

**Voorkomen van blauwalgen in
relatie tot fysisch-chemische
omstandigheden in Friese
oppervlaktewateren**



Voorkomen van blauwalgen in relatie tot fysisch-chemische omstandigheden in Friese oppervlaktewateren

V. Harezlac

1207011-000

Titel

Voorkomen van blauwalgen in relatie tot fysisch-chemische omstandigheden in Friese oppervlaktewateren

Opdrachtgever

Wetterskip Fryslân

Project

1207011-000

Kenmerk

1207011-000-ZWS-0004

Pagina's

114

Trefwoorden

Blauwalgen, Friese meren.

Samenvatting

Wetterskip Fryslân heeft voor een groot aantal meren waterkwaliteitsparameters en (blauw-) algentellingen beschikbaar en wilt graag weten wat de, in het beheergebied van het Wetterskip, voorkomende soorten blauwalgen zeggen over de bijbehorende sturende milieuomstandigheden in het oppervlaktewater. Naast dat dit inzicht geeft in de huidige status van de waterlichamen, geeft het ook inzicht in welke blauwalgen er bij welke milieucondities verwacht kunnen worden, wat handvatten kan opleveren voor gerichte monitoring en zo mogelijk voor maatregelen.

Deze onderzoeksvraag is opgesplitst in de volgende zes deelvragen:

1. Zijn er verschillen *tussen* de meren en in de tijd met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
2. Is een verschil *tussen* boezemwaterlocaties en polderwaterlocaties met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
3. Is er *binnen* een meer verschil tussen de jaren maar ook binnen een jaar met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
4. Hoe verhoudt zich het (procentueel) aandeel blauwalgen t.o.v. de andere fytoplanktonsoorten in de verschillende meren?
5. Is er verschil in de abundantie in blauwalgen tussen de meren en verschillen de groepen blauwalgen per meer?
6. Zijn er verschuivingen in blauwalgensoorten waarneembaar die gerelateerd kunnen worden aan klimatologische veranderingen?

Om deze vragen te beantwoorden zijn, aan de hand van een aantal statistische analyses in Matlab, de data geanalyseerd.

Uit de studie is gebleken dat:

1. Niet alle meren zijn significant verschillend van elkaar, maar de meren kunnen ook niet als één groot waterlichaam met dezelfde waterkwaliteit worden gezien. Door de tijd heen zijn er wat verschuivingen te zien in meren die significant van elkaar verschillen, maar er is geen sprake van dat de meren meer op elkaar lijken dan twintig jaar geleden.
2. Op basis van twee polderwaterlocaties lijkt het erop dat de waterkwaliteitsparameters niet structureel afwijken van de boezemwaterlocaties.
3. Over de jaren heen is er in de meeste meren een afname zichtbaar in chlorofyl-a, totaal stikstof, totaal fosfaat en opgelost fosfaat, waarbij vooral de concentratie van de laatste 3 parameters in de laatste 10 jaar significant zijn afgenomen. Voor het aandeel blauwalgen en nitraatconcentraties is deze verschuiving minder tot niet zichtbaar. Dit suggereert dat het aandeel blauwalgen onafhankelijk is van de geconstateerde veranderingen in genoemde chemische milieufactoren.

Titel

Voorkomen van blauwalgen in relatie tot fysisch-chemische omstandigheden in Friese oppervlaktewateren

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Wetterskip Fryslân	1207011-000	1207011-000-ZWS-0004	114

4. Gemiddeld beslaat het aandeel blauwalgen van het totaal aantal fytoplanktonsoorten ongeveer 30 procent, maar dit varieert tussen meren en tussen de meegenomen tijdsperioden. Gevonden significante verbanden tussen het aandeel blauwalgen en chemische milieufactoren variëren over de beschouwde perioden en meren. Multiple regressie levert weinig meer inzicht op.
5. In veel meren zijn wel dezelfde blauwalgen terug te vinden, maar er bestaan verschillen in aangetroffen blauwalggenera tussen de meren.
6. Een aantal potentieel gevaarlijke blauwalgsoorten, zoals *Cylindrospermopsis*, die vooral in warmere streken voorkwamen, zijn vanaf 2004 met enige regelmaat in de Friese meren terug te vinden.

Uit de studie is gebleken dat het wel mogelijk is om door middel van correlatie en lineaire multipele regressie analyses heersende milieuecondities te koppelen aan het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand. Echter, doordat, inherent aan dynamische systemen, de relaties tussen de meren en over de tijd veranderen, biedt dit vooralsnog weinig houvast voor gerichte monitoring en het toepassen van gerichte maatregelen. Verdere analyse van data kunnen gevonden relaties tussen het aandeel blauwalgen en milieuecondities lijken uiteindelijk wel de mogelijkheid in zich te hebben om handvatten bieden om monitoring van blauwalgproliferatie effectiever te maken.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	apr. 2013	V. Harezlac		G. van Geest		S. de Rijk	
				L.M. Dionisio Pires			

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Doel	1
1.2 Afbakening	2
1.3 Theoretisch kader	4
1.3.1 Limiterende factoren fytoplanktongroei	5
1.3.2 Milieucondities blauwalgen	5
1.3.3 Blauwalgen en toxiciteit	6
1.4 Leeswijzer	8
2 Materiaal en methode	9
2.1 Rekenprogramma	9
2.2 Statistiek	9
2.2.1 Vergelijking tussen meren op basis van zomerhalfjaar	9
2.2.2 Doorzicht	9
2.2.3 Regressie en correlatie	10
2.2.4 Multiële regressieanalyse	11
3 Resultaten	13
3.1 Vergelijking in ruimte en tijd	13
3.1.1 Patronen in de ruimte	13
3.1.2 Patronen in de tijd	17
3.1.3 Vergelijking tweede en derde kwartaal onderling in een meer per periode	20
3.2 Doorzicht	23
3.3 Aandeel van verschillende genera blauwalgen	24
3.4 Koppeling tussen aandeel blauwalgen en abiotische variabelen	31
3.5 Multiële lineaire regressie analyse	34
4 Discussie	37
4.1 Patronen in ruimte en tijd	37
4.2 Trofische staat	37
4.2.1 Blauwalgen en nutriëntlimitatie.	38
4.2.2 Blauwalgen en klimaatverandering	39
4.3 Doorzicht	39
4.4 Blauwalgen en kansen	40
4.5 Beschikbare meetinstrumenten	43
4.5.1 Monitoring	43
4.5.2 Maatregelrichtingen	44
5 Conclusie	47
6 Aanbevelingen	49
7 Literatuur	51

Bijlage(n)

A Multivergelijking tussen meren	A-1
A.1 Multivergelijking binnen een meer	A-7
B Multivergelijking op seizoensbasis	B-1
C Aandeel blauwalgen per meer	C-1
C.1 Doorzicht	C-17
C.2 Correlatie analyse	C-20

1 Inleiding

Rondom zwemwaterlocaties zorgen blauwalgen elk jaar weer voor problemen omdat ze drijflagen kunnen vormen die vaak giftig zijn. Deze drijflagen zorgen ervoor dat zwemwateren vaak een negatief zwemadvies krijgen of zelfs een zwemverbod. Ook andere (stilstaande) wateren hebben vaak te kampen met blauwalgenoverlast. Blauwalgen komen vooral voor in eutrofe en mesotrofe wateren en vormen heftige bloeien in de zomer wanneer watertemperaturen hoog oplopen. Echter, in oligotrofe systemen kunnen blauwalgen ook voorkomen en onder de juiste condities ook voor overlast zorgen, maar minder nadrukkelijk dan in eutrofe en mesotrofe wateren. Er bestaan vele geslachten (en soorten) blauwalgen, die ieder hun eigen leefstrategieën en milieuvorkeuren hebben. Daarom is het altijd moeilijk geweest om effectieve maatregelen tegen bloeien en drijflagen van blauwalgen te treffen. Ook het tijdig signaleren van mogelijk schadelijke concentraties van blauwalgen is lastig. Het 'Blauwalgenprotocol 2012' geeft handreikingen hoe te monitoren, maar richt zich alleen op het voorkomen van blauwalgen, en dan specifiek op de blauwalggroepen *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* en *Woronichinia*. Dit zijn de vijf meest voorkomende potentieel toxische geslachten in Nederland. Echter, andere blauwalgen, zoals *Nostoc* en *Lyngbya*, kunnen ook schadelijk zijn voor mens en dier (Codd et al., 2005), en voor deze zijn nog geen aanbevelingen voor monitoring en bestrijding voorhanden.

