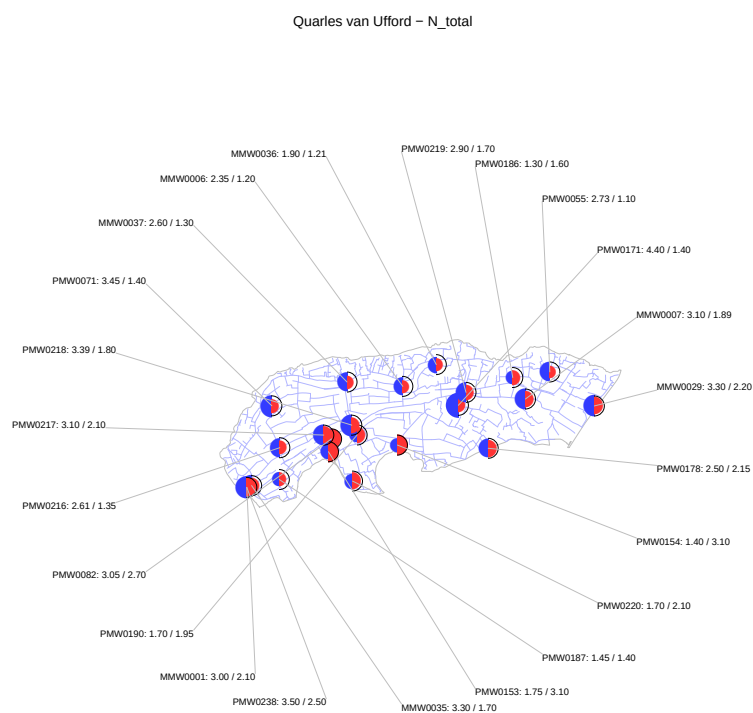
Voor de Drentse Aa komt de gemiddelde waargenomen fosforconcentratie voor het zomerhalfjaar overeen met de norm van 0,10 mg/l totaal-fosfor (Figuur 2.1). Ook ruimtelijk gezien is dit beeld, in tegenstelling tot stikstof, constant. In de Schuitembeek is ruimtelijk wel variatie in de gemeten fosforconcentraties. Opval-



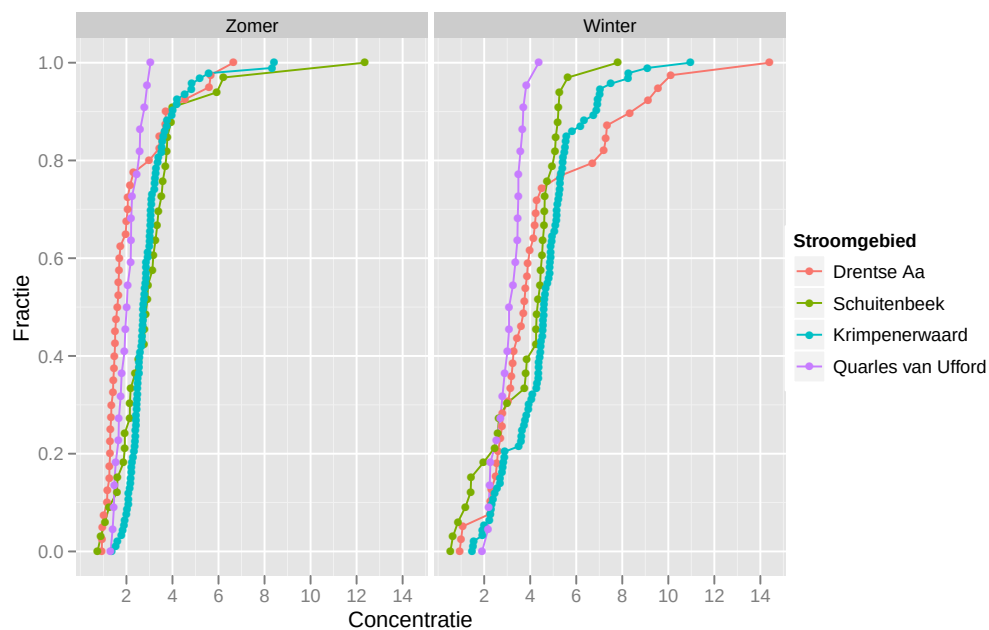
Figuur 4.3: Als Figuur 4.1, voor de Krimpenerwaard.

lend hierbij is dat voor een aantal locaties juist hogere fosforconcentraties in het zomerhalfjaar worden aangetroffen.

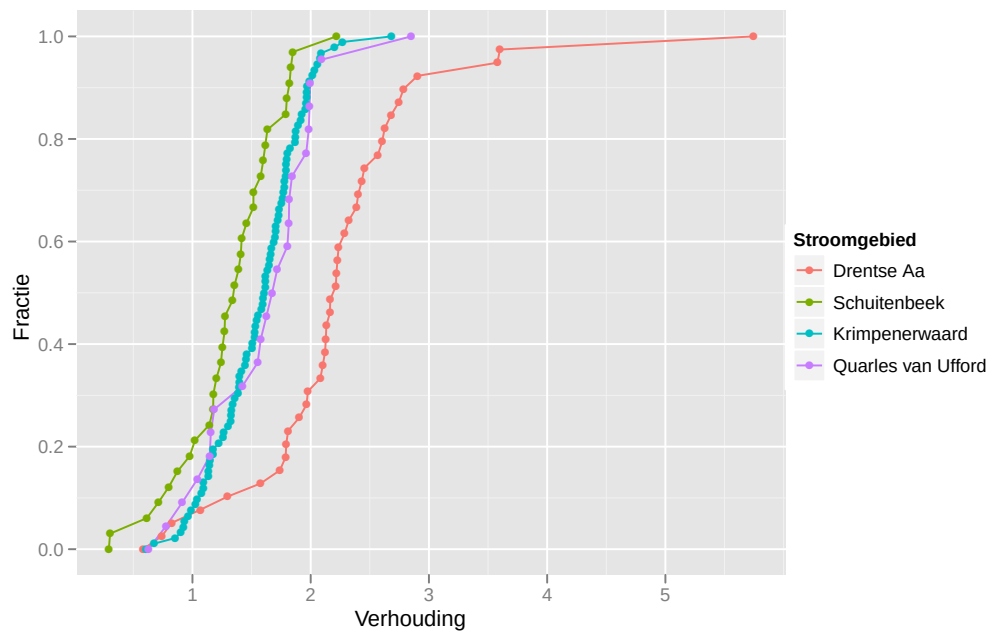
In Quarles van Ufford is er één meetlocatie die een duidelijke overschrijding van de fosforconcentraties in het zomerhalfjaar laat zien, meetlocatie PMW0190. Dit is een van de vier meetlocaties in een B-watergang in Quarles van Ufford. De overige drie (PMW0186, PMW0187, PMW0220) zitten onder de norm maar laten wel in het winterhalfjaar hogere fosforconcentraties zien dan de overige meetpunten in de A-watergangen. Opvallend is verder dat één van de meetlocaties bij een inlaatpunt (PMW0154) veel lagere fosforconcentraties heeft dan de andere inlaatpunten. Mogelijk speelt retentie in de recreatieplas waar het Maaswater doorheen moet voordat het de polder in stroomt hier een rol. Op dit moment lopen aanvullende metingen door Waterschap Rivierenland om dit te verifiëren.



Figuur 4.4: Als Figuur 4.1, voor Quarles van Ufford.



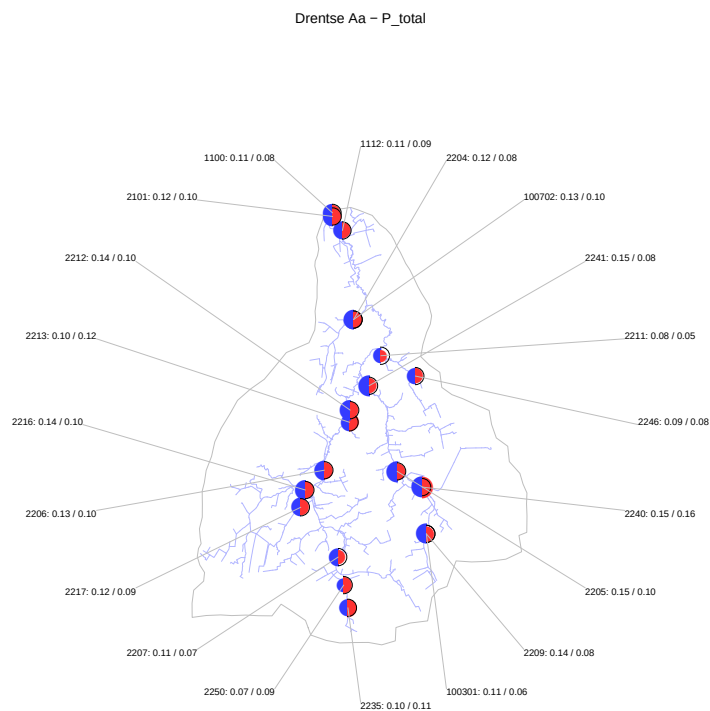
Figuur 4.5: Cumulatieve zomer- (links) en winterconcentraties (rechts) voor stikstof in het oppervlaktewater voor de vier gebieden.



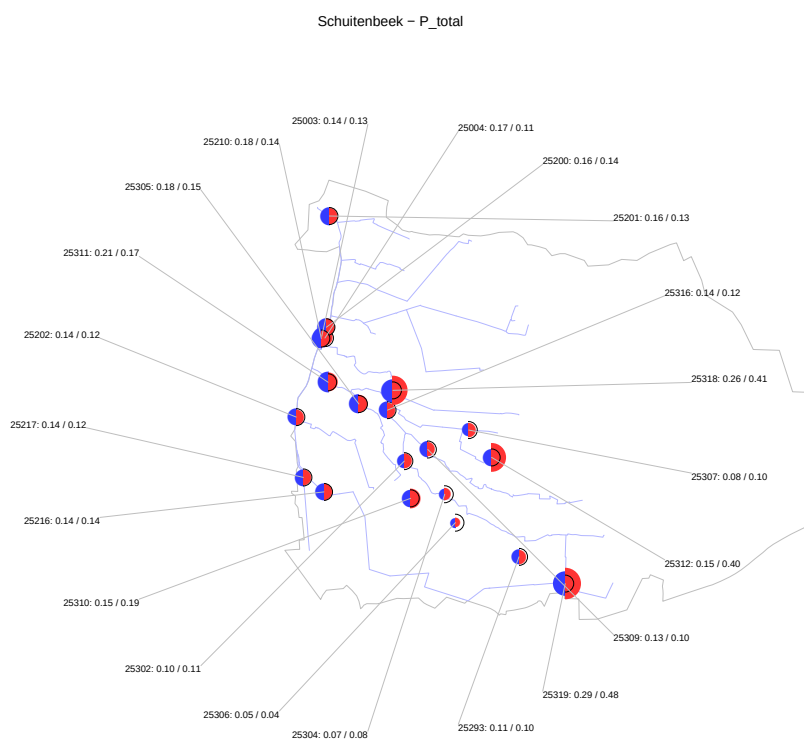
Figuur 4.6: Verhouding stikstofconcentratie winterhalfjaar/zomerhalfjaar in het oppervlaktewater van de vier gebieden.

Tabel 4.1: Gemiddelde stikstof- en fosforconcentratie in het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar voor de vier pilotgebieden onderverdeeld naar onderdelen binnen de beek- en poldersystemen.

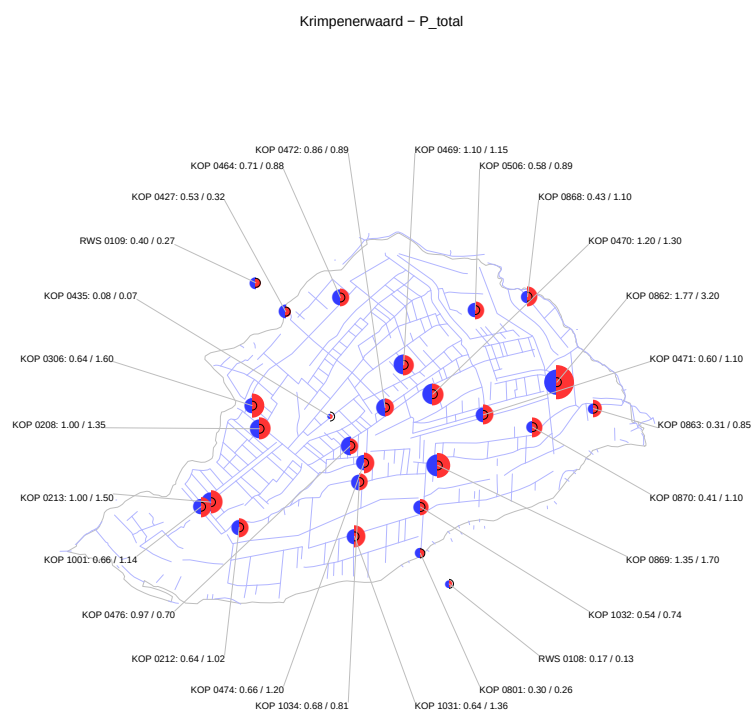
	Zomerhalfjaargemiddelde stikstofconcentraties		
	Benedenstrooms	Bovenstrooms	
Drentse Aa	1.619 (1.482–1.696)	2.607 (0.936–5.591)	
Schuitenbeek	3.394 (3.394–3.394)	3.646 (1.072–6.221)	
	A-waterlopen	B-waterlopen	Nabij inlaten
Krimpenerwaard	2.822 (2.217–3.969)	3.650 (2.482–4.838)	2.576 (1.924–3.229) *
Quarles van Ufford	1.908 (1.400–2.904)	2.322 (1.916–2.597)	2.422 (1.672–3.046)
	Zomerhalfjaargemiddelde fosforconcentraties		
	Benedenstrooms	Bovenstrooms	
Drentse Aa	0.099 (0.094–0.104)	0.123 (0.095–0.165)	
Schuitenbeek	0.193 (0.193–0.193)	0.381 (0.046–0.716)	
	A-waterlopen	B-waterlopen	Nabij inlaten
Krimpenerwaard	1.091 (0.815–1.459)	1.422 (0.746–3.267)	0.409 (0.345–0.473) *
Quarles van Ufford	0.104 (0.074–0.125)	0.342 (0.296–0.384)	0.126 (0.067–0.251) *



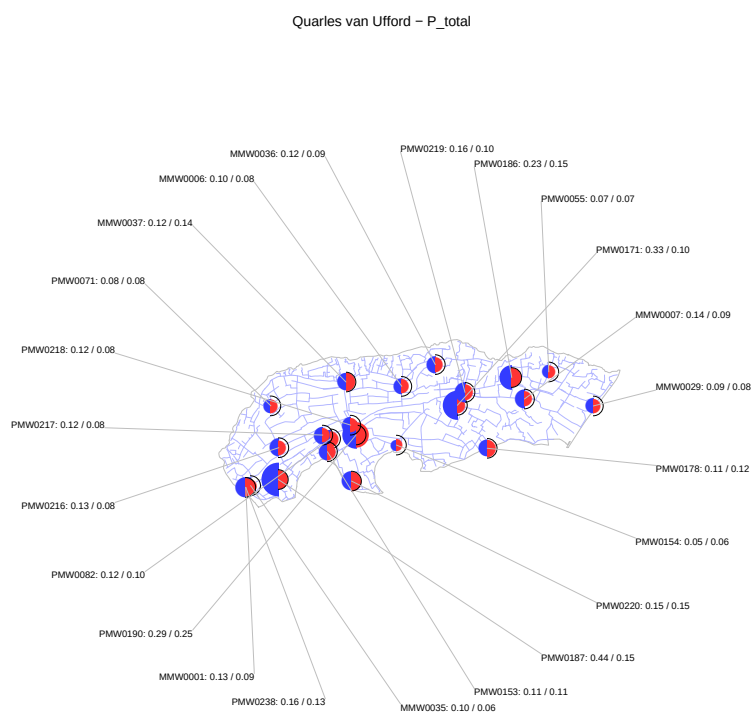
Figuur 4.7: Gemiddelde gemeten winterhalfjaar (blauw) en zomerhalfjaar (rood) totaal-fosforconcentratie in het oppervlaktewater van de Drentse Aa. De normwaarde voor het zomerhalfjaar is als een cirkel weergegeven.



Figuur 4.8: Als Figuur 4.7, voor Schuitenbeek.



Figuur 4.9: Als Figuur 4.7, voor de Krimpenerwaard.



Figuur 4.10: Als Figuur 4.7, voor Quarles van Ufford.