Het Blauwalgenprotocol 2012 richt zich op waarneming en meting van blauwalgen om een vinger aan de pols te houden of blauwalgen zich gaan ontwikkelen tot dichtheden dat ze een gevaar kunnen vormen voor mensen. Hierbij zijn waarneming en meting twee verschillende sporen: wanneer er een drijfslag op een locatie aanwezig is, dan volstaat een visuele inspectie, wanneer er geen drijfslag aanwezig is, dan moet er getoetst worden op hetzij de concentratie cyano-chlorofyl hetzij het biovolume van de top vijf potentieel giftige blauwalgengeslachten. In deze methodiek wordt dus geen rekening gehouden met de chemische milieucondities (in het protocol wordt wel gerefereerd aan weersomstandigheden), zoals nitraat- en opgelost fosfaatconcentraties, die belangrijk zijn in de dominantie van het type fytoplankton (bijvoorbeeld diatomeeën, groenalgen of blauwalgen) en de dominante soorten binnen een type, zoals dominantie van blauwalgen waarbij *Planktothrix* het meest voorkomt. Dus waterkwaliteitsparameters kunnen, in samenhang met fysische en klimatologische omstandigheden, aanwijzingen geven voor dominantie van het type alg en de soort binnen dit type alg.

1.1 Doel

Wetterskip en provincie Fryslân hebben vaak te maken met problemen rondom blauwalgen op zwemwaterlocaties. Drijflagen van blauwalgen en hoge hoeveelheden pigment zijn regelmatig aanleiding tot waarschuwingen, negatieve zwemadviezen of zwemverboden. Om de blauwalgproblemen te doen verminderen of op te heffen, zijn er geen concrete maatregelen voor handen omdat het onbekend is welke maatregelen overwogen kunnen worden door gebrek aan locatie specifieke kennis omtrent belangrijke factoren die sturend zijn voor de aard en omvang van blauwalgenpopulaties.

Door het beschikbaar stellen van data met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en (blauw-)algentellingen voor een groot aantal meren, moet er inzicht worden verkregen over wat de, in het beheergebied van het waterschap, voorkomende soorten blauwalgen zeggen over de omstandigheden in het oppervlaktewater en welke blauwalgen bij welke

milieucondities verwacht kunnen worden. Dit moet leiden tot handvatten voor gerichte monitoring. Dit is een zeer breed onderzoeksgebied en daarom zijn de volgende zes deelvragen geformuleerd waarop in dit rapport wordt ingegaan:

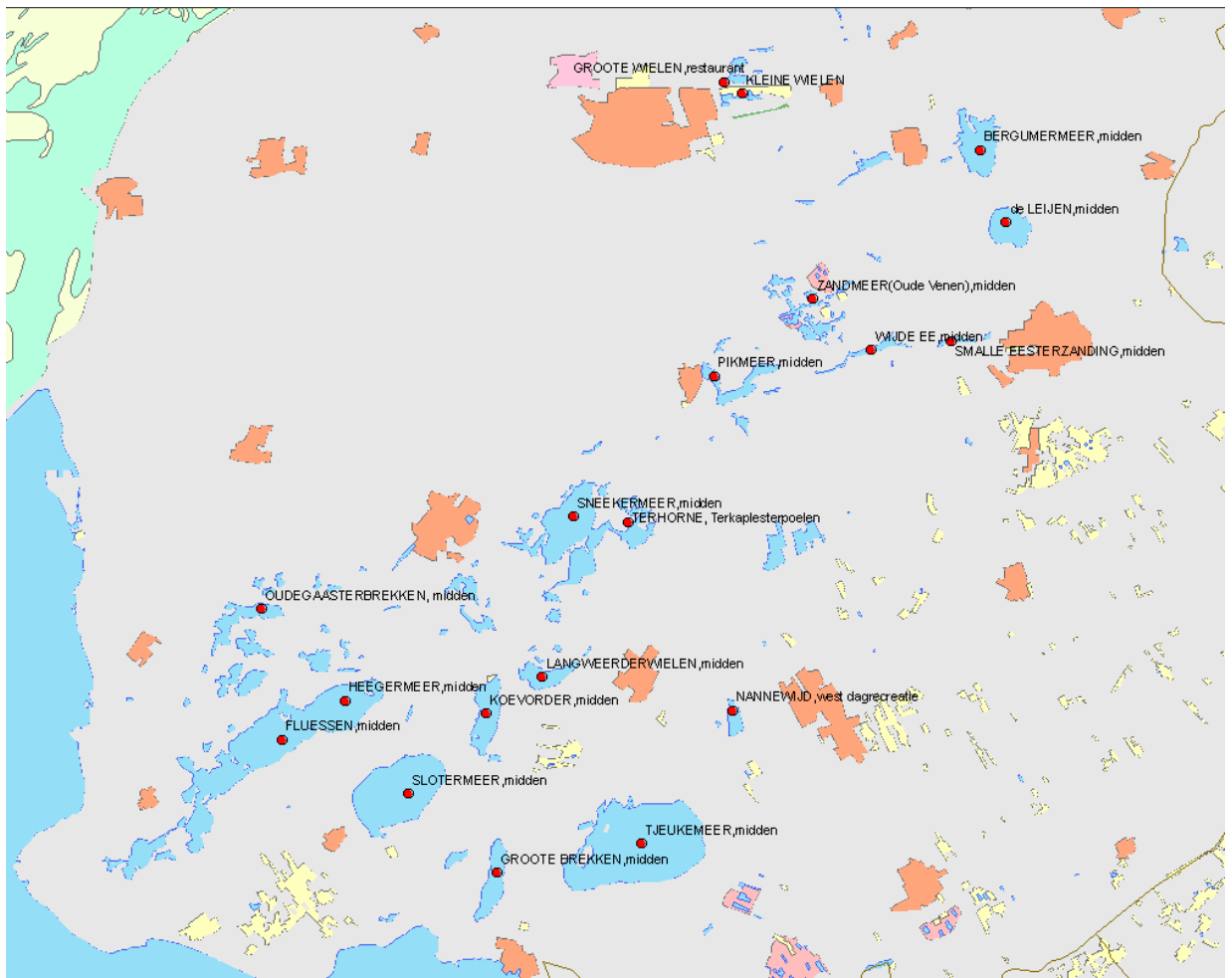
- 1 Zijn er verschillen *tussen* de meren en over de tijd met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
- 2 Is een verschil *tussen* boezemwaterlocaties en polderwaterlocaties met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
- 3 Is er *binnen* een meer verschil over de tijd maar ook binnen een jaar met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
- 4 Hoe verhoudt zich het (procentueel) aandeel blauwalgen t.o.v. de andere fytoplanktonsoorten in de verschillende meren?
- 5 Is er verschil in de abundantie in blauwalgen tussen de meren en verschillen de groepen blauwalgen per meer?
- 6 Zijn er verschuivingen in blauwalgensoorten waarneembaar die gerelateerd kunnen worden aan klimatologische veranderingen?

1.2 Afbakening

De door het Wetterskip geleverde data bevat waterkwaliteitsdata en algentellingen voor 19 meren voor de periode 1984 tot en met 2012 (niet voor elk meer exact dezelfde periode en datadichtheid) (zie Tabel 1.1 en Figuur 1.1). Op grond van de zeer beperkte algentellingen in de Oudegaasterbrekken is besloten dit meer buiten beschouwing te laten. Verder laat Tabel 1.1 zien dat Kleine Wielen en Nanneewijd polderwaterlocaties zijn. In de analyses zal gekeken worden of deze meren systematisch van de andere (boezemwater) locaties afwijken, maar doordat het slechts 2 meren betreft, kunnen hier geen harde conclusies aan worden verbonden. De data van de aangeleverde locaties komen uit algemene waterkwaliteitsmeetpunten en niet van de zwemwaterlocatie in de meren.

Tabel 1.1 Overzicht van de beschouwde meren, korte naam (Kort), jaren waar algentellingen van beschikbaar zijn, type water en locatiecode nummer (Loc.) van Wetterskip Fryslân.

Volledige naam	Kort	Algentellingen	Type water	Loc.
Groote Wielen	GW	1986-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	24
Bergumermeer	BM	1984-2010	Boezemwater	34
De Leijen	DL	1986-2002, 2004-2006, 2010	Boezemwater	45
Zandmeer	ZM	1986-2002, 2004-2006, 2010	Boezemwater	51
Pikmeer	PK	1989-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	53
Wijde Ee	WE	1989-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	56
Smalle Eesterzanding	SE	1986-1999, 2004 en 2009	Boezemwater	57
Sneekermear	SnM	1989-2009	Boezemwater	75
Fluessen	FL	1989-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	85
Heegermeer	HG	1984-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	86
Koevorder	KV	1989-1999, 2003 en 2008	Boezemwater	89
Langweerderwielen	LW	1989-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	90
Slotermeer	SIM	1984-2010	Boezemwater	105
Groote Brekken	GB	1984-2010	Boezemwater	121
Tjeukemeer	TM	1989-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	142
Nanneewijd	NW	1991-2002, 2006 en 2010	Polderwater	246
Kleine Wielen	KW	1993-1996, 1998, 2003, 2009-2010	Polderwater	290
Ter Horne	TH	1993, 1994, 2000-2002, 2006 en 2010	Boezemwater	317
Oudegaasterbrekken	OB	2003 en 2008	Boezemwater	774



Figuur 1.1 Ligging van de 18 meren waarvan waterkwaliteitsdata is aangeleverd.

Verder heeft het Wetterskip data aangeleverd over de diepte (“Diepte gegevens.docx”) en verblijftijden (“memo_oplevering Arcadis.docx”) van een aantal meren. Uit deze data blijkt dat de diepte van de meren niet dusdanig verschilt dat er een scheiding te maken valt tussen diepe en ondiepe meren. Deze parameter wordt daarom niet meegenomen in de analyses. De verblijftijden dusdanig lang dat waterkwaliteitsprocessen (in plaats van transportprocessen) een belangrijke rol spelen in de waterkwaliteit van het betreffende meer; er wordt daarom geen onderscheid gemaakt in verblijftijden tussen de meren.

De lange periode van metingen helpt om inzicht te krijgen in de eventuele trends in waterkwaliteit die hebben plaats gehad in deze Friese meren. Echter, om handvatten te kunnen bieden voor effectievere blauwalgenmonitoring, is het van belang om in te zoomen op de huidige stuurvariabelen van fytoplanktongroei, en dan in het bijzonder die van blauwalgengroei. Er zal dus eerst een trendanalyse worden gedaan voor de hele dataset waar wordt gekeken naar ruimtelijke en temporele verschillen tussen en voor de laatste factor tussen en binnen de meren. Daarna wordt er sterker ingezoomd op de mogelijk verklarende variabelen voor blauwalgengroei in de meer recente jaren.

Waterkwaliteitsdata (oppervlaktemetingen) zijn voor de meeste meren beschikbaar voor de periode 1984-2012, en voor een aantal meren voor de periode 1989-2012 (Kleine Wielen, Nanneveld, Ter Horne en Tjeukemeer). Om trends niet te gaan missen, maar om wel over voldoende data te kunnen beschikken voor statistische analyses wordt dezelfde periode-indeling gebruikt (en argumentatie) als in het rapport van Van Dam (2007), te weten:

- 1984-1988 (periode 1)
- 1989-1993 (periode 2)
- 1994-1998 (periode 3)
- 1999-2003 (periode 4)
- 2003-2008 (periode 5)
- 2009-2012 (periode 6)

De waterkwaliteitsparameters die worden meegenomen in de statistische analyses zijn:

- Totaal stikstof
- Totaal fosfaat
- Nitraat
- Opgelost fosfaat
- Chlorofyl-a
- Temperatuur
- Wind (afkomstig van KNMI station Leeuwarden)

Deze parameters staan bekend om hun directe en/of indirecte invloed op fytoplanktongroei en effecten op interspecifieke concurrentie. Chlorofyl-a wordt meegenomen het aandeel blauwalgen van de totale fytoplanktonsamenstelling te bepalen. De focus beperkt zich tot het zomerhalfjaar, omdat de blauwalgproblematiek zich vooral in de zomer voordoet.

Doorzicht wordt niet meegenomen in de statistische analyse omdat er autocorrelatie bestaat met de fytoplanktonbiomassa. Wel wordt doorzicht gebruikt in een grafische analyse van de eufotische zone en blauwalgendominantie (zie §2.2.2). Verder worden in de analyses verblijftijden niet meegenomen. Verblijftijden in het Friese boezemstelsel is een lastige parameter is: het water en dus ook algen en nutriënten in het systeem 'klotst' van meer naar meer. Hierdoor zegt de verblijftijd van een meer niets meer dan hoe lang water bezig is om van het ene kant van een meer naar de andere kant te komen om vervolgens weer in een volgend meer aan te komen. De verblijftijd is wel bepalend in hoeverre de algen de 'de tijd krijgen' om zich in een specifiek meer aan te passen aan de daar geldende milieucondities. Er wordt vanuit gegaan dat in de beschouwde meren de verblijftijd voldoende lang zodat de fytoplanktonpopulatie zich volledig op de geldende milieucondities aan kan passen (30-60 dagen).

1.3 Theoretisch kader

Blauwalgen worden vooral gerelateerd aan eutrofe watersystemen maar ze zijn niet altijd dominant in deze systemen en kunnen ook voorkomen onder meso- en oligotrofe omstandigheden waar ze ook onder specifieke omstandigheden voor hoge (gevaarlijke) toxine concentraties kunnen zorgen (Schreurs, 1992). Maar wat zijn deze omstandigheden dan? In onderstaande tekst wordt eerst ingegaan op de algemene limiterende factoren voor fytoplanktongroei (§0), daarna wordt er meer in detail gekeken naar de stuurvariabelen van blauwalgengroei (§1.3.2).