5 Aanvullende analyses

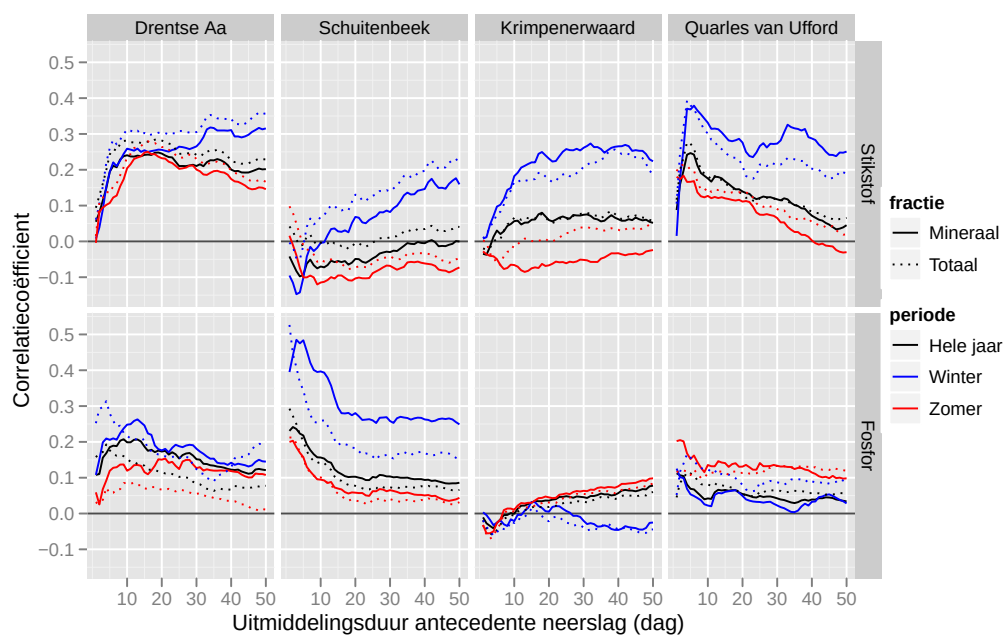
5.1 Correlatie neerslag en nutriëntenconcentraties

Nutriënten kunnen via verschillende routes in het oppervlaktewater terecht komen: direct via lozingen of inlaatwater, of indirect via afspoeling van het landoppervlak, via uitspoeling door de bodem of als kwel door de diepere ondergrond. Een grove inschatting van de relatieve bijdragen van deze laatste drie routes kan worden verkregen door te kijken naar de temporele dynamiek van de nutriëntconcentraties. Kwel is bijvoorbeeld een relatief ‘constant’ proces en zal dus niet snel resulteren in sterke temporele fluctuaties in oppervlaktewaterkwaliteit. Uiten afspoeling daarentegen worden aangestuurd door neerslag als drijvende kracht van de stoftransportprocessen. Het is dus interessant om te kijken in hoeverre er een relatie bestaat tussen neerslag en oppervlaktewaterkwaliteit.

Hiertoe hebben we gekeken welke correlatie er is tussen concentraties N en P (totaal en mineraal) en de neerslag op de dag van de meting, of gemiddeld over de x dagen daarvoor, waarbij x varieert tussen de 2 en 50 dagen. Een lage x representeert dus de intensiteit van afzonderlijke regenbuien of kortdurende buiïge periodes, terwijl een grote x de algehele natigheid gedurende een langere periode voorstelt. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 5.1.

Uit deze figuur blijkt ten eerste dat de correlaties over het algemeen laag zijn: de correlatiecoëfficiënt r is steeds lager dan 0.5. Dit duidt er op dat het verklarend vermogen van neerslag alléén beperkt is, zoals te verwachten is. Toch zijn er prominente verschillen tussen de vier proefgebieden aan te wijzen die aan specifieke processen en gebiedseigenschappen gekoppeld kunnen worden.

Ten eerste valt op dat de correlatie tussen stikstof en neerslag over het algemeen toeneemt met de tijdsduur waarover de antecedente neerslag bepaald wordt, waarbij de correlatie vrijwel 0 is bij de meest korte tijdsduur. Dit duidt er op dat er geen relatie is tussen de intensiteit van individuele regenbuien en de stikstofconcentratie. Dat is ook niet te verwachten aangezien stikstof via het relatief langzame bodemuitspoelproces in het oppervlaktewater terecht komt en individuele regenbuien weliswaar het uitspoelproces aanjagen, maar ook voor verdunning zorgen. Inderdaad zien we in de Krimpenerwaard, waar het oppervlak open water het grootst is van alle gebieden, negatieve correlaties, vooral tijdens het zomerseizoen. De uitzondering op dit gedrag vormt de kleipolder Quarles van Ufford. Hier vinden we wél een relatief sterke correlatie tussen stikstofconcentraties en neerslag op korte tijdschaal. Een verklaring zou kunnen zijn dat in deze kleipolder de bodemstructuur sterk wordt bepaald door macroporiën zodat regenbuien niet worden



Figuur 5.1: Tijdschaalafhankelijke meteorologische forcering van de oppervlaktewaterkwaliteit. Geplot is hoe nutriëntenconcentraties zijn gecorreleerd met antecedente neerslag, zoals bepaald met variable tijdsduur. Dit is gedaan voor zowel N en P en zowel de minerale fractie als de totale concentratie.

geabsorbeerd in de bodemmatrix, zoals in de overige gebieden, maar versneld tot uitspoeling leiden.

Het gedrag van fosfor is anders dan dat van stikstof. Over het algemeen zijn de correlaties vrij zwak en niet significant verschillend van 0. De sterkste correlaties vinden we in de Schuitembeek. Hier zijn de correlaties relatief sterk bij korte tijdschalen en neemt dan af met langere tijdschalen. Dit duidt er op dat de fosfaatconcentratie relatief sterk wordt bepaald door de intensiteit van individuele regenbuien. De meest voor de hand liggende verklaring is dat in de Schuitembeek het fosfaat deels gebonden is aan ijzerhoudend bodemmateriaal (voornamelijk zand) en dat tijdens stevige regenbuien het fosfaat met bodemmateriaal en al afspoelt naar het oppervlaktewatersysteem. Deze verklaring is in lijn met de internationaal heersende opvatting dat fosfaatbelasting in landbouwgebieden is gecorreleerd met bodemerosie. De meest zwakke correlaties tussen fosfor en neerslag vinden we in de Krimpenerwaard. Dit lijkt een logisch gevolg van de dominantie van de waterbodemp processen alhier.

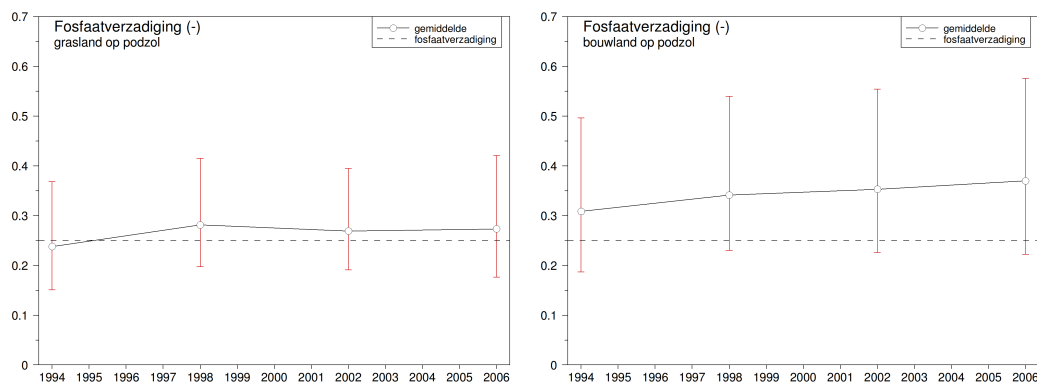
5.2 Drentse Aa: Fosfaatpieken oppervlaktewater en stikstofbelasting grondwater

Uit metingen van de fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater in de Drentse Aa blijkt dat er regelmatig hoge uitschieters in concentraties worden waargenomen. Deze pieken worden waargenomen in bovenstroomse landbouwgebieden, maar ook benedenstrooms komen ze voor. In het landbouwgebied in de Drentse Aa (Zeegserloopje) lijken de pieken in fosfaatconcentraties met name in het zomerhalfjaar voor te komen. Deze pieken in fosfaatconcentraties kunnen niet worden verklaard door de invloed van kwel, aangezien deze route een vrij constante aanvoer van nutriënten oplevert. De exacte bijdrage en rol van de kwel op de nutriëntenhuishouding in het oppervlaktewater van de Drentse Aa is nog onderdeel van nader onderzoek. Wel is het vermoeden dat kwel een grotere rol speelt voor de fosfaatconcentraties dan voor de stikstofconcentraties in het oppervlaktewater.

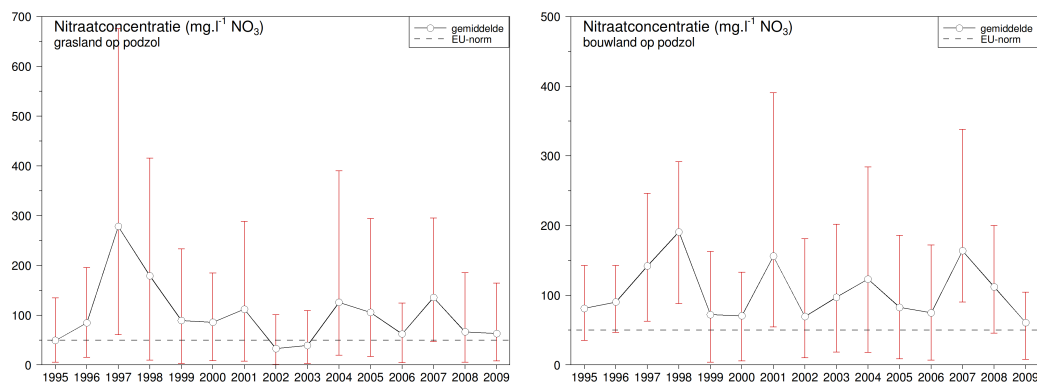
Een logische verklaring en route voor deze fosfaatpieken is het via het maaiveld afvoeren van water en nutriënten tijdens intensieve regenbuien. Echter, op basis van correlaties tussen de hoeveelheid neerslag en het voorkomen van pieken in nutriëntenconcentraties is voor de Drentse Aa geen relatie gevonden tussen de pieken in fosfaatconcentraties en neerslag (zie paragraaf 5.1). Een mogelijke verklaring hiervoor is het feit dat in deze studie gebruik is gemaakt van de neerslaggegevens van KNMI-neerslagstations (Roelsma et al., 2008). Deze neerslaggegevens hebben betrekking op de specifieke locatie van een neerslagstation en hebben geen ruimtelijke informatie. Door gebruik te maken van neerslagradargegevens zou de ruimtelijke informatie in neerslag wel in meer detail meegenomen kunnen worden.

Uit de metingen van het bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa komt naar voren dat het aandeel fosfaatverzadigde gronden in het stroomgebied van de Drentse Aa de afgelopen jaren toeneemt (Roelsma en Knotters, in prep; Figuur 5.2). Hiermee neemt het risico op uitspoelen van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater toe, zeker in combinatie met verhoogde kans op intensieve regenbuien door klimaats-effecten en ingrepen in de waterhuishouding in verband met het vasthouden van water. Uit de trendanalyse van het totaal-fosforgehalte in het uitstroompunt van de Drentse Aa (zie Hoofdstuk 3) blijkt dat het aantal malen per jaar dat de fosforconcentratie boven de 0,20 mg/l P-totaal (tweemaal de norm voor de Drentse Aa) uitkomt na 2005 is toegenomen. Dit effect hangt hoogstwaarschijnlijk samen met de toegenomen fosfaatgehalten in de bodem in het stroomgebied van de Drentse Aa.

Uit metingen van het bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa komt eveneens naar voren dat er een aanzienlijk deel van het stikstofbodemoverschot uitspoelt in de vorm van nitraat naar het freatisch (ondiep) grondwater. Voor de meetlocaties in de landbouwgebieden wordt over de periode 1995–2009 een gemiddelde nitraatconcentratie van ruim 100 mg/l NO_3 in de bovenste meter van het grondwater gevonden (Figuur 5.3). Dit is ruim boven de Europese nitraatrichtlijn van 50 mg/l



Figuur 5.2: Gemiddelde gemeten fosfaatverzadiging in de bodem voor meetlocaties in grasland op podzol (links) en bouwland op podzol (rechts). In rood is de spreiding in meetwaarden weergegeven.



Figuur 5.3: Gemiddelde gemeten nitraatconcentraties in het bovenste grondwater voor meetlocaties in grasland op podzol (links) en bouwland op podzol (rechts). In rood is de spreiding in meetwaarden weergegeven.

NO₃. Hoe de hoge stikstofbelasting van het grondwater uiteindelijk doorwerkt in de stikstofbelasting van het oppervlaktewater en via welke route dat loopt, is onderdeel van nader onderzoek. Feit is dat ondanks de hoge stikstofbelasting van het grondwater, de stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar (toetsperiode norm) in het oppervlaktewater van de Drentse Aa laag is. De hypothese is dat een combinatie van hoge stikstofretentie in het bodemsysteem (water- en stofstromen door veenbodems in de beekdalen) en hoge stikstofretentie in het oppervlaktewatersysteem (stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar een factor 2,5 lager dan concentraties in het winterhalfjaar) zorgt voor deze lage zomerconcentraties.

5.3 Krimpenerwaard: Waterbodemprocessen en een mogelijke bron van sulfaat

Fosfor gedraagt zich fundamenteel op andere wijze dan stikstof en de bijbehorende temporele patronen en processen zijn dan ook anders. De veenbodems in de Krimpenerwaard hebben, vergeleken met de andere gebieden, een relatief lage fosfaatbindingscapaciteit. De werkhypothese, zoals die ook door de waterbeheerders in de Krimpenerwaard wordt gebruikt, is dat fosfaat dat 's winters uit- en afspoelt grotendeels wordt gebonden aan klei en organisch materiaal in de waterbodem. De hoog-eutrofe toestand leidt in het vroege voorjaar tot de vorming van algen en 's zomers tot de vorming van een kroosdek. Zowel de afbraak van de algen als wel de aanwezigheid van kroos leiden tot lage zuurstofgehalten gedurende het zomerseizoen, wat leidt tot reducerende omstandigheden in de waterbodem waardoor het fosfaat gemobiliseerd wordt.

In Figuur 5.4 is de jaarlijkse gang van een aantal fosfaat-relevante parameters weergegeven. In vergelijking met de andere gebieden valt het volgende op:

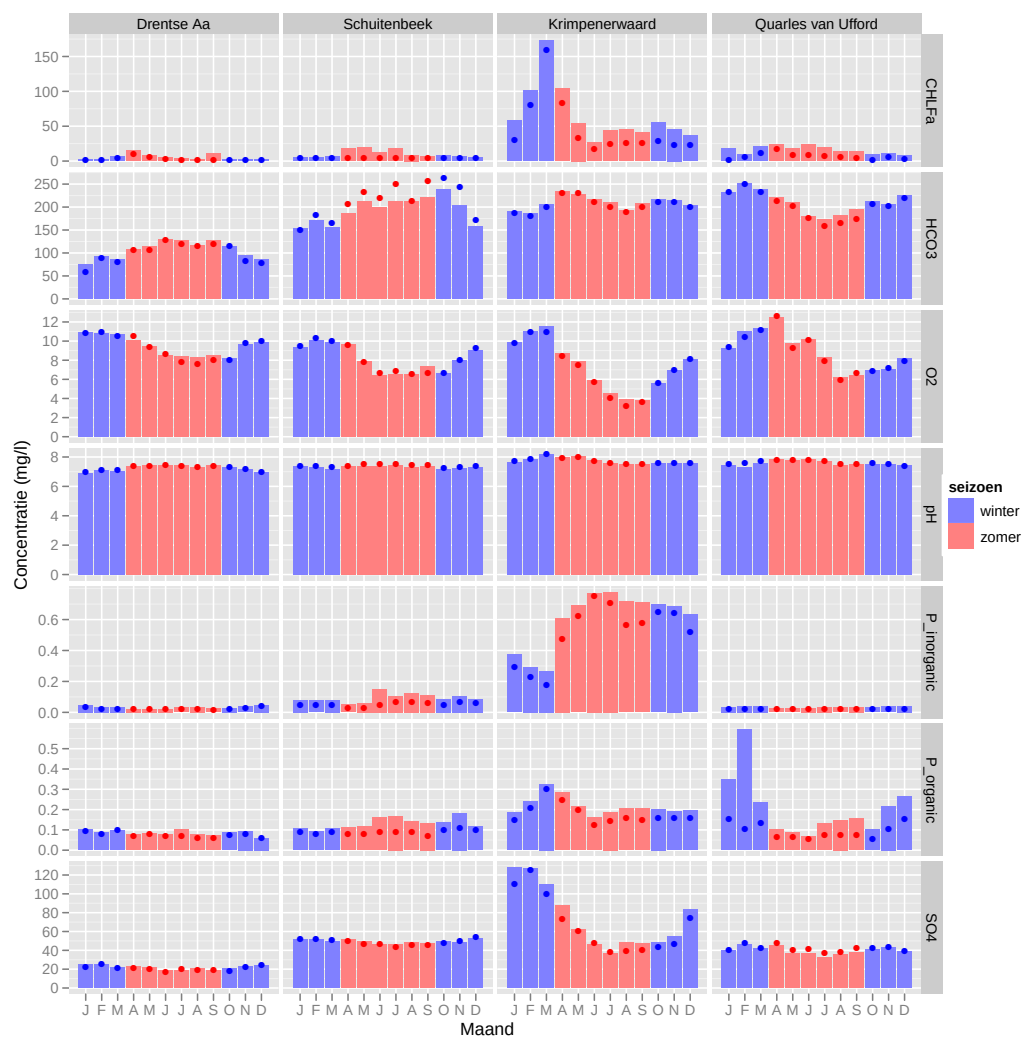
- De algengroei, gemeten als chlorophyl, is in de Krimpenerwaard zeer veel groter dan in de andere gebieden. Dit is ook zichtbaar in de organische P fractie.
- Het zuurstofgehalte in de late zomer (augustus) is met ≈ 4 mg/l lager dan in de andere gebieden, waar de gehalten minstens 6 mg/l bedragen.
- Alkaliniteit en pH verschillen nauwelijks met de andere gebieden.