1.3.1 Limiterende factoren fytoplanktongroei

Fytoplanktongroei hangt af van de beschikbaarheid van nutriënten (de belangrijkste zijn N, P en Si) en zonlicht. Als de gehalten aan opgeloste nutriënten laag of onder de detectielimiet zijn, dan is er waarschijnlijk sprake van een nutriëntenlimitatie. Lichtlimitatie treedt op als de hoeveelheid energie die beschikbaar is voor groei juist genoeg is om de verliestermen (respiratie, sterfte, sedimentatie) te compenseren. Anders dan voor nutriënten geldt voor licht dat de beschikbaarheid sterk varieert over de diepte (de lichtsterkte dooft exponentieel uit) en in de tijd (dag – nachtcyclus, jaarcyclus). De waarde van de lichtuitdovingscoëfficiënt wordt bepaald door de eigenschappen van het water zelf en de daarin opgeloste stoffen, zoals anorganisch zwevend stof, levend en dood fytoplankton en humuszuren.

In de winter, wanneer fytoplanktongroei meestal laag is, zijn licht en temperatuur de belangrijkste limiterende factoren. Nutriënten zijn dan niet vaak limiterend door af- en uitspoeling ervan en mineralisatie (bacteriële afbraak) van dood organisch materiaal. Als de instraling en temperatuur toeneemt in het voorjaar, dan komt de fytoplanktongroei op gang.

In de Friese meren is – net als in veel andere Nederlandse meren - over de afgelopen decennia het doorzicht toegenomen. Dit betekent dat lichtlimitatie minder belangrijk wordt, maar nutriëntlimitatie des te meer (dit houdt niet in dat er geen sprake meer is van lichtlimitatie, alleen dat het accent verschuift). Daarnaast zijn abiotische parameters ook van belang, zoals temperatuur en wind. Temperatuur heeft direct effect op netto groeisnelheden, wind heeft effect op resuspensie van sediment en dus op het lichtklimaat, maar heeft ook effect op de waterstroming en golfenergie en bepaald dus mede de dynamiek van de waterkolom. Verder wordt fytoplanktongroei ook beïnvloed door het voedselweb, bijvoorbeeld:

- Het voorkomen van veel waterplanten in een waterlichaam zorgt voor competitie voor nutriënten tussen waterplanten en fytoplankton en voor het invangen van zwevende stof;
- Het voorkomen van bodem-omwoelende vis zorgt voor resuspensie van sediment waardoor het water troebel kan worden; dit heeft invloed op het onderwaterlichtklimaat en faciliteert interne eutrofiëring. Verder kan door resuspensie nutriënten beschikbaar komen voor algengroei.
- Het voorkomen van veel zoöplankton-etende vis in het voorjaar zorgt voor onderdrukking van het zoöplankton waardoor algenbloeien makkelijker kunnen gaan optreden

Wijzigingen in een waterlichaam, zoals veranderingen in nutriëntconcentraties, temperatuur, wind, waterplantbedekking, zorgen ervoor dat de lokale milieucondities veranderen waardoor de competitie tussen fytoplanktonsoorten verandert. Deze Verandering in competitie kan leiden tot verandering in samenstelling van de fytoplanktonsoorten en dus ook tot een verandering in het aandeel blauwalgen in de totale fytoplanktonbiomassa en de soorten blauwalgen.

1.3.2 Milieucondities blauwalgen

Blauwalgen hebben over het algemeen een veel lagere groeisnelheid dan het meeste andere fytoplankton (Hoogenhout en Amesz, 1965, Reynolds, 1984). Wanneer er geen lichtlimitatie is en de watertemperatuur 20°C bedraagt, halen blauwalgen gemiddeld zo'n 0.3 tot 1.4 dubbelingen per dag. Diatomeeën en groenalgen halen onder deze omstandigheden 0.8-1.9 en 1.3-2.3 dubbelingen per dag, respectievelijk (Van Liere en Walsby, 1982). Wanneer de watertemperatuur oploopt, neemt de groeisnelheid van blauwalgen toe: 25 °C of iets hoger is voor de meeste blauwalgsoorten een optimumtemperatuur (Robarts en Zohary, 1987). Dit is

hoger dan de optimumtemperatuur van diatomeeën en groenalgen. Doordat in Nederland de watertemperaturen vaak niet zo ver oplopen, zijn lange verblijftijden nodig om een blauwalg gedomineerd systeem te creëren (Mur et al., 1999).

Zoals eerder genoemd, worden blauwalgen vaak gekoppeld aan eutrofe wateren; er is lang gedacht dat blauwalgen hoge stikstof- en fosfaatconcentraties nodig hadden, echter, experimentele data hebben aangetoond dat blauwalgen vaak een hogere affiniteit hebben voor stikstof of fosfaat dan veel andere primaire producenten. Als gevolg kunnen blauwalgen andere algensoorten wegconcurreren onder stikstof- of fosfaatlimitatie (Mur et al., 1999). Blauwalggenera laten een grote diversiteit zien in affiniteit voor stikstof of fosfaat, hierdoor zijn bepaalde blauwalggenera typerend zijn voor stikstof- of fosfaatgelimiteerde systemen.

De genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Nodularia* en *Nostoc* zijn stikstof-fixeerders: zij kunnen stikstof uit de atmosfeer opnemen in N_2 vorm en komen vooral voor in stikstof gelimiteerde watersystemen. Echter, stikstoffixatie is een energetisch kostbaar proces, waardoor stikstoffixeerders niet dominant kunnen worden in troebele (licht gelimiteerde) systemen (Zevenboom en Mur, 1980).

Blauwalggenera die sterk kunnen concurreren met andere algentypen in fosfaat gelimiteerde systemen zijn een aantal soorten uit de geslachten *Synechococcus*, *Synechocystis*, *Planktolyngbya*, *Anabaena* en *Aphanizomenon*. De sterke concurrentie positie is gestoeld op de eigenschap dat een aantal blauwalgen fosfaat kunnen opslaan (Mur et al, 1999) en/of dat ze enzymen kunnen uitscheiden die organisch gebonden fosfaat kunnen 'losweken' (Huisman en Hulot, 2005).

Een ander belangrijk punt met betrekking tot stuurvariabelen is dat een aantal blauwalggenera 'actief' over de verticaal kunnen migreren, zoals *Microcystis spp.* Nabij het wateroppervlak maakt deze blauwalgsoort veel koolhydraten (voornamelijk suikers) aan waardoor de cellen te zwaar worden om te blijven drijven en uitzakken naar diepere waterlagen. Wanneer de cellen in diepere (en vaak donkerdere) waterlagen komen, worden koolhydraten verbruikt en worden gasvacuoles gevormd. Dit leidt weer tot opwaartse migratie van de cellen. Een voorwaarde voor deze verticale migratie is dat het watersysteem niet erg gemengd wordt door bijvoorbeeld wind geïnduceerde stroming (Mur et al., 1999).

1.3.3 Blauwalgen en toxiciteit

In het Blauwalgenprotocol 2012 is opgenomen dat bij meer dan 15 mm³/l biovolume aan *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix* en/of *Woronichinia* of bij een cyano-chlorofylconcentratie hoger dan 75 µg/l de concentratie microcystines moet worden gemeten. Dit is echter, zoals ook aangegeven in het Blauwalgenprotocol, niet de enige toxine die geproduceerd kan worden door blauwalgen. Tabel 1.2 toont een overzicht van door blauwalgen geproduceerde toxines, de effecten en welke blauwalggenera er bij betrokken (kunnen) zijn. De microcystine meting geeft dus maar een beperkt inzicht in de toxiciteit van een bepaalde blauwalgproliferatie.

Tabel 1.2 Door blauwalgen geproduceerde toxines, het effect van de toxines en de genera die de toxines produceren. Overgenomen uit Codd et al., 2007.