Het grote verschil tussen de Krimpenerwaard en de overige gebieden uit zich dus met name in algengroei, zuurstof en orthofosfaat, hetgeen pleit voor de werkhypothese dat de fosfaatgehalten een gevolg zijn van de lage buffercapaciteit van het systeem en de door zuurstof bepaalde seizoensvariaties in opslag en mobilisatie via de waterbodem.

Een andere hypothese verdient echter ook aandacht: fosfaatmobilisatie onder invloed van sulfaat. Onder reducerende omstandigheden (zoals 's zomers in de anoxische baggerlaag op de slootbodem) kan het sulfaat reageren met organisch materiaal (waar in een veengebied geen gebrek aan is) en omgezet worden in sulfide. Dit sulfide op zijn beurt kan weer reageren met aanwezige ijzerverbindingen waarbij het eerder hieraan gebonden fosfaat vrijkomt. Dit proces staat bekend als interne eutrofiëring, omdat reeds aanwezige voedingstoffen worden vrijgemaakt.

In de Krimpenerwaard worden inderdaad hoge sulfaatconcentraties gemeten, met name in het winterseizoen. De concentraties op dat moment zijn het hoogst van alle vier de proefgebieden.

De vraag is echter waar het sulfaat vandaan komt. Verschillende bronnen zijn denkbaar:



Figuur 5.4: Gemeten gemiddelde maandelijkse mineraal en organisch fosforconcentraties in het oppervlaktewater in de vier gebieden over de periode 2004–2008. De stippen geven mediane waarden aan.

Ten eerste sulfaatrijk inlaatwater uit de rivieren. Binnen de interne-eutrofiëring-discussie is dit een klassieke bron. Voor de Krimpenerwaard is deze bron echter niet voor de hand liggend, aangezien de sulfaatconcentraties in het riverwater (met name de Lek) relatief constant zijn en beduidend lager liggen dan de hoge concentraties die we in de winter meten als er van inlaatwater geen sprake is. Deze bron is dus niet waarschijnlijk in de Krimpenerwaard.

Een tweede bron is de aanwezigheid van pyriet (ijzerdisulfide) in het veenpakket of de onderliggende perimariene afzettingen. De Krimpenerwaard ligt in een gebied dat gedurende het (vroeg) Holoceen afwisselend onder invloed van zoet rivierwater (aanrijking van ijzer) en zout zeewater (aanrijking van sulfaat) heeft gelegen. Omstandigheden die gunstig zijn voor de vorming van pyriet. Onder de huidige omstandigheden kan het in het veen of de ondergrond aanwezige pyriet oxideren tot sulfide. Zowel zuurstof als nitraat kunnen hierbij als oxidator optreden. Aangezien de grondwaterstanden in veenweidegebieden 's winters even hoog of iets lager dan 's zomers liggen, en de denitrificatie door de lage temperaturen minder actief is zijn beide processen mogelijk.

Een derde bron is de historische vorming van pyriet uit atmosferische zwaveldepositie. Dit zwavel is destijds naar beneden gespoeld tot de grondwaterspiegel waar het onder reducerende omstandigheden is vastgelegd als pyriet. Onder de huidige omstandigheden kan oxidatie van dit pyriet plaatsvinden. Ten eerste zijn er seizoenswisselingen in grondwaterstanden en zuurstofbeschikbaarheid. Ten tweede komt door maaiveldddaling de grondwaterspiegel steeds lager te liggen ten opzicht van het veenpakket. Ten derde kan nitraat uit de mest als oxidator fungeren. Onderzoek in andere veenweidegebieden heeft laten zien dat dit proces inderdaad optreedt en dat oxidatie van het gevormde pyriet een mogelijke bron van sulfaat kan zijn.

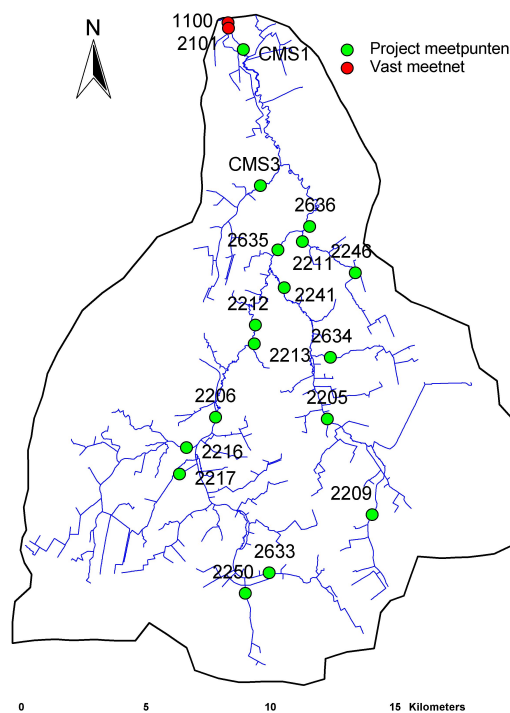
Op grond van de op dit moment aanwezige veldmetingen is het niet mogelijk om de relatieve bijdrage van met name de tweede en derde bron van elkaar te scheiden.

5.4 Drentse Aa: Uitspoeling uit landbouw en natuur

In het stroomgebied van de Drentse Aa is de landbouw met name sterk vertegenwoordigd in het deelstroomgebied het Zeegserloopje. Circa 80% van het oppervlak van dit deelstroomgebied bestaat uit landbouwgrond, tegenover nog geen 10% oppervlak natuurgrond. Benedenstrooms in het deelstroomgebied Zeegserloopje ligt het debietsproportionele meetpunt CMS3 en het meetpunt 2204 (Figuur 5.5). Al eerder kwam naar voren dat in dit meetpunt verhoogde stikstofconcentraties in het oppervlaktewater worden aangetroffen (Figuur 2.3). Meetpunt 2250 daarentegen ligt in een bovenstrooms deelgebied met vrijwel alleen natuurgronden (Figuur 5.5). In deze meetlocatie worden lage stikstofconcentraties aangetroffen. Hieruit kan, met enige terughoudendheid, worden opgemaakt dat de waargenomen stikstofconcentraties in het oppervlaktewater van de Drentse Aa worden beïnvloed door de aanwezige landbouw. Bij afwezigheid van landbouw wordt een langjarig gemiddelde stikstofconcentratie van beneden de 1 mg/l totaal-stikstof waargenomen (Figuur 3.5). In het meest intensieve landbouwgebied (Zeegserloopje) wordt een langjarig gemiddelde stikstofconcentratie van ca. 9 mg/l totaal-stikstof in het winterhalfjaar en ca. 3 mg/l totaal-stikstof in het zomerhalfjaar waargenomen. Een ander deelstroomgebied waar hoge stikstofconcentraties worden waargenomen is het Anloërdiepje (meetlocaties 2211 en 2246; Figuur 4.1). Weliswaar is landbouw in dit deelstroomgebied niet zo sterk vertegenwoordigd als in het Zeegserloopje (ca. 55% van het oppervlak tegen 80% van het oppervlak in het Zeegserloopje), maar in dit deelgebied is akkerbouw dominant. Door de hoge mate van gedraineerde gronden in de akkerbouw kan een grotere stikstofbelasting van het oppervlaktewater plaatsvinden. Dit komt overeen met andere studies (Water in Bedrijf; Arcadis en Waterschap Hunze en Aa's). Verder blijkt dat de concentraties bovenstrooms in het deelstroomgebied van het Anloërdiepje (meetlocatie 2246) hoger zijn dan benedenstrooms (2211). Ook in het hele stroomgebied is dit terug te zien. Bovenstrooms wordt een langjarig gemiddelde stikstofconcentratie van 10 mg/l totaal-stikstof in het winterhalfjaar en van ca. 5 mg/l totaal-stikstof in het zomerhalfjaar waargenomen. Benedenstrooms wordt een langjarig gemiddelde stikstofconcentratie van ca. 8 mg/l totaal-stikstof in het winterhalfjaar en van ca. 3 mg/l totaal-stikstof in het zomerhalfjaar waargenomen. Enerzijds komt dit doordat meetlocaties bovenstrooms dicht bij de bron zitten en anderzijds doordat nutriënten onderhevig zijn aan omzettingen en verdwijnplassen in het oppervlaktewater, waardoor minder nutriënten in het oppervlaktewater aanwezig zijn benedenstrooms.

Voor fosfor wordt in de Drentse Aa nagenoeg geen relatie gevonden tussen fosforconcentraties in het oppervlaktewater en landbouwactiviteiten in het stroomgebied. De sterke binding van fosfaat aan het bodemcomplex en eventuele vastlegging van fosfaat in de onderwaterbodem door invloed van ijzerrijke kwel kan hierbij een rol spelen.

Op basis van gemeten stikstof- en fosforconcentraties in de landbouwgebieden en natuurgebieden kan een (voorzichtige) schatting van de bijdrage van landbouw op



Figuur 5.5: Locaties van de meetpunten van het meetplan Drentse Aa.

de waterkwaliteit gemaakt worden (Tabel 5.1). Benedenstrooms in het landbouwgebied Zeegserloopje wordt een gemiddelde stikstofconcentratie van 5,5 mg/l totaalstikstof waargenomen. Voor het akkerbouwgebied in het Anloërdiepje wordt benedenstrooms een gemiddelde stikstofconcentratie van 5,4 mg/l totaalstikstof waargenomen. Voor fosfor is dit respectievelijk 0,11 mg/l totaal-fosfor (Zeegserloopje) en 0,065 mg/l totaal-fosfor (Anloërdiepje). In het bovenstrooms natuurgebied wordt een gemiddelde stikstofconcentratie van 0,98 mg/l totaalstikstof waargenomen. Voor fosfor is dit 0,093 mg/l totaal-fosfor. Op basis van deze meetwaarden is voor de stikstofconcentraties in het oppervlaktewater een bijdrage van landbouw van ruim 80% bepaald (Tabel 5.1). Voor fosfor is de bijdrage van landbouw een stuk kleiner en is voor het akkerbouwgebied zelfs een negatieve bijdrage van de landbouw bepaald. Voor dit gebied wordt meer fosfaat vastgelegd, en spoelt dus minder uit naar het oppervlaktewater dan in het natuurgebied. Vastlegging aan het bodemcomplex in combinatie met ijzerrijke kwel in dit gebied kan hierbij een rol spelen.

De bijdrage van de landbouw op de stikstof- en fosforconcentratie in het oppervlaktewater is niet constant in het jaar. Zo is de bijdrage van landbouw in het winterhalfjaar hoger (ca. 90% voor stikstof) dan in het zomerhalfjaar (ca. 65% voor stikstof). Voor fosfor gaat dit principe ook op maar dit is minder uitdrukkelijk dan voor stikstof. De reden voor het verschil in bijdrage van de landbouw

in het winter- en zomerhalfjaar komt doordat in het winterhalfjaar in landbouwgebieden de nutriënten hoofdzakelijk in minerale vorm uitspoelen. In landbouwgebieden is in de winterperiode de uitspoeling van nitraat de grootste bron van stikstof (Figuur 3.5). In de natuurgebieden daarentegen spoelt nagenoeg geen nitraat uit, noch in het winterhalfjaar noch in het zomerhalfjaar. Daarnaast is in het zomerhalfjaar het minerale deel van de nutriënten onderhevig aan processen in het oppervlaktewater (gewasopname, vastlegging aan de bodem, denitrificatie).

Tabel 5.1: Inschatting van de bijdrage van landbouw op de gemeten stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater.

	Concentratie (mg/l)	Ratio landbouw/natuur	Bijdrage landbouw
Stikstof			
Referentie: Natuurgebied	0.98	-	-
Zeegserloopje: intensieve melkveehouderij	5,48	5,6	82%
Anloërdiepje: akkerbouw	5.39	5.5	82%
Anloërdiepje: akkerbouw bovenstrooms	7.65	7.8	87%
Fosfor			
Referentie: Natuurgebied	0.093	-	-
Zeegserloopje: intensieve melkveehouderij	0.108	1.16	14%
Anloërdiepje: akkerbouw	0.065	0.70	< 0%
Anloërdiepje: akkerbouw bovenstrooms	0.085	0.91	< 0%

5.5 Schuitenbeek: Fosfaatpieken in het zomerhalfjaar

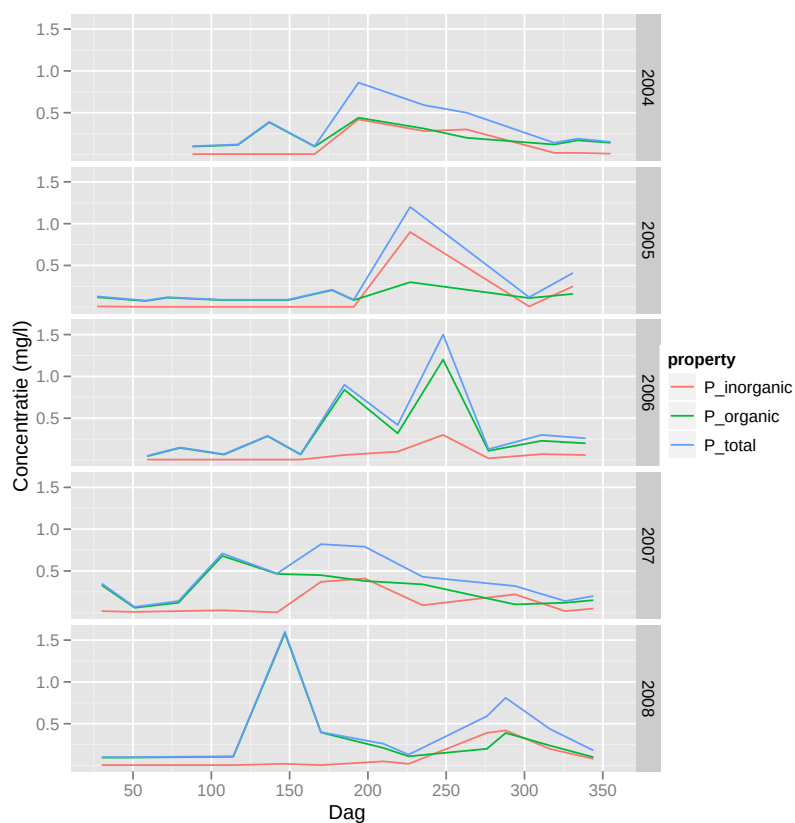
In tegenstelling tot het andere zandgebied de Drentse Aa worden op een aantal meetlocaties in Schuitenbeek in het zomerhalfjaar hogere fosforconcentraties in het oppervlaktewater aangetroffen (Figuur 4.8). Voor zandgebieden is de werkhypothese dat de uitspoeling van nutriënten vanuit het bodemsysteem plaatsvindt in de periode met het hoogste neerslagoverschot, te weten het winterhalfjaar. Daarnaast vindt in de zomerperiode de meeste opname en afbraak van nutriënten plaats in het oppervlaktewater (retentie) waardoor de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar verder verlagen.

Voor de stikstofconcentraties wordt in het zomerhalfjaar in de Schuitenbeek ook lagere concentraties waargenomen. Voor fosfor wordt op 7 van de 21 meetlocaties in het zomerhalfjaar hogere concentraties waargenomen. De meeste van deze meetlocaties liggen bovenstrooms. Sommige liggen in een landbouwgebied, anderen juist in een natuurgebied.

Voor 1 meetlocatie (meetpunt 25312; bovenstrooms in een landbouwgebied) is gekeken naar het tijdsverloop van de meetwaarden. Het winterhalfjaargemiddelde van deze meetlocatie is 0,15 mg/l P-totaal, terwijl het zomerhalfjaargemiddelde op 0,40 mg/l P-totaal uitkomt. In Figuur 5.6 is het tijdsverloop voor de afzonderlijke fosforcomponenten (ortho-fosfaat en organische fosfor) voor de periode 2004–2008 weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk de hogere fosforconcentraties in het zomerhalfjaar (1 april–30 september). Minder duidelijk is het tijdstip waarop de verhoogde concentraties ontstaan. In sommige jaren zijn al vroeg in het zomerhalfjaar verhoogde fosfaatconcentraties waarneembaar (2007 en 2008). Tijdens andere jaren ontstaan pas in de 2^e helft van het zomerhalfjaar verhoogde fosfaatconcentraties (2004, 2005 en 2006). Ook de samenstelling van de afzonderlijke fosforcomponenten is tijdens deze piekwaarden niet constant. Zo bestaat de fosforpiek in mei 2008 bijna geheel uit ortho-fosfaat (Figuur 5.6). De fosforpiek in augustus 2005 daarentegen bestaat weer uit het overgrote deel uit organische fosfor. Andere jaren bestaat de fosforpiek uit een even groot deel orthofosfaat als uit organische fosfor.

De pieken in fosfaatconcentraties kunnen niet direct gekoppeld worden aan het voorkomen van een intensieve lokale neerslagbui in het zomerhalfjaar (zie paragraaf 5.1). Hiervoor is simpelweg het meteostation waarvan de gebruikte neerslagdata afkomstig zijn, te ver verwijderd van de meetlocatie (zie paragraaf 5.2). Ook de gemeten waterafvoeren op de benedenstroomse meetlocatie (meetpunt 25210) laten op het moment van een gemeten fosforpiek geen duidelijk verhoogde waterafvoer zien. Omgekeerd laten momenten van toegenomen gemeten waterafvoeren (met name in het winterhalfjaar) niet altijd een verhoogde fosforconcentratie in het oppervlaktewater zien.

Een mogelijke verklaring voor de verhoogde fosforconcentraties in de Schuitenbeek is dat door lange verblijftijden van het oppervlaktewater in de bovenstroomse delen van de Schuitenbeek in het zomerhalfjaar (opgestuwd water) een tijdelijke



Figuur 5.6: Gemeten fosforconcentraties in het meetpunt 25312.

anaerobie ontstaat waardoor geadsorbeerd fosfaat vrij kan komen. Een dergelijk patroon wordt ook gevonden in het gebied de Krimpenerwaard (zie paragraaf 5.3). Een uitgebreide data-analyse waarbij naast nutriënten eveneens gekeken wordt naar het zuurstofgehalte en andere parameters (sulfaat, chloride, etc.), kan meer duidelijkheid geven over de processen in het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar.

5.6 Quarles van Ufford: Landbouwuitspoeling en inlaatwater

In Quarles van Ufford is het niet mogelijk een onderscheid te maken tussen deelstroomgebieden die gedomineerd worden door natuur zoals in de Drentse Aa. Het geringe areaal natuur in Quarles van Ufford ligt grotendeels versnipperd door het gebied tussen gras- en akkerland in. In een polder is het bovendien lastig om individuele deelgebieden af te bakenen omdat het water meerdere kanten op kan stromen door het geringe verhang en de uitgebreide oppervlaktewaterstructuur. Hoewel Quarles van Ufford opgedeeld is in peilvakken, vaak begrensd door stuwen, zijn er meestal meerdere verbindingen met omliggende peilvakken. Tenslotte is er nog de beïnvloeding van inlaatwater dat diep in het stroomgebied kan binnendringen. Een vergelijk van de concentraties in landbouwmeetpunten en natuurmeetpunten, die de natuurlijke achtergrondconcentratie weer zouden kunnen geven, is dus niet mogelijk. Een schatting van de bijdrage vanuit de landbouw kan daarom niet direct uit de metingen gehaald worden.

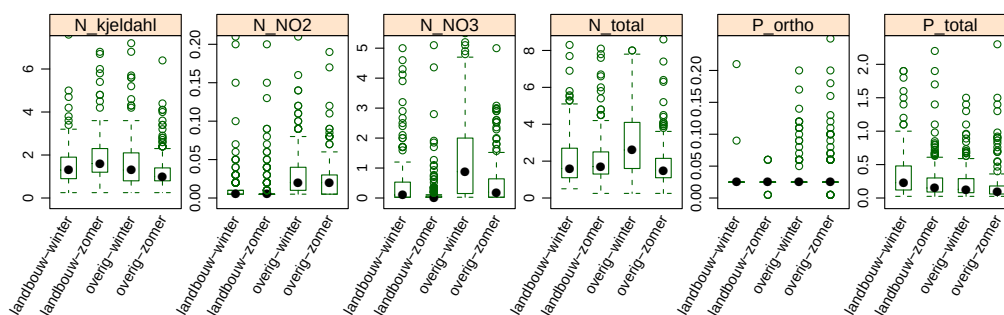
Wel zijn er in Quarles van Ufford twee meetpunten waarvan het vermoeden bestaat dat ze voornamelijk beïnvloed worden door de uitspoeling vanuit het omliggende landbouwgebied (PMW0187 en PMW0220). Bij aanvang van het project is geprobeerd de meetpunten zo te plaatsen dat ze representatief zijn voor het landgebruik bovenstrooms (dominant landbouw of stedelijk gebied, in het geval van Quarles van Ufford) of voor bepaalde kenmerken van de waterlopen (A- of B-waterloop; zavel-, zand- of kleibodem) en zodoende informatie kunnen geven over de verschillende bronnen. Om deze landbouwmetingen te kunnen gebruiken is het allereerst van belang om te toetsen of de meetpunten ook representatief verondersteld mogen worden. Oftewel, zijn er duidelijke verschillen tussen de groepen meetpunten (strata) te zien en bevestigen de verschillen de aannames achter de keuze voor deze meetpunten en classificatie?

De verwachting is dat landbouwmeetpunten hogere concentraties laten zien dan de overige meetpunten, omdat er geen natuur bovenstrooms ligt met een lagere uitspoeling, omdat inlaatwater hier niet van invloed is en omdat ze in de B-watgangen liggen waar nog weinig retentie is opgetreden. De landbouwmeetpunten worden vergeleken met 8 overige meetpunten die, net zoals de landbouwmeetpunten, niet in het hoofdsysteem, maar in de zijsloten liggen.

De landbouwmeetpunten en overige meetpunten verschillen significant (Tabel 5.2). Voor fosfor zijn de concentraties in de landbouwmeetpunten inderdaad hoger

Tabel 5.2: Significantie (p-waarden) van de stratificatie op basis van landgebruik voor verschillende stoffen volgens de Kruskal-Wallis toets (periode vanaf 2004).

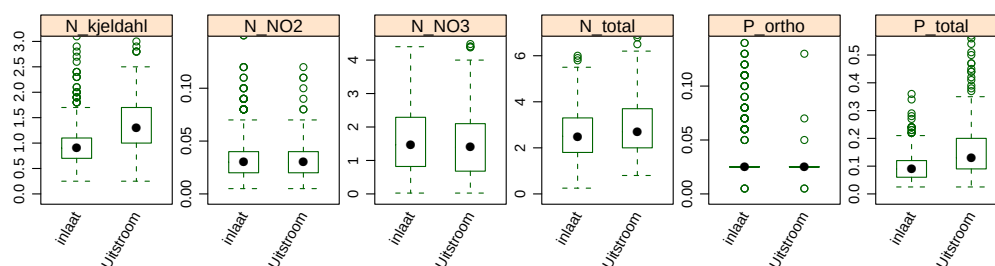
	N_kjeldahl	N_NO2	N_NO3	N_total	P_ortho	P_total
1	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00



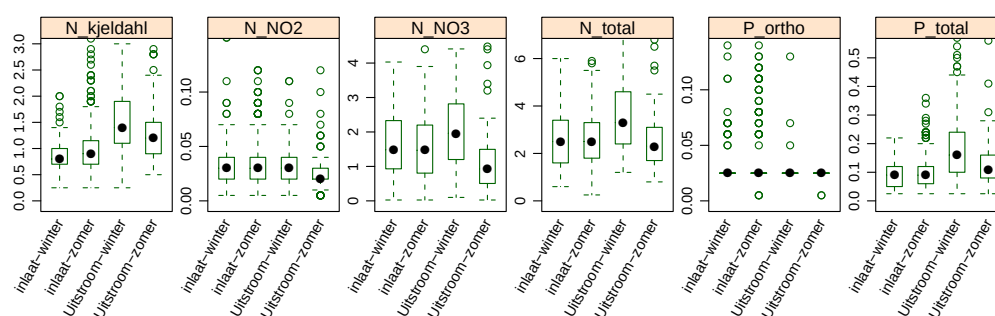
Figuur 5.7: Verschillen tussen concentraties van geselecteerde landbouw meetpunten en de overige meetpunten (exclusief inlaten en meetpunten in hoofdwaterlopen), gemiddeld, per seizoen.

voor zowel de winter als de zomerperiode. Opvallend is echter dat voor mineraal stikstof en daardoor ook totaal stikstof de concentraties in de landbouwmeetpunten in de winter juist lager liggen dan die van de overige meetpunten (Figuur 5.7). Nadere analyse van de twee landbouwmeetpunten laat zien dat deze ook onderling verschillen (zie ook Figuur 4.4). PMW187 heeft gelijke gemiddelde zomer en winterconcentraties van totaal stikstof, de laagste in heel Quarles van Ufford, maar weer hoge fosforconcentraties in de winter. De concentraties in PMW0220 volgen meer het verloop zoals dat ook bij de nabijgelegen inlaatpunten te zien is, met hogere zomer- dan winterstikstofconcentraties. De zogenaamde landbouwmeetpunten gedragen zich daarmee verschillend en voldoen niet aan de aanname van hogere concentraties. Mogelijk staan ze in meer of mindere mate onder invloed van inlaatwater of hebben andere kenmerken zoals bodemtype ook een grote invloed.

Naast de uitspoeling vanuit de landbouw blijkt uit de verschillende systeemanalyses (Siderius et al, 2008 etc.) ook, dat de inlaat van water vanuit de Maas van grote invloed is op zowel de waterbalans als op de nutriëntenvruchten en daarmee mogelijk ook op de concentraties. Onderstaande figuren geven concentraties in de inlaatmeetpunten en het uitstroomeetpunt weer. De inlaten laten lagere organisch stikstof- en fosforconcentraties t.o.v. het uitstroomeetpunt zien. Mineraal stikstof en fosfor verschillen amper. Ook totaal stikstof verschilt amper. Opvallend is daarbij dat de meeste meetpunten in het noordelijke deel van het stroomgebied, verder weg van de inlaten, in het zomer halfjaar lagere stikstofconcentraties laten zien dan de inlaten en het uitstroomeetpunt (Figuur 4.4). De inlaten lijken daarmee voornamelijk de concentraties in het zuiden en midden van de polder en uitstroomeconcentraties te beïnvloeden, maar deze blijven wel binnen de marges. Overigens kan ook een verschil in landgebruik en bodems (de meer zavelige gronden geconcentreerd in het noorden) nog een rol spelen. Om dit te kwantificeren zou een verdere analyse van metingen met inzichten over de uitspoeling aan de hand van het modelinstrumentarium uitgevoerd moeten worden. Voor fosfor is



Figuur 5.8: Verschillen tussen concentraties van inlaat- en uitstroommeetpunten.



Figuur 5.9: Verschillen tussen concentraties van inlaat en uitstroommeetpunten gemiddeld, per seizoen.

dit verschil tussen inlaten en overige meetpunten minder duidelijk.

Er is ook een verschil in seizoensdynamiek tussen de inlaatmeetpunten en het uitstroommeetpunt. Het uitstroompunt zelf vertoont grote verschillen tussen de zomer en de winterconcentraties, zowel voor mineraal als organisch stikstof en organisch fosfor. De zomer- en winterconcentraties bij de inlaatcheerpunten verschillen in veel mindere mate. Met name in de winter lijken de concentraties bij de inlaatcheerpunten overeen te komen met de uitlaat. In deze periode wordt er echter amper water ingelaten. Dit lijkt dus eerder een indicatie van een gering verschil in concentraties tussen meetpunten bovenstrooms en bij de uitlaat.

Ook de inlaatcheerpunten verschillen onderling. Figuur 4.10 laat zien dat met name meetpunt PMW0154 (inlaat vanuit de Maas) en in mindere mate meetpunt MMW0029 (inlaat vanuit de Bloemerspolder) afwijken van de overige twee inlaatcheerpunten door veel lagere fosforconcentraties. Aanvullende metingen buitendijks van de inlaatcheerpunten in de Maas die op dit moment uitgevoerd worden, moeten meer inzicht geven in deze verschillen zodat beter ingeschat kan worden of en in welke mate het inlaten van water een verlagend of verhogend effect heeft op de nutriëntenconcentraties in het stroomgebied.

6 Conclusies, discussie en vervolgstappen

6.1 Conclusies en discussie

In dit rapport wordt de eerste aanzet gegeven tot een volledige analyse van de meetgegevens zoals die de afgelopen jaren zijn vergaard binnen het project Monitoring Stroomgebieden. In hoofdzaak is gekeken naar de eventuele normoverschijdingen, en de variabiliteit van nutriënten in ruimte en tijd.

Voor normering zijn alleen de zomerhalfjaargemiddelde concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater relevant. Wat betreft stikstof worden structurele normoverschijdingen alleen gevonden in de Krimpenerwaard. De hoogste zomergemiddelden vinden we weliswaar in Schuitenbeek, maar in dit gebied liggen de normen dusdanig hoog dat de waterkwaliteit niet normoverschrijdend is. Wat betreft fosfor liggen zowel Drentse Aa en Quarles van Ufford net op de norm. In Schuitenbeek worden de normen licht overschreden en in de Krimpenerwaard worden ze fors overschreden.

Voor zowel stikstof als fosfor worden afnemende trends gedetecteerd. Op één enkele uitzondering na (fosfor in Quarles van Ufford) zijn al deze trends significant (dwz. de kans dat er géén trend is, is verwaarloosbaar).

De interannuele variatie (temporele variatie binnen een jaar) is aanzienlijk. In het algemeen zijn de concentraties stikstof 's winters hoger dan 's zomers. De relevantie hiervan is echter beperkt gezien het feit dat de normen strikt voor het zomerhalfjaar gelden en er 's zomers sterke denitrificatie optreedt.

De uitsplitsing van totaal stikstof in de verschillende componenten geeft, samen met de interannuele variatie, informatie over de herkomst van het stikstof. In de Krimpenerwaard wordt gevonden dat stikstof 's zomers gedomineerd wordt door organisch stikstof wat een aanwijzing is dat de veenbodem en -ondergrond zelf als een bron voor stikstof dienen. De hoge concentraties nitraat 's zomers in Quarles van Ufford lijken het gevolg te zijn van inlaatwater uit de Maas. Ook in Schuitenbeek worden 's zomers hoge concentraties nitraat gemeten. Hiervoor ontbreekt nog een verklaring.

Voor fosfor is de interannuele variatie relatief laag, met uitzondering van de Krimpenerwaard waar met name de zomerwaarden mineraal fosfor zeer hoog zijn. Een voorlopige analyse van andere relevante stoffen suggereert dat in dit gebied het 's winters uitspoelende fosfor op dat moment wordt geadsorbeerd in de waterbodems, om 's zomers onder zuurstofloze condities alsnog in het oppervlaktewater terecht te komen. Mogelijk is hierbij een rol voor sulfide weggelegd dat uit de

veenondergrond afkomstig lijkt te zijn.

De ruimtelijke variatie in nutriënten verschilt per gebied. In de Drentse Aa en Schuitenbeek is zij hoog en grotendeels gerelateerd aan het landgebruik. In de Krimpenerwaard is de ruimtelijke variatie laag wat ook gerelateerd lijkt aan het uniforme landgebruik. In de polder Quarles van Ufford is de ruimtelijke variatie beperkt, en lijkt vooral 's zomers gerelateerd te zijn aan het inlaatwater.