Toxinegroep	Toxine	Effect	Producterende genera
Hepatotoxines	Microcystines	Fosfatase remmer, aantasting van celmembranen, signaal verstoring op celniveau, bevordering van tumoren	<i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Hapalosiphon</i>
	Nodularines	Fosfatase remmer, aantasting van celmembranen, signaal verstoring op celniveau, bevordering van tumoren, carcinogeen.	<i>Nodularia</i> , <i>Theonella</i>
	Cylindrospermopsines	Afbraak van lever-, nier-, milt-, long- en darmcellen, proteïne synthaseremmer, genotoxisch	<i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Umezakia</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Raphidiopsis</i>
Neurotoxines	Anatoxine-a	Blokkeert depolarisatie van neuromusculaire weefsel	<i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Raphidiopsis</i>
	Anatoxine-a (s)	Remmer van acetylcholinesterase	<i>Anabaena</i>
	Saxitoxines	Blokkeert natrium kanaal	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Planktothrix</i> .
Dermatoxines en cytotoxines	Lyngbyatoxine-a en Aplysiatoxines	Ontvlambaar, activeert proteïne kinase C	<i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Planktothrix</i>
Endotoxines	Lipopolysaccharides	Ontvlambaar, irriteert het maag-, buik-, darmsysteem	<i>All?</i>

Overigens is het niet zo dat een bepaalde biomassa met een bepaalde blauwalgsamenstelling altijd dezelfde hoeveelheid toxines produceert. Verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat bij een vaste blauwalgbiomassa van bijvoorbeeld *Microcystis* de geproduceerde hoeveelheid microcystine een factor vijf kan verschillen (Kardinaal en Visser, 2007). Verschillen in microcystine productie komt door:

- Fysiologische verschillen
 - o Verschillen in onder andere nutriëntbeschikbaarheid, lichtcondities en temperatuur;
- Variatie in genotype samenstelling
 - o Verschillende genotypen van een blauwalgsoort blijken verschillend te kunnen zijn in:
 - Het kunnen produceren van microcystine
 - Productiecapaciteit (Kardinaal en Visser, 2007).

Een klein houvast met betrekking tot de toxiciteit van blauwalgen lijkt echter wel aanwezig te zijn. Een aantal studies hebben aangetoond dat de toxiciteit van *Microcystis* een bepaalde periodiciteit tentoon spreidt: aan het begin van een *Microcystis*proliferatie is de hoeveelheid geproduceerde microcystines hoger dan op een later tijdstip tijdens de *Microcystis*proliferatie (Welker et al., 2003; Wicks en Thiel, 1990; Watanabe, 1992; Jacoby, 1999; Cronberg, 1999; Kardinaal en Visser, 2007).

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de data die gebruikt is en hoe deze is toegepast. Hoofdstuk 3 toont de resultaten van de data-analyse. In hoofdstuk 4 is de discussie terug te vinden, gevolgd door de conclusie (hoofdstuk 5) en de aanbevelingen (hoofdstuk 6).

2 Materiaal en methode

In §1.2 is reeds ter sprake gekomen welke data er door het Wetterskip is aangeleverd, hierdoor wordt er in dit hoofdstuk vooral ingegaan op de analyses die gebruikt worden om verbanden tussen (a-)biotische factoren en het aandeel blauwalgen in de totale fytoplanktonbiomassa te achterhalen.

2.1 Rekenprogramma

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd met het rekenprogramma Matlab, versie 7.11.0 (2010b). Excel (2010) is gebruikt om de data te ordenen, een aantal figuren te maken.

2.2 Statistiek

2.2.1 Vergelijking tussen meren op basis van zomerhalfjaar

Een eerste analyse van de waterkwaliteitsdata van het zomerhalfjaar liet zien dat alle meegenomen data niet normaal verdeeld zijn. Met uitzondering van temperatuur zijn de data positief geskewed (veel lage waarden, relatief weinig hoge waarden). Temperatuur is negatief geskewed (veel hoge waarde, relatief weinig lage waarden). Doordat de data dus niet normaal verdeeld zijn, is het niet mogelijk om een one-way ANOVA test uit te voeren op de 18 Friese meren om te testen op onderling verschil in waterkwaliteit tussen deze meren.

Om deze reden wordt de Kruskal-Wallis test, een niet-geparameteriseerde test, gebruikt. Deze test vergelijkt de medianen van de verschillende meren per waterkwaliteitsparameter en test de hypothese dat alle metingen van hetzelfde meer komen met een significantieniveau van 0.05. Naast de Kruskal-Wallis test wordt nog wel een one-way ANOVA test uitgevoerd, om een *schatting* te krijgen van de bandbreedte van de waarden van de parameters. Een multi-pele vergelijkingprocedure vergelijkt vervolgens de meren onderling zodat de meren per periode met elkaar vergeleken kunnen worden en per meer de perioden onderling.

2.2.2 Doorzicht

Zoals eerder aangegeven, wordt het doorzicht mede bepaald door de concentraties fytoplankton in de waterkolom en bestaat er dus autocorrelatie tussen deze twee parameters. Dit maakt het lastiger om een statistische relatie af te leiden tussen doorzicht en fytoplankton. Echter, de relatie tussen de eufotische zone (Z_{eu}) en de mengdiepte (Z_m) van een meer kan wel inzicht geven over het leefmilieu van algen. De eufotische zone is de diepte van een meer waar 1% van het licht aanwezig is van het licht dat aan het oppervlakte van het meer doordringt. Er wordt aangenomen dat deze 1% voldoende is voor algen om fotosynthese uit te voeren. De eufotische zone kan berekend worden (bij benadering) door het doorzicht te vermenigvuldigen met 1.7 (Reynolds, 1984). De mengdiepte van de Friese meren is gelijk gesteld aan de diepte van deze meren omdat verondersteld wordt dat deze ondiepe meren goed gemengd zijn.

Verder geeft de ratio Z_{eu}/Z_m niet alleen inzicht in de mate van lichtpenetratie van de waterkolom, maar zegt het ook iets over de periode van licht die algen ervaren. Uit onderzoek is gebleken dat bij een ratio van 0.3-0.8 de kans op blauwalgen dominantie hoog is. Boven de waarde van 0.8 is dit onwaarschijnlijk. Aanvullend hierop is gebleken dat voor het Veluwemeer de dominantie van blauwalgen afnam tussen de waarden 0.3 en 0.6 (Schreurs, 1992). Met deze kennis zal er een grafische analyse worden gedaan van de Z_{eu}/Z_m ratio in

relatie tot de Friese meren. De diepte gegevens is afkomstig uit "Diepte gegevens.doc", verstrekt door het Wetterskip.

2.2.3 Regressie en correlatie

Simpele regressieanalyse laat door middel van een geschatte functie zien hoe twee variabelen met elkaar samenhangen. Dit is op zich een goede manier om een eerste indruk te krijgen van hoe milieuparameters samenhangen. Een correlatie analyse geeft een waarde (R^2) die weergeeft hoeveel de ene variabele verklaard kan worden door een andere variabele. Doordat R^2 een makkelijker te interpreteren resultaat is dan grafieken, is voor de correlatie analyse gekozen om verbanden tussen het aandeel blauwalgen in de totale fytoplankton biomassa en chlorofyl-a-, totaal stikstof-, nitraat-, totaal fosfaat- en opgelost fosfaatconcentraties, temperatuur en wind te vinden. De toegepaste correlatie analyse maakt gebruik van de Pearson methode.