Er is een aanvullende studie verricht in hoeverre neerslag, op verschillende tijdschalen, verklarend kan zijn voor de oppervlaktewaterconcentraties. De sterkste correlaties zijn gevonden in Quarles van Ufford waar de uitspoeling van stikstof relatief sterk is gecorreleerd met neerslag op korte tijdschalen (regenbuien). Dit wordt verklaard vanuit het voorkomen van macroporiën in de hier aanwezige kleigronden. In Schuitenbeek wordt een sterke correlatie tussen fosfor en regenbuien gevonden wat verklaard kan worden door het optreden van een lichte vorm van bodemerosie in dit zandgebied.

6.2 Vervolgstappen

In dit rapport is een eerste aanzet gegeven tot een analyse van de beschikbare data. Binnen dit tijdsbestek kon echter nog niet alle informatie worden geanalyseerd. Zo is voornamelijk gekeken naar stikstof en fosfor. De relatie met andere stoffen zoals zuurstof of sulfaat is slechts in het specifieke geval van de Krimpenerwaard aan bod gekomen.

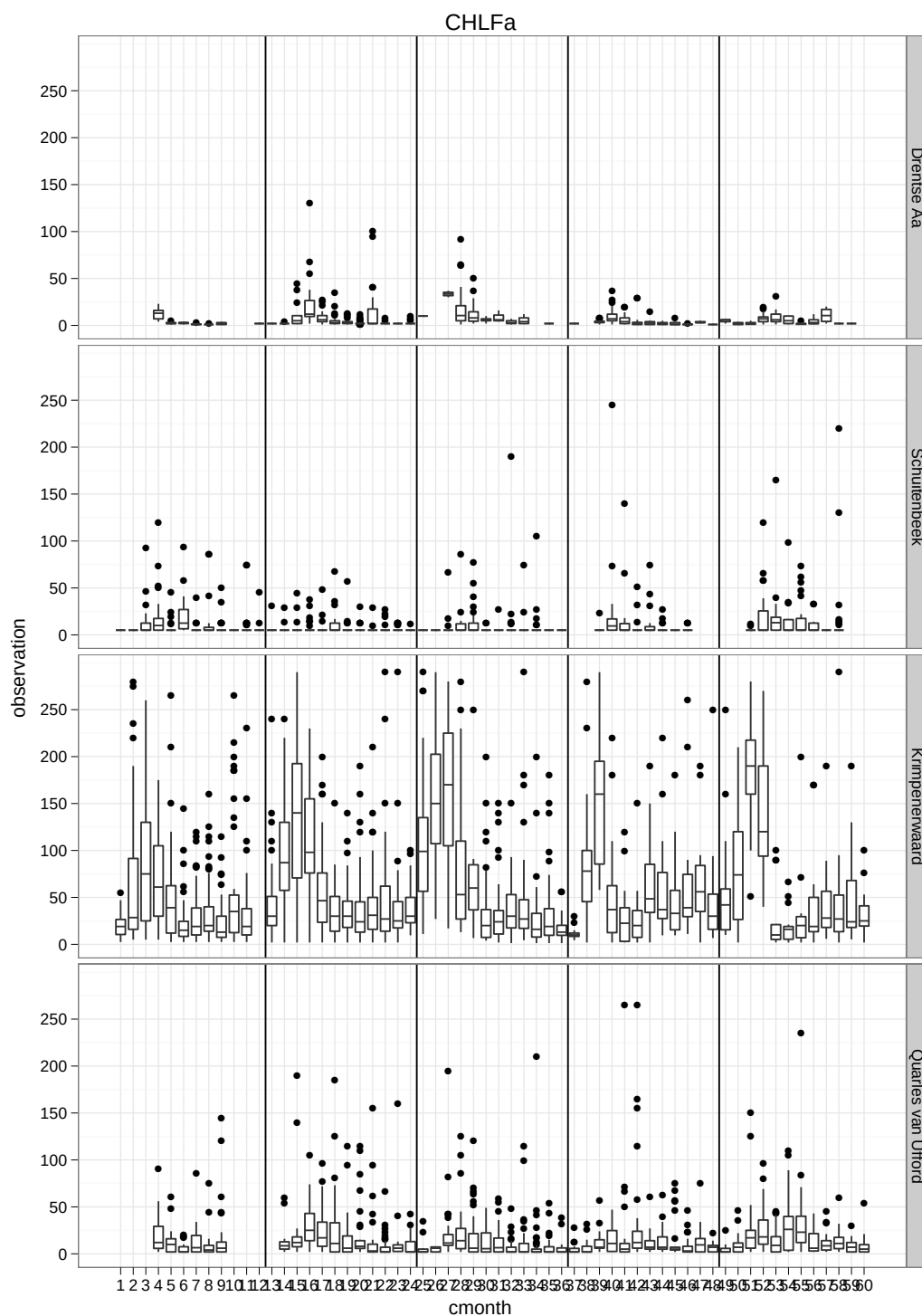
In dit rapport heeft de temporele analyse zich hoofdzakelijk beperkt tot jaar en maandgemiddelden. Juist ook een analyse van pieken in de nutriëntenconcentraties kan inzicht geven in de werking van het systeem.

In dit rapport is voornamelijk naar de periode 2004–2008. De huidige meetcampagne wordt nog een jaar voortgezet in zijn huidige omvang, tot oktober 2010. Dit levert een langere dataset op waarbij 'incidenten', zoals zeer hoge winterpieken bij één meetpunt in Quarles van Ufford, beter in perspectief geplaatst kunnen worden. Verder lijkt de dalende trend in nutriëntenconcentraties vanaf 1990, zoals die wordt gevonden in alle vier de gebieden, af te vlakken in de laatste 5 jaar. Tenslotte vinden er op dit moment vinden er aanvullende metingen plaats in de Krimpenerwaard (ondergrond), Drentse Aa (vegetatie en retentie oppervlaktewater) en Quarles van Ufford (inlaatconcentraties). Door deze metingen te combineren met de huidige dataset zal meer inzicht verkregen kunnen worden in deze specifieke bronnen en routes.

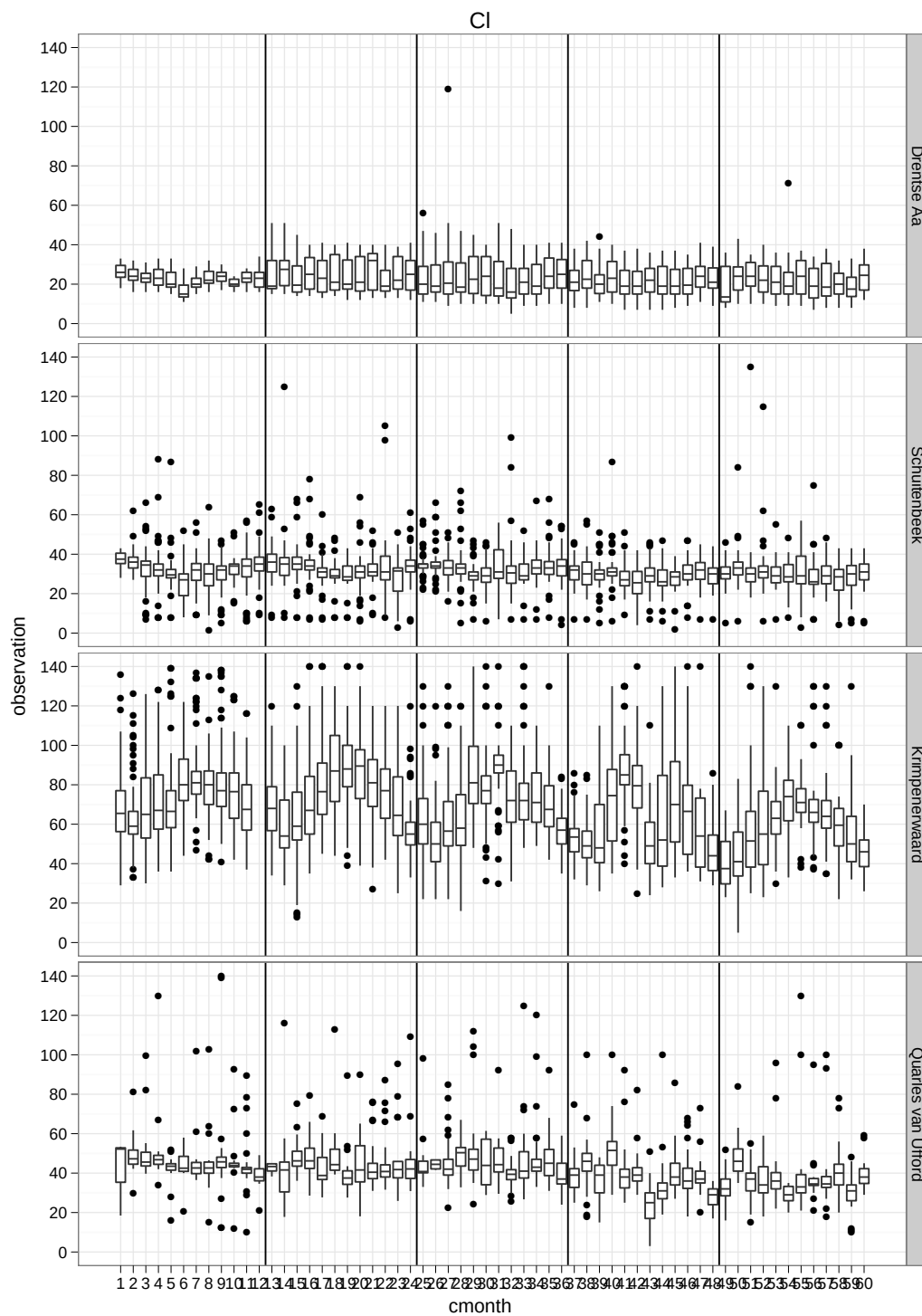
In dit rapport is alleen een analyse van de meetdata uitgevoerd. In de afgelopen jaren is er echter ook stapsgewijs een uitgebreide systeemanalyse uitgevoerd voor de vier gebieden met behulp van een modelinstrumentarium voor zowel bodem als oppervlaktewater. Het combineren van metingen met inzichten uit de modellen zal een verbeterde analyse van de vier gebieden opleveren. Effecten in de opper-

vlaktewatermetingen kunnen zo herleid worden tot de achterliggende bronnen en routes.

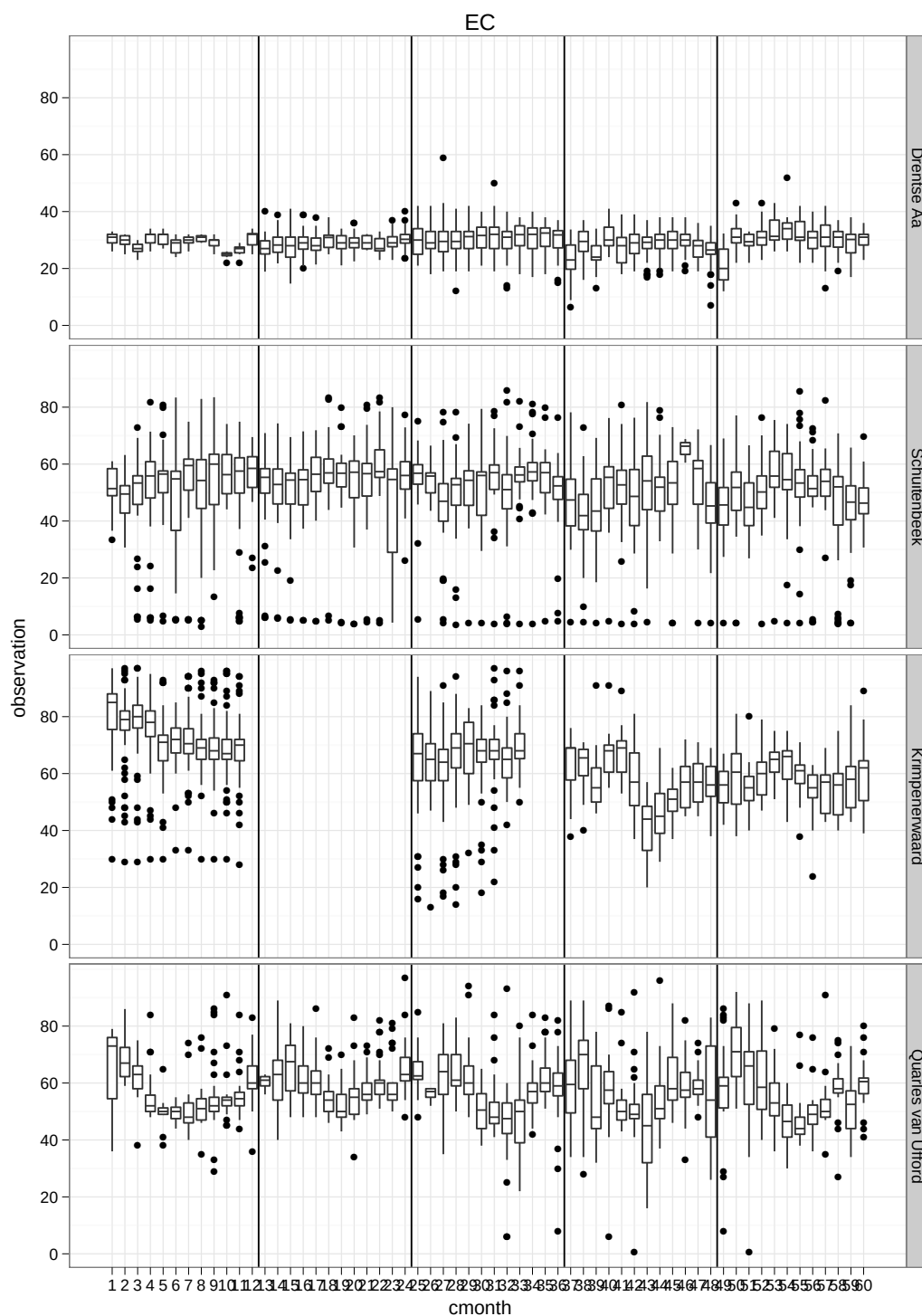
A Tijdreeksen



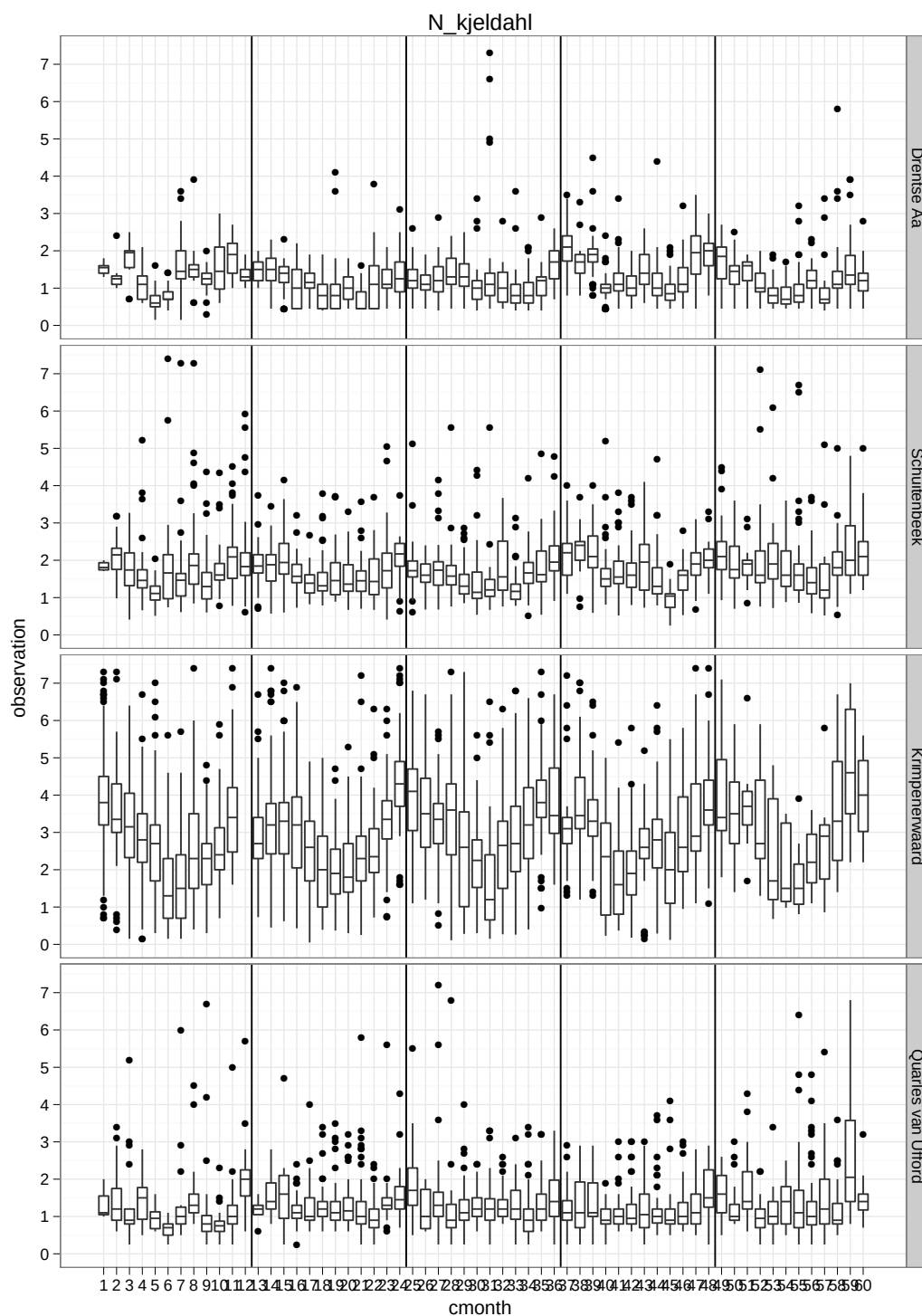
Figuur A.1: Tijdreeksen voor Chlorofyl-a.



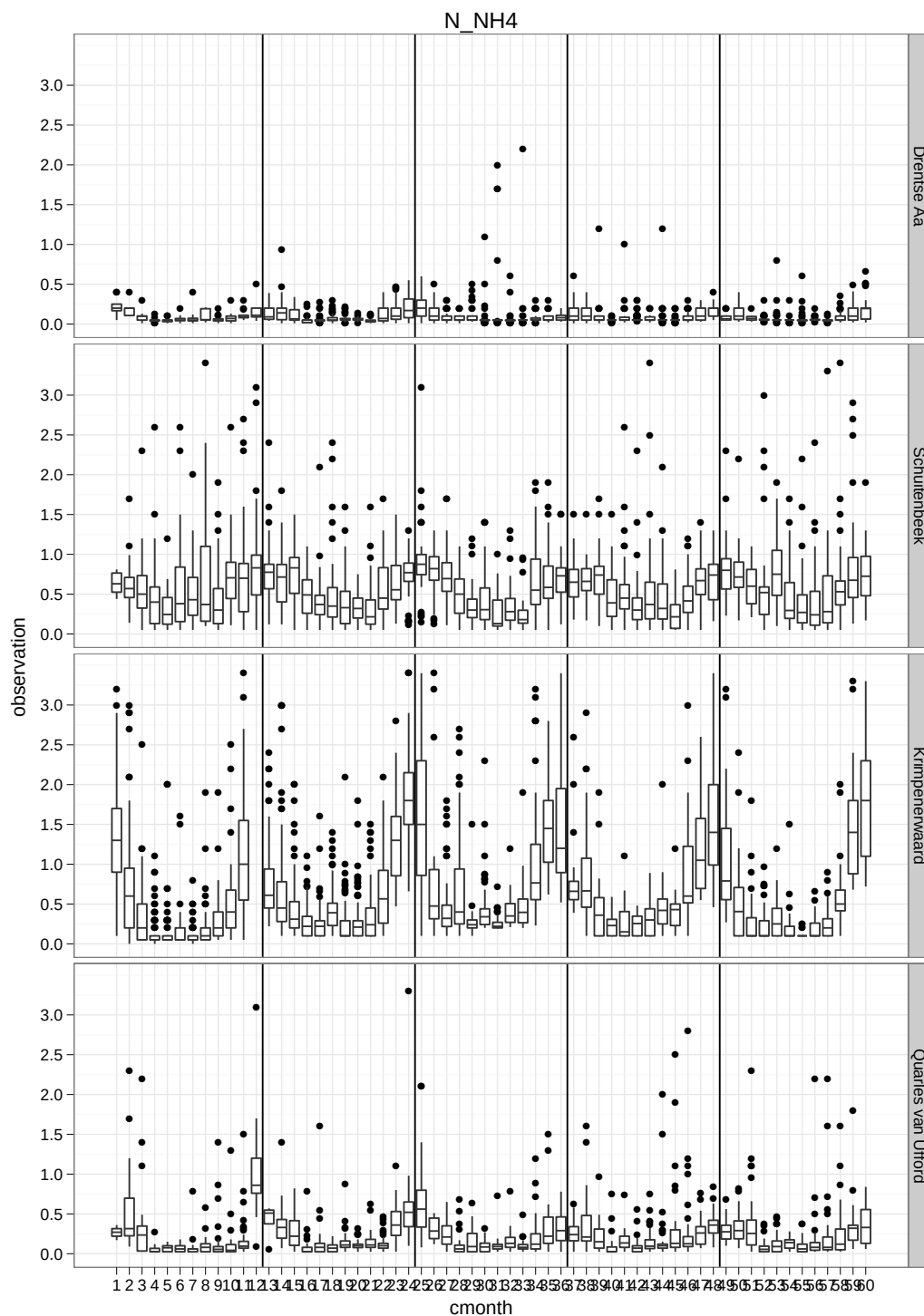
Figuur A.2: Tijdreeksen voor Chloride.



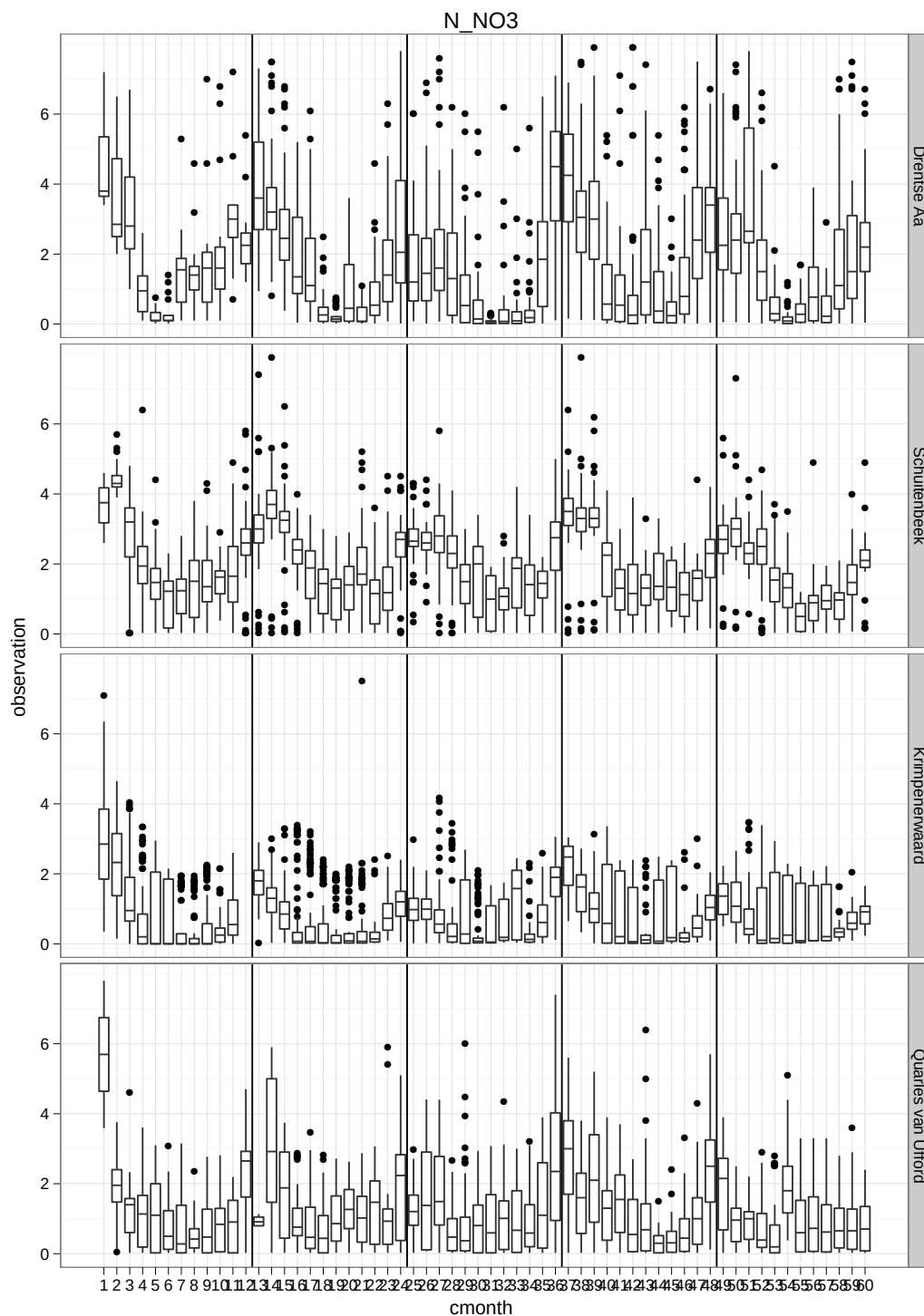
Figuur A.3: Tijdreeksen voor elektrische geleidbaarheid (EC).



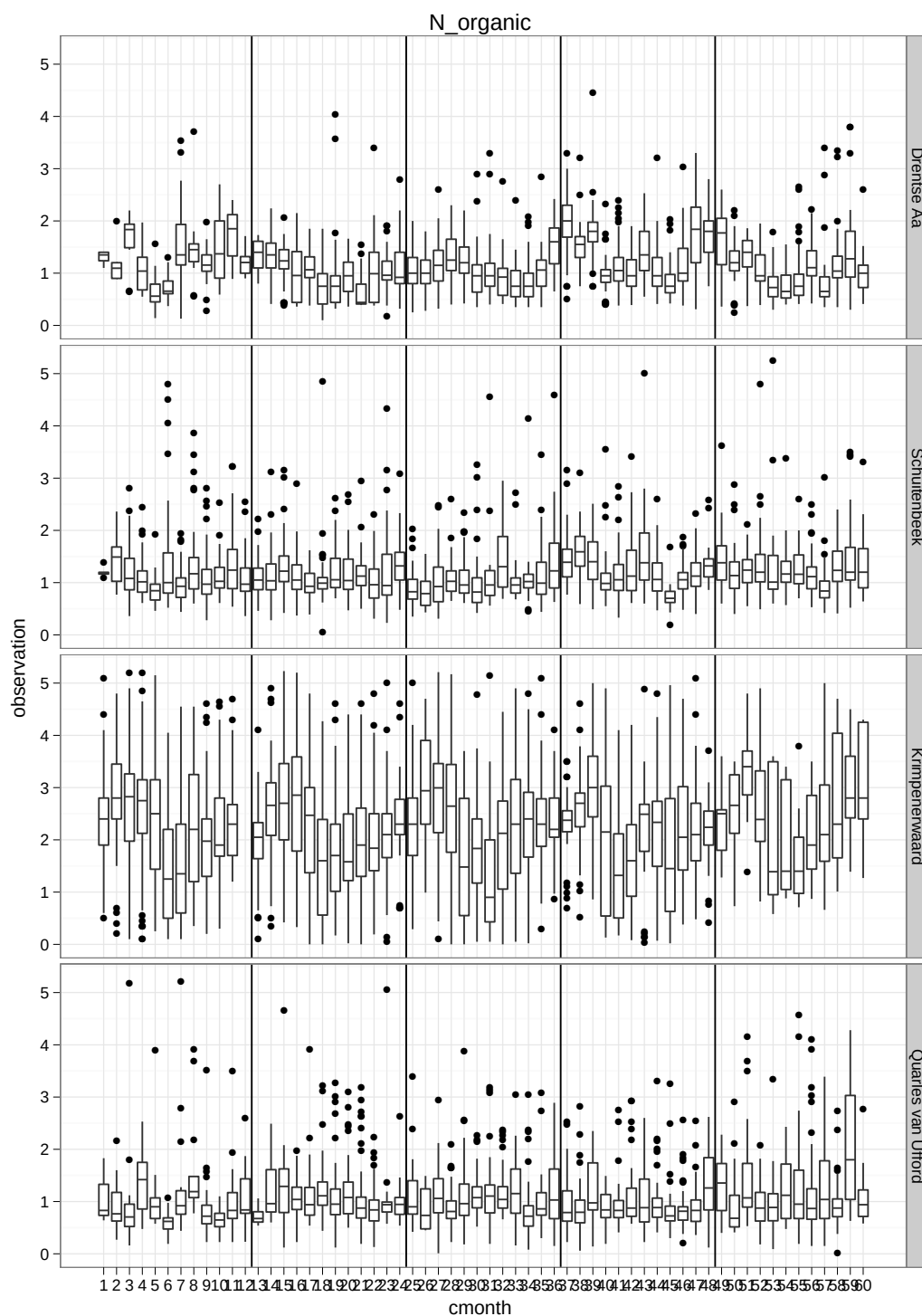
Figuur A.4: Tijdreeksen voor Kjeldahl-stikstof.



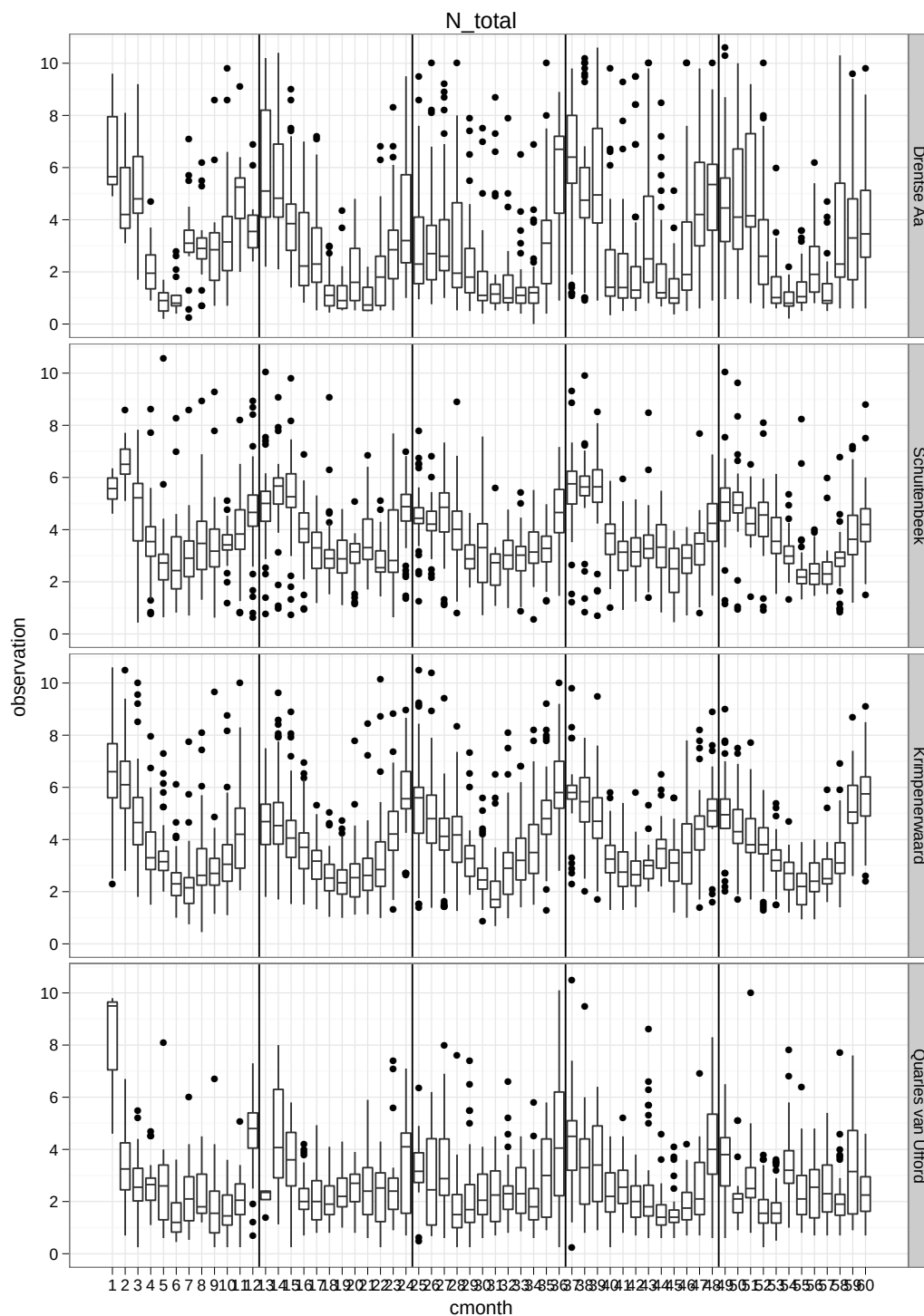
Figuur A.5: Tijdreeksen voor Ammonium.