In Tabel 2.1 staan de frequenties van algentellingen per meer en per periode weergegeven. Wanneer de frequentie van de tellingen minder is dan 6 (arbitrair), dan is voor de periode geen correlatie analyse voor dat betreffende meer uitgevoerd. In de hoofdtekst worden alleen de correlatie analyses van de perioden 2004-2008 en 2009-2012 behandeld, omdat deze perioden de huidige samenhang tussen de verschillende parameters weergeven en als zodanig beter het huidige systeem beschreven dan de correlatie analyses van oudere perioden. De resultaten van de oudere periodes zijn opgenomen in bijlage 7C.2.

Tabel 2.1 Overzicht van de frequentie van algentellingen per meer per periode.

Periode	1984-1988	1989-1993	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2012
Meer						
Bergumermeer	30	30	38	43	45	18
De Leijen	3	10	34	34	15	9
Fluessen	0	10	12	34	9	9
Groote Brekken	30	30	37	34	9	9
Groote Wielen	9	17	35	34	9	9
Heegermeer	30	30	36	34	9	9
Kleine Wielen	0	3	12	0	3	9
Koevorder	0	10	6	4	3	0
Langweerderwielen	0	10	5	27	9	9
Nanneveld	0	18	28	29	9	9
Pikmeer	0	10	5	27	8	9
Slotermeer	30	30	39	43	45	18
Smaller Eesterzanding	3	10	5	1	3	3
Sneekermeer	0	10	33	43	45	18
Terhorne	0	6	6	23	9	9
Tjeukemeer	105	30	40	33	9	9
Wijde Ee	0	10	5	27	9	9
Zandmeer	3	10	18	34	15	9

2.2.4 Multipele regressieanalyse

Multipele regressieanalyse is een uitbreiding van een simpele regressieanalyse: er worden meerdere variabelen gebruikt om de variatie in één variabele te verklaren. Multipele regressieanalyse is dus een goede methode om voor een meer de bijdrage van verschillende parameters op het aandeel blauwalgen in beeld te brengen. Het is derhalve een inzichtelijke methode die weergeeft welke concentraties en waarden van parameters de kans op een hoog aandeel blauwalgen van de totale fytoplankton verhogen.

Echter, bij multipele regressieanalyse kan multicollineariteit optreden wanneer de onafhankelijke variabelen onderling sterk correleren: beide onafhankelijke variabelen 'verklaren' vrijwel dezelfde variatie in Y. Er is geen absolute regel wanneer multicollineariteit 'ernstig' wordt. De oplossing is om één van de twee onderling correlerende onafhankelijke variabelen uit de analyse te verwijderen of om de hoeveelheid metingen te vergroten. In deze studie is ervoor gekozen om een extra periode in te voeren, 2004-2012, waardoor het aantal metingen in een periode toeneemt.

Bij het uitvoeren van een multipele regressieanalyse is de 'stepwisefit' functie gebruikt. Deze functie voert een stapsgewijze multi-lineaire regressie uit waarbij er gestart wordt met een lege relatie. Parameters worden enkel toegevoegd aan de relatie wanneer er op een significantieniveau van 0.10 de hypothese verworpen kan worden dat de coëfficiënt voor die parameter niet gelijk is aan nul. Er is gekozen voor een significantieniveau van 0.10 omdat een significantieniveau van 0.05 maar een zeer beperkt aantal verklarende variabelen werden gevonden. Op parameters die al in de relatie zijn opgenomen wordt bij het toevoegen van een nieuwe parameter getest of de coëfficiënt ongelijk is aan nul, wederom op een significantie niveau van 0.10. Wanneer blijkt dat in de nieuwe setting de coëfficiënt wel gelijk is aan nul, dan wordt de parameter verwijderd.

De juistheid van de resulterende relatie wordt weergegeven in de Root Mean Square Error (RMSE). De RMSE berekent de afwijking van de meetdata ten opzichte van data die resulteert uit de relatie. Hoe kleiner de afwijking tussen meet- en berekende data, hoe kleiner de fout en dus hoe kleiner de RMSE. Een RMSE van 0 laat dus zien dat er perfecte overeenstemming is tussen de meet- en berekende data. Anderzijds, hoe hoger de RMSE hoe groter het verschil is tussen de meet- en berekende data.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden eerst de resultaten getoond van de statistische analyses van waterkwaliteitsparameters in ruimte en tijd (§3.1), gevolgd door een grafische analyse van doorzicht (§0). Vervolgens wordt ingegaan op het aandeel en de soortensamenstelling van blauwalgen in de totale fytoplankton gemeenschap in ruimte en tijd (§3.3). Hierna worden de resultaten van één op één correlaties getoond tussen het aandeel blauwalgen en waterkwaliteitsparameters (§3.4) en de resultaten van de multiële lineaire regressie analyse voor het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand worden getoond (§3.5).