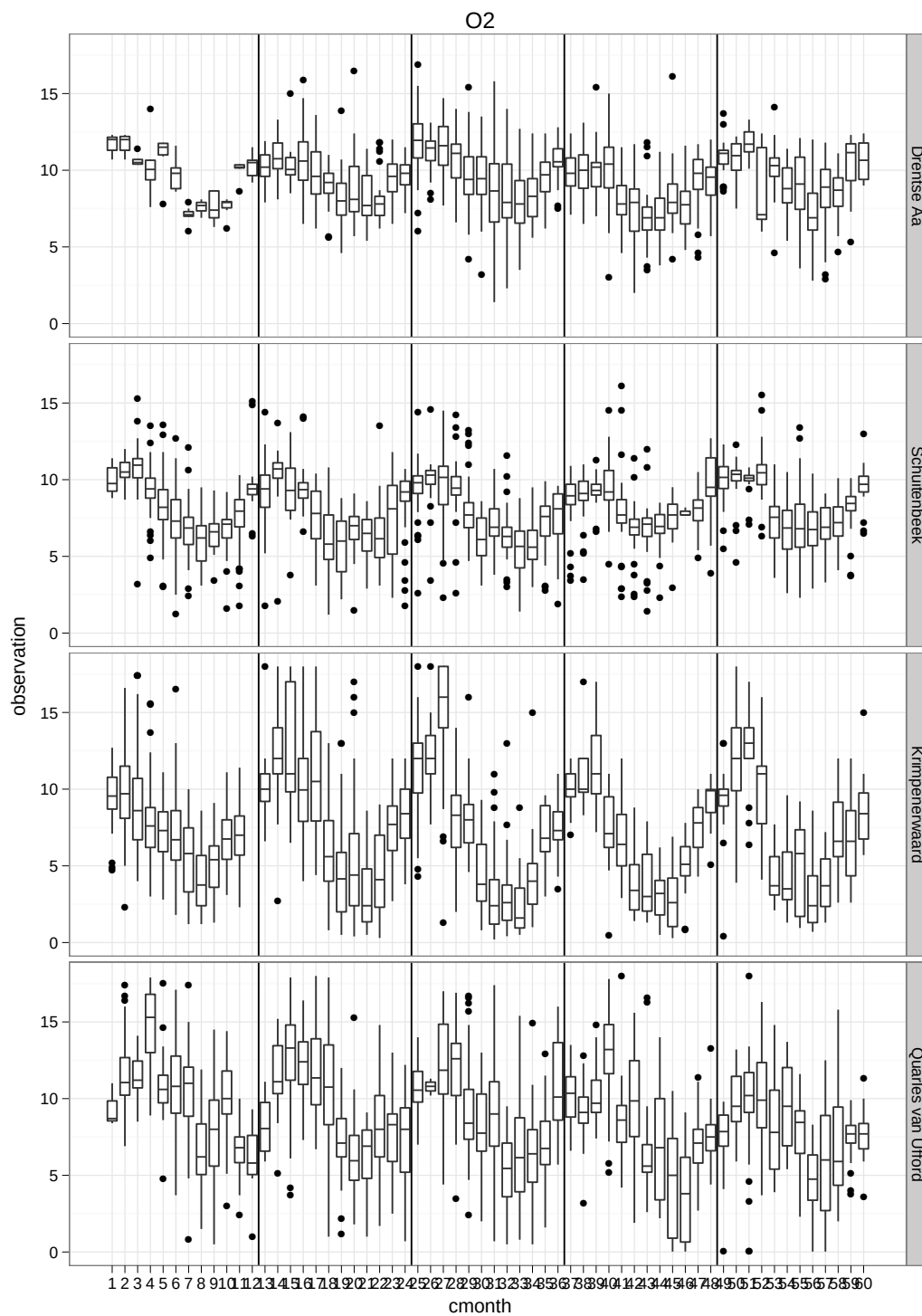
Figuur A.6: Tijdreeksen voor Nitraat.



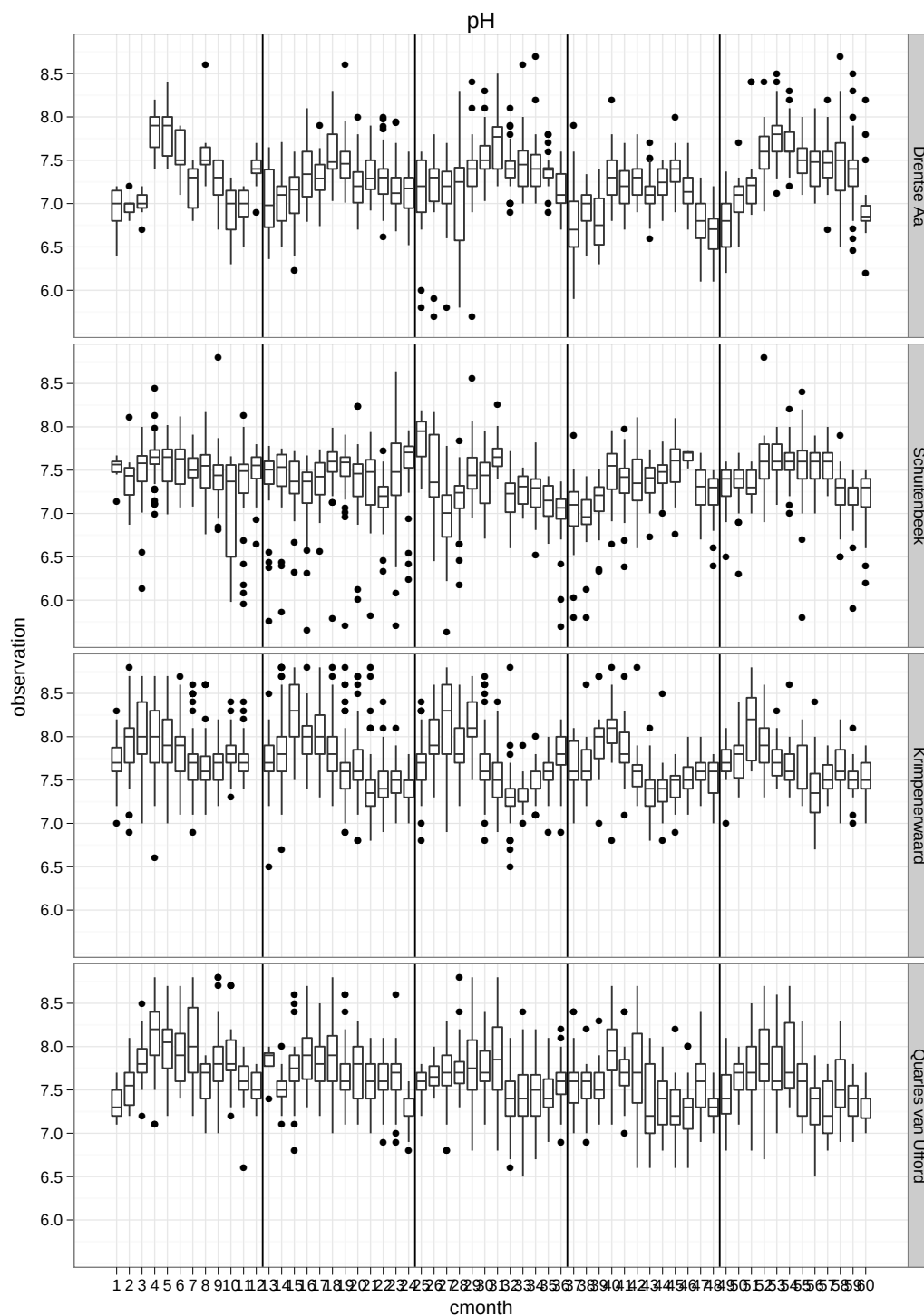
Figuur A.7: Tijdreeksen voor organisch stikstof.



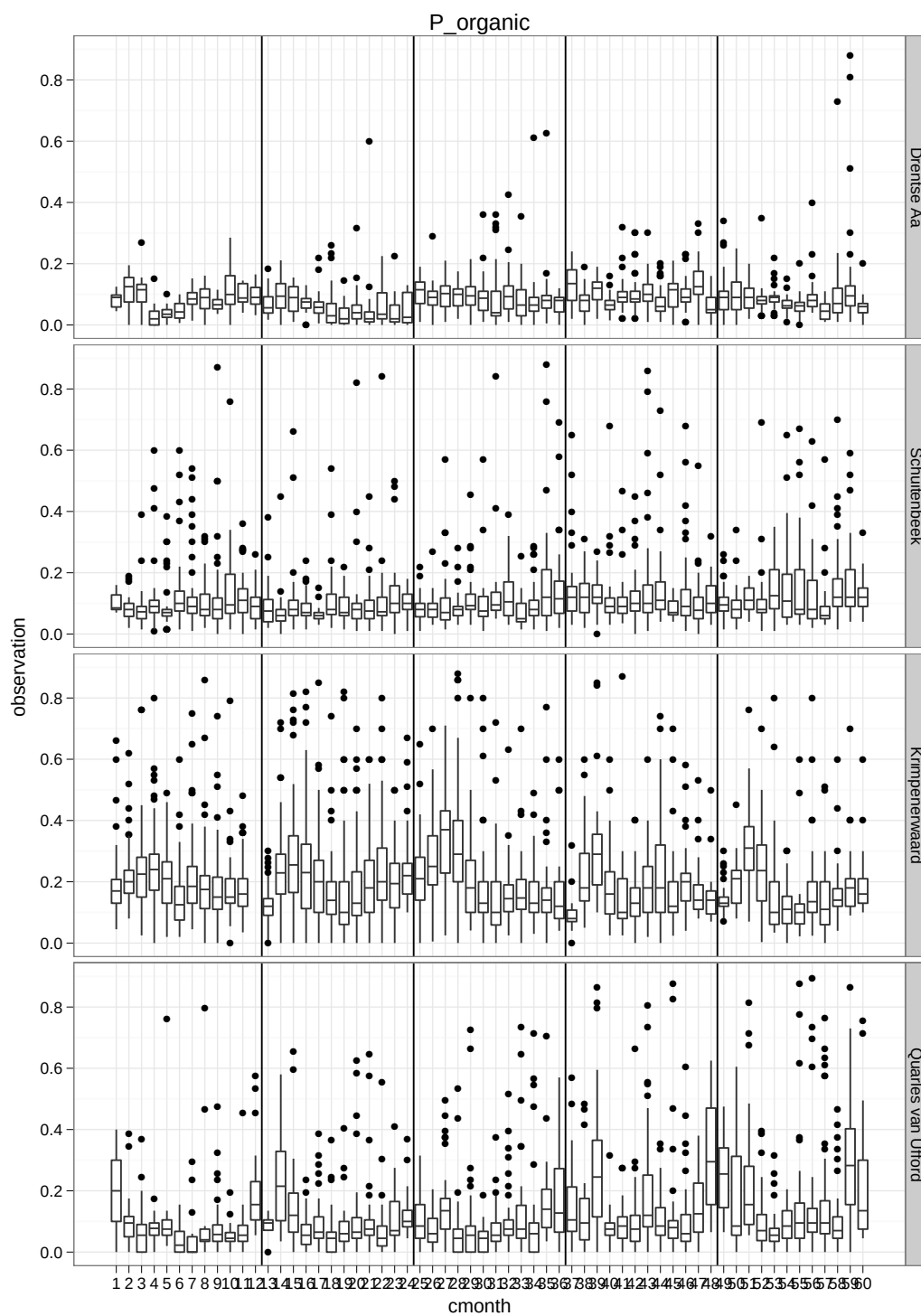
Figuur A.8: Tijdreeksen voor totaal-stikstof.



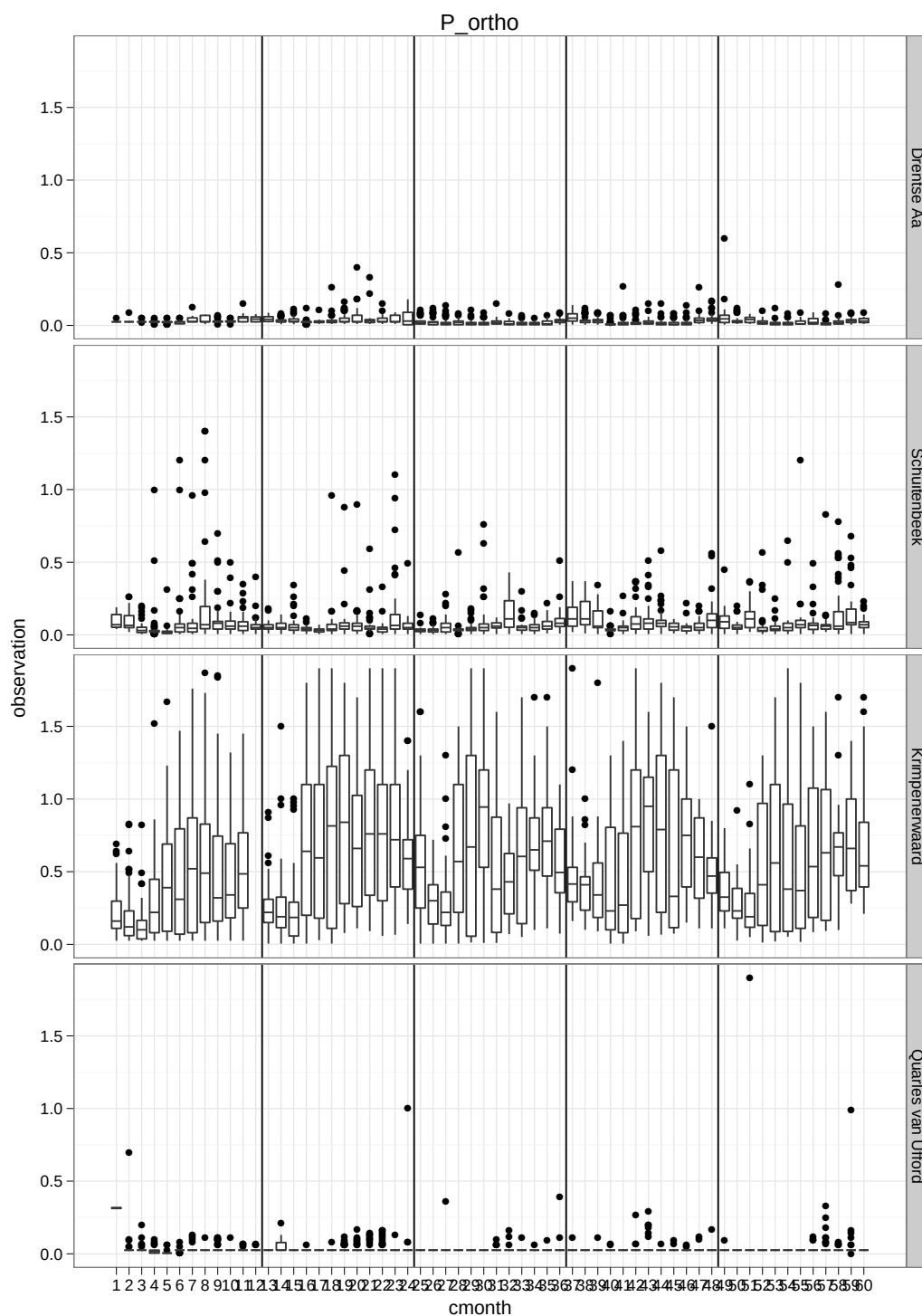
Figuur A.9: Tijdreeksen voor zuurstof.