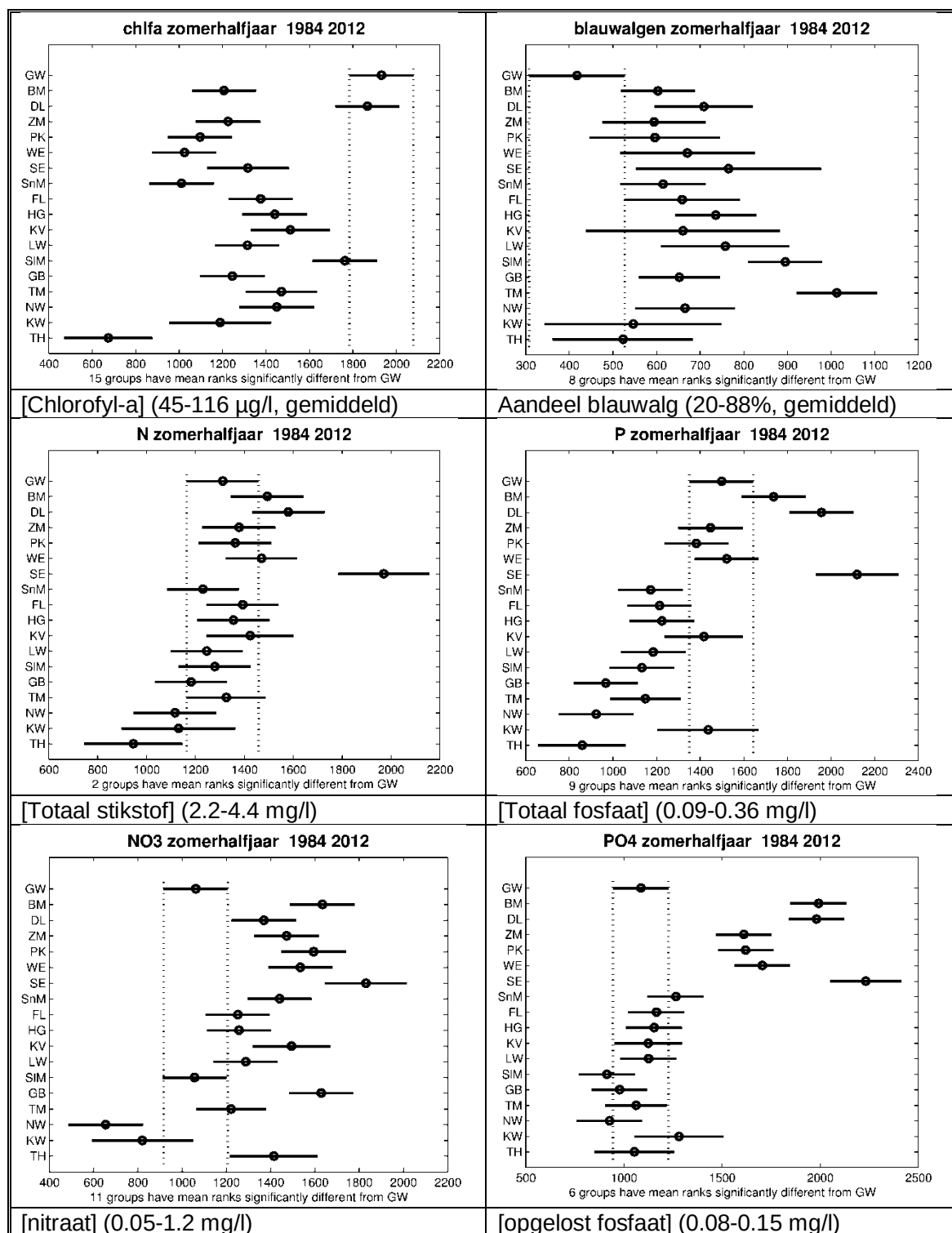
3.1 Vergelijking in ruimte en tijd

In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op de vergelijking van waterkwaliteitsparameters tussen de meren, vervolgens wordt er per meer per periode ingezoomd en dan wordt er een vergelijking gemaakt tussen de waterkwaliteitsparameters tussen het tweede (april, mei en juni) en het derde (juli, augustus en september) kwartaal.

3.1.1 Patronen in de ruimte

Een vergelijking van de waterkwaliteitsmetingen van de meren over het zomerhalfjaar en over de gehele meetperiode (1984-2012) toont dat er significante verschillen tussen de meren kunnen zijn. In Figuur 3.1 wordt deze vergelijking voor chlorofyl-a concentraties, aandeel (%) blauwalg, totaal stikstof, totaal fosfaat, nitraat en opgelost fosfaat voor de periode 1984-2012 getoond. Voor de overige figuren wordt verwezen naar bijlage A.1. Tussen haakjes is in de figuur de maximum en minimum gemiddelde waarde voor de parameter aangegeven zoals deze berekend is op basis van een one way ANOVA testberekening om een indicatie te geven van de spreiding.

Figuur 3.1 toont dat chlorofylconcentraties met name hoog zijn in Groote Wielen, De Leijen en Sloterveer. Er is echter geen één op één relatie tussen hoge of lage chlorofyl-a concentraties en een hoog of laag aandeel blauwalgen: Groote Wielen heeft een relatief laag aandeel blauwalgen, maar het Sloterveer juist een hoog aandeel. Totaal stikstof, totaal fosfaat, nitraat en opgelost fosfaat laten ook niet een eenduidig beeld zien. Wat opvalt, is dat er voor opgelost fosfaat een tweedeling tussen hoge en lage concentraties te zien zijn: Groote Wielen, Bergumerveer, De Leijen, Zandmeer, Pikmeer, Wijde Ee en Smalle Eesterzanding hebben relatief hoge concentraties in vergelijking tot de andere meren. Uit bijlage A. blijkt dat vanaf 1994 dit patroon duidelijker wordt.



Figuur 3.1 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 1984-2012. De bolletjes geven de mediaan per meer weer en de lijnen de spreiding. Wanneer de lijnen van de verschillende meren niet overlappen, zijn de meren significant verschillend. Op de x-as staat de hoeveelheid waarnemingen waarop de multiële vergelijkingprocedure is toegepast. Onder de x-as heeft Matlab neergezet hoeveel groepen er significant van groep 1 (dat is in dit geval GW) verschillen, dit is in tabel 3.1 voor elk meer weggeschreven.

In Tabel 3.1 staat per periode (kolommen) en per meer (rijen) de meren genoteerd die, met betrekking tot chlorofyl-a concentraties, significant afwijken van het meer dat in de eerste kolom genoteerd staat. Vanaf de periode 1994-1998 lijkt er meer differentiatie tussen de meren te ontstaan, waarbij in de opvolgende periodes de meren die significant van elkaar verschillen per periode wel iets wijzigen, maar grotendeels hetzelfde beeld laten zien. Periode 2004-2008 laat een kleinere differentiatie zien; maar deze differentiatie neemt in de periode 2009-2012 weer toe en lijkt het grootst te zijn in vergelijking met alle eerdere perioden.

Tabel 3.1 Significante verschillen in chlorofyl-a concentraties per meer voor de zes perioden. In de eerste kolom staat het te beoordelen meer genoemd, en in de andere kolommen de meren die daar significant van afwijken. Groen betekent dat een meer de hoogste chlorofyl-a concentratie heeft voor die periode, blauw dat een meer de laagste chlorofyl-a concentratie heeft voor die periode. Zie Tabel 1 voor de namen van de afkortingen.

	1984-1988	1989-1993	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2012
GW	SE	WE,SnM,TH	ZM,PK,WE, SE,SnM,FL, HG,KW,TH	BM,ZM,PK, WE,SnM,FL,H G,LW,GB, NW,TH	BM,ZM,PK, WE,SE,SnM, GB,TH	BM,ZM,PK, WE,SnM,KV, LW,GB,TH
BM				GW,DL,SIM, TM	GW,DL,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,TM, NW
DL	WE, SE	WE,SnM,TH	ZM,PK,WE, SE,SnM,FL, HG,KV,LW, GB,KW,TH	BM,ZM,PK, WE,SnM,FL,H G,LW,GB, NW,TH	BM,PK,WE	BM,ZM,PK, WE,SnM,GB, TH
ZM		NW	GW,DL	GW,DL,SIM	GW,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,NW
PK		NW	GW,DL,SIM, TM	GW,DL,SIM, TM,NW,KW	GW,DL,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,NW
WE	DL	GW,DL,NW	GW,DL,SIM, TM	GW,DL,SIM, TM	GW,DL,FL, HG,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,TM, NW,KW
SE	GW, DL, FL, KV		GW,DL		GW,SIM	SIM
Sn M		GW,DL,NW	GW,DL,SIM, TM	GW,DL,SIM, TM,NW,KW	GW,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,TM, NW
FL			GW,DL,SIM, TM	GW,DL,SIM	WE	BM,ZM,PK, WE,SnM,GB, TH
HG			GW,DL	GW,DL,SIM	WE	BM,ZM,PK, WE,SnM,GB, TH
KV		NW	DL			GW,SIM
LW		NW	DL	GW,DL,SIM		GW,SIM
SIM		NW	PK,WE,SnM, FL	BM,ZM,PK, WE,SnM,FL, HG,LW,TH	BM,ZM,PK, WE,SE,SnM,G B,TH	BM,ZM,PK, WE,SE,SnM,K V,LW,GB, TM,KW,TH