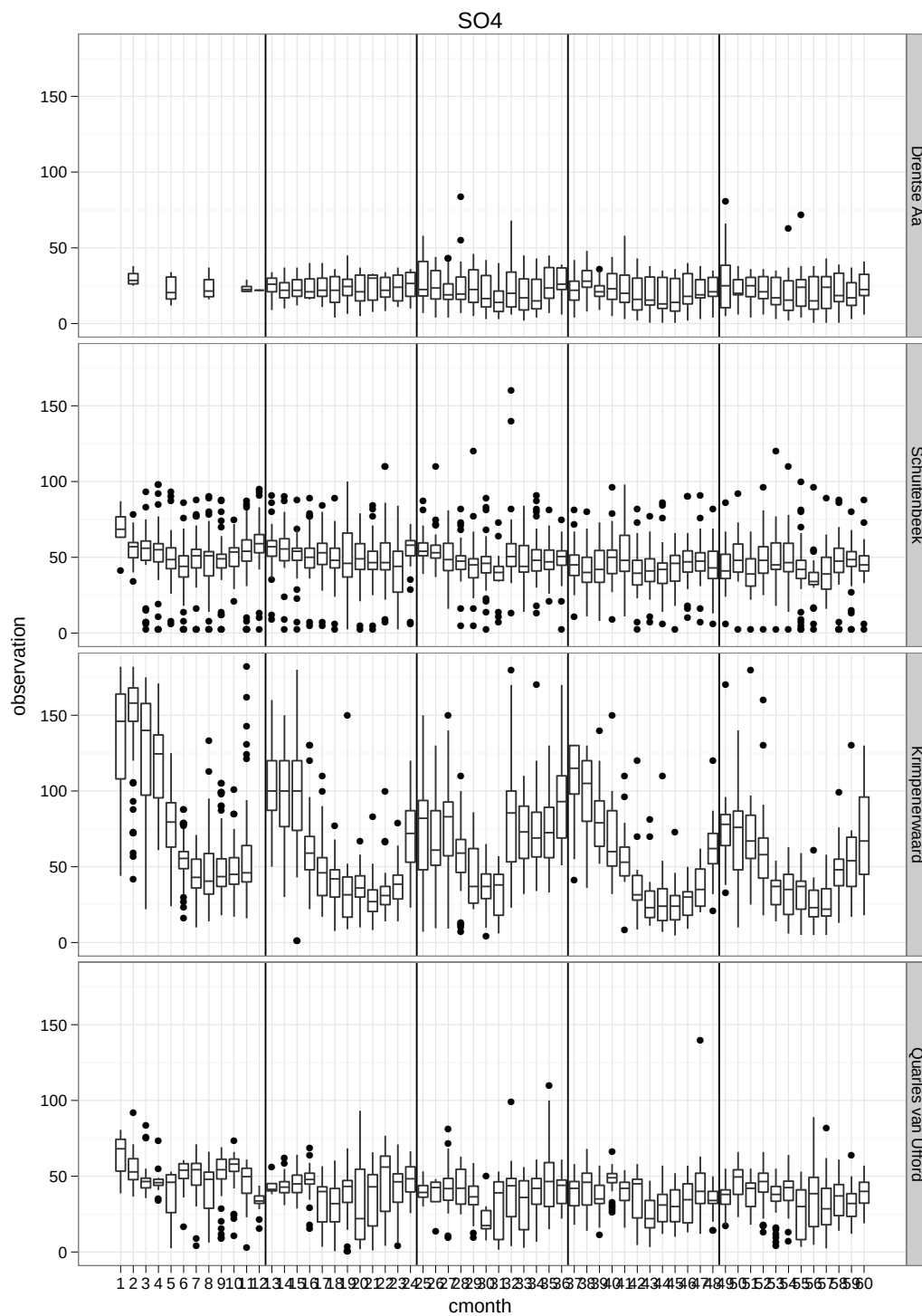
Figuur A.10: Tijdreeksen voor Zuurgraad (pH).



Figuur A.11: Tijdreeksen voor organisch fosfor.

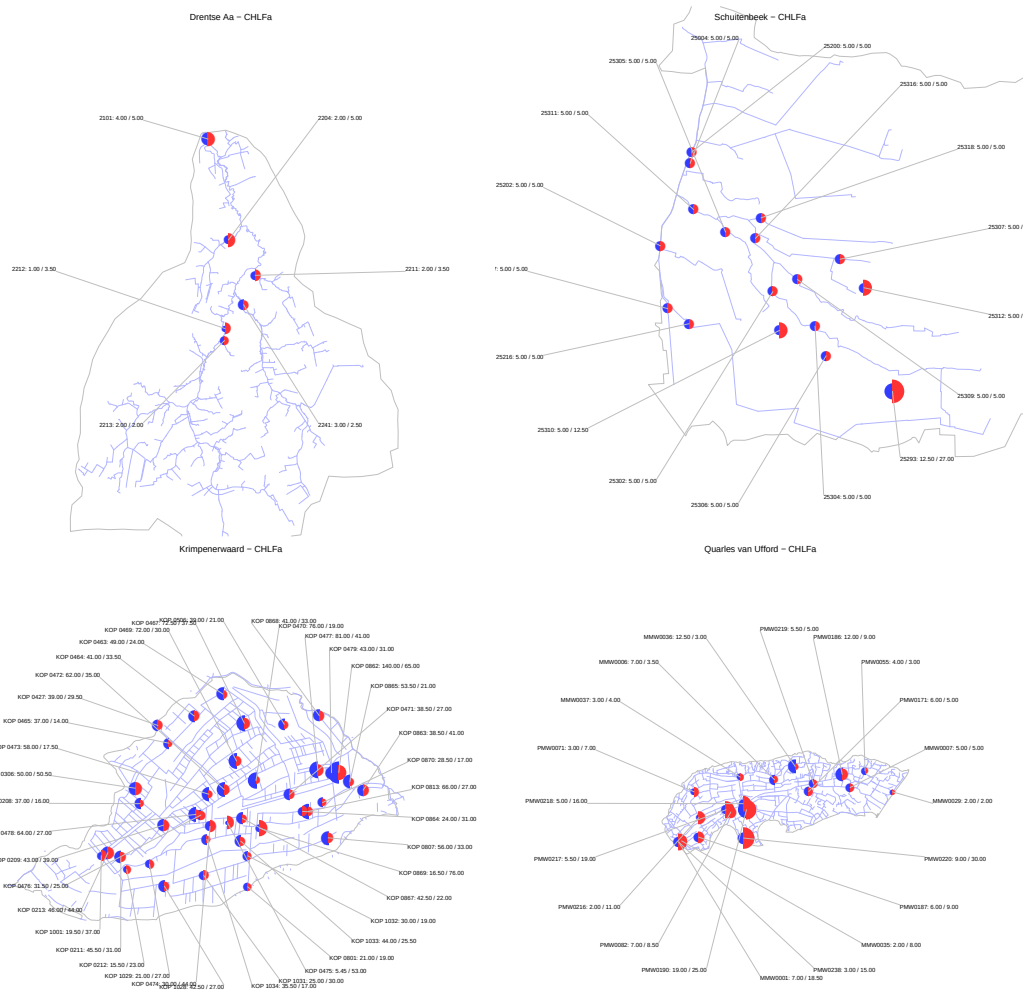


Figuur A.12: Tijdreeksen voor ortho-fosfaat.

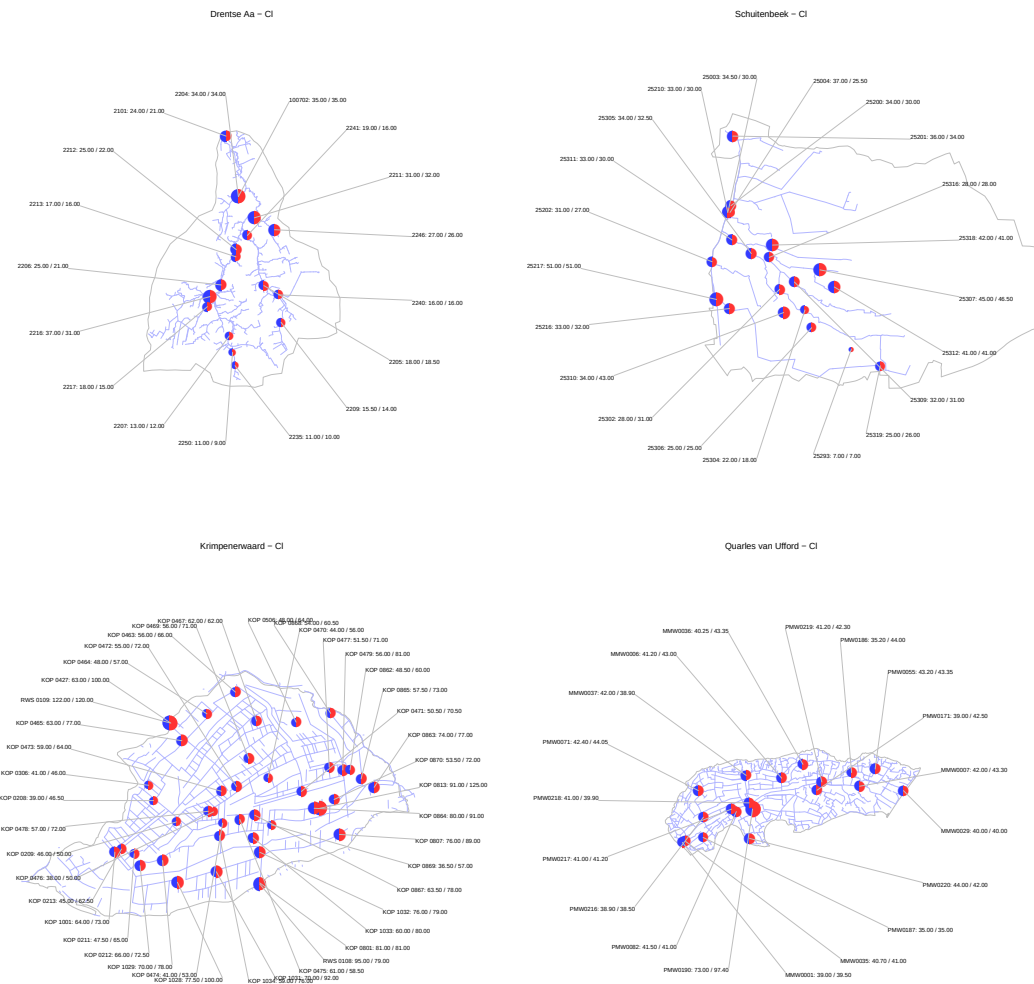


Figuur A.14: Tijdreeksen voor sulfaat.

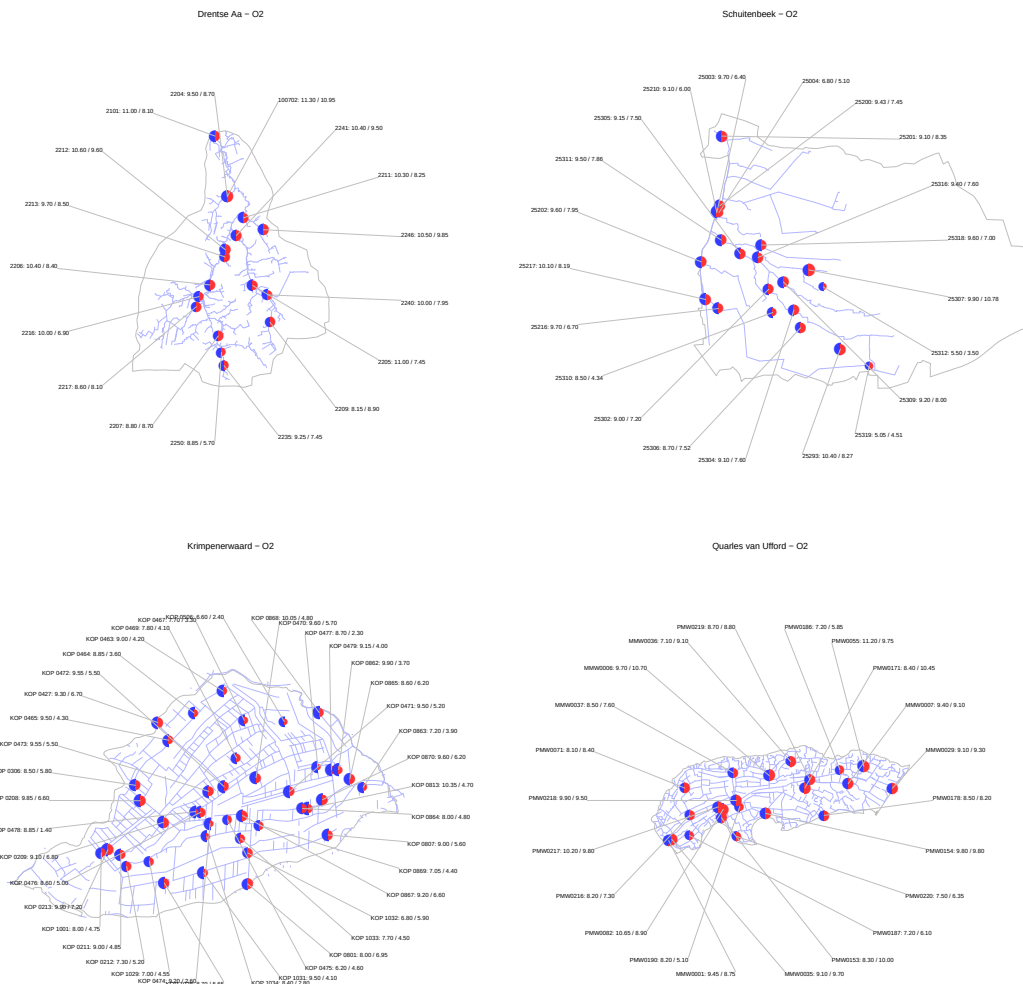
B kaarten



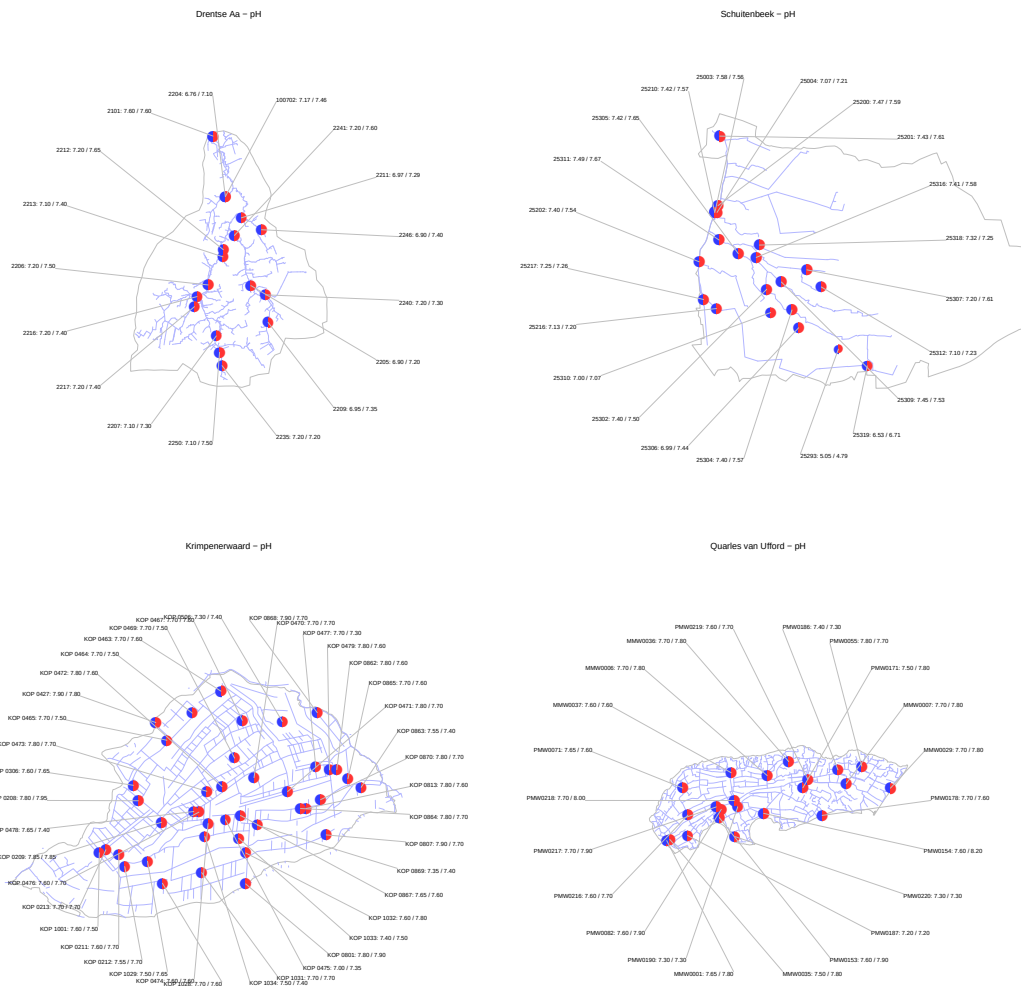
Figuur B.1: Ruimtelijke patronen voor Chlorofyl-a.



Figuur B.2: Ruimtelijke patronen voor Chloride.



Figuur B.9: Ruimtelijke patronen voor zuurstof.



Figuur B.10: Ruimtelijke patronen voor Zuurgraad (pH).