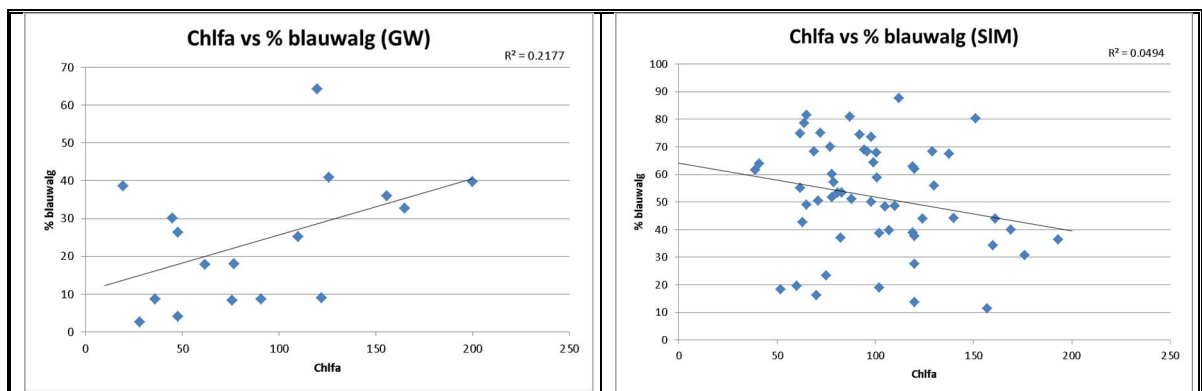
	1984-1988	1989-1993	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2012
GB		NW	DL	GW,DL	GW,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,NW
TM	Geen data	NW	PM,WE,SnM, FL,KW	BM,PK,WE, SnM,TH		BM,WE,SnM, SIM,TH
NW	Geen data	ZM,PK,WE, SnM,KV,LW,SI M,GB,TM, KW,TH		GW,DL,PK, SnM,TH		BM,ZM,PK, WE,SnM,GB, TH
KW	Geen data	NW	GW,DL,TM	PK,SnM,TH		WE,SIM
TH	Geen data	GW,DL,NW	GW,DL	GW,DL,SIM, TM,NW,KW	GW,SIM	GW,DL,FL, HG,SIM,TM, NW

Tabel 3.2 laat hetzelfde zien als Tabel 3.1, maar dan voor het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand. Voor deze parameter is er minder differentiatie zichtbaar dan voor chlorofylconcentraties. Uit Figuur 3.1 en bijlage A.1 blijkt dit een gevolg van een grotere spreiding van het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand per periode.

Tabel 3.2 Significante verschillen in het aandeel blauwalgen per meer voor de zes perioden. In de eerste kolom staat het te beoordelen meer genoemd, en in de andere kolommen de meren die daar significant van afwijken. Groen betekent dat een meer het hoogste aandeel blauwalgen heeft voor die periode, blauw dat een meer het laagste aandeel blauwalgen heeft voor die periode. Zie Tabel 1.1 voor de namen van de afkortingen.

	1984-1988	1989-1993	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2012
GW	TM	BM,HG,TM	WE,SE,SIM, TM	SIM,TM		
BM	TM	GW	TM	SIM,TM		DL,SIM,NW
DL				SIM		BM
ZM				SIM		SIM
PK				SIM,TM		SIM
WE	TM		GW	SIM		SIM,NW
SE	TM		GW			
SnM				SIM		SIM
FL				SIM		
HG		GW	TM			
KV						
LW						
SIM			GW	GW,BM,DL, ZM,PK,WE, SnM,FL,KW		BM,ZM,PK, WE,SnM
GB			TM			
TM	GW,BM,WE, SE	GW	GW,BM,HG, GB,NW,KW		GW,BM,PK	
NW	Geen data			TM		BM,WE
KW	Geen data			TM	SIM	
TH	Geen data					

Zoals als eerder genoemd is de relatie tussen chlorofyl-a concentraties en het aandeel blauwalgen niet lineair. Als voorbeeld: Groote Wielen heeft over het algemeen hoge chlorofylconcentraties, maar een relatief laag aandeel in blauwalgen en het Sloterveer heeft in de meer recentere perioden hoge chlorofylconcentraties en een hoog aandeel in blauwalgen (zie Figuur 3.2). Deze figuur dient ter illustratie om te tonen dat, zoals bekend, chlorofyl-a concentraties niet de verklarende variabele is voor het aandeel blauwalgen en men kan dus zeggen dat hogere chlorofyl-a gehalten niet consequent leiden tot een hoger aandeel blauwalgen.



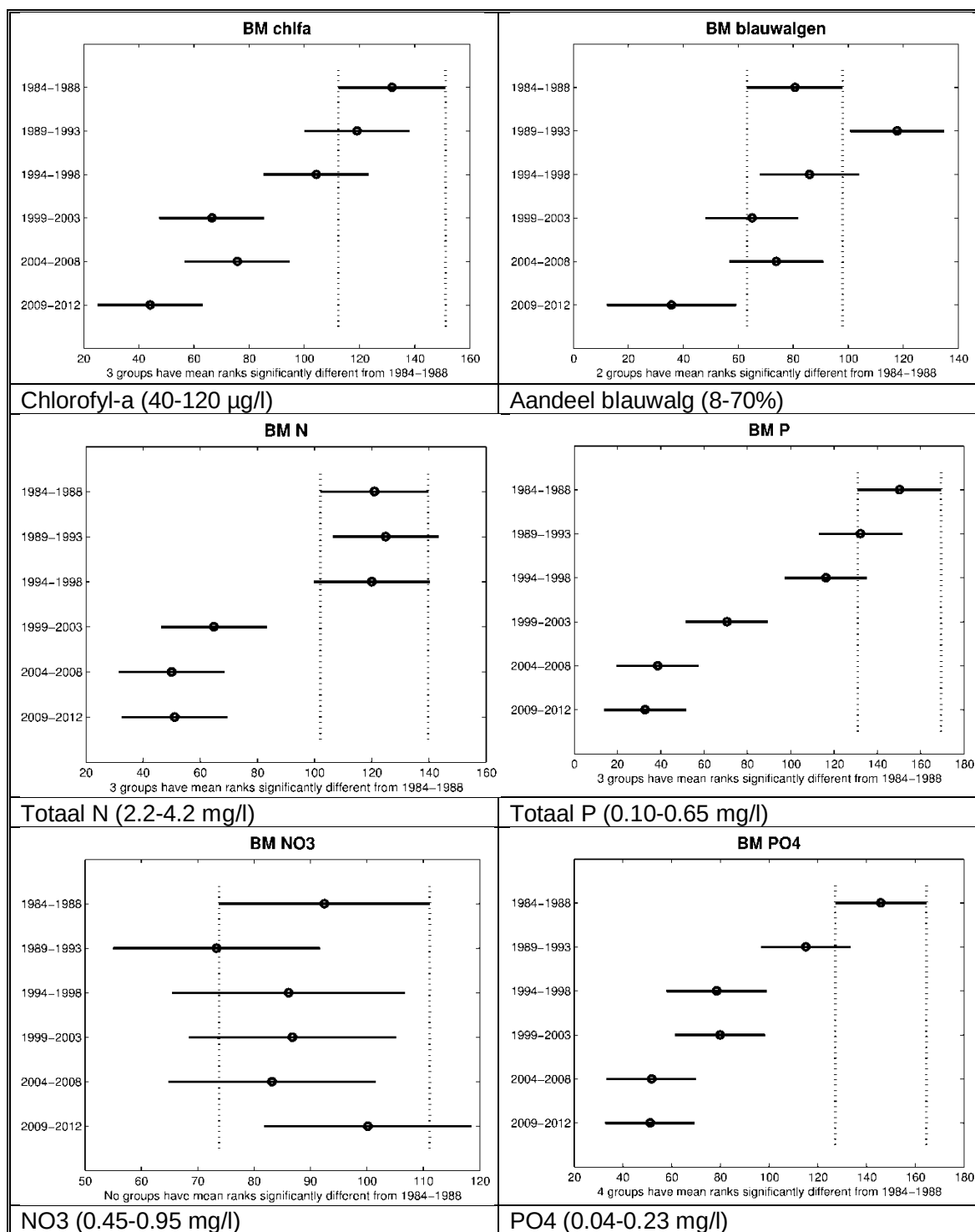
Figuur 3.2 Vergelijking samenhang chlorofyl-a concentraties en aandeel blauwalgen over de periode 2004-2012 voor Groote Wielen (links) en Sloterveer (rechts).

3.1.2 Patronen in de tijd

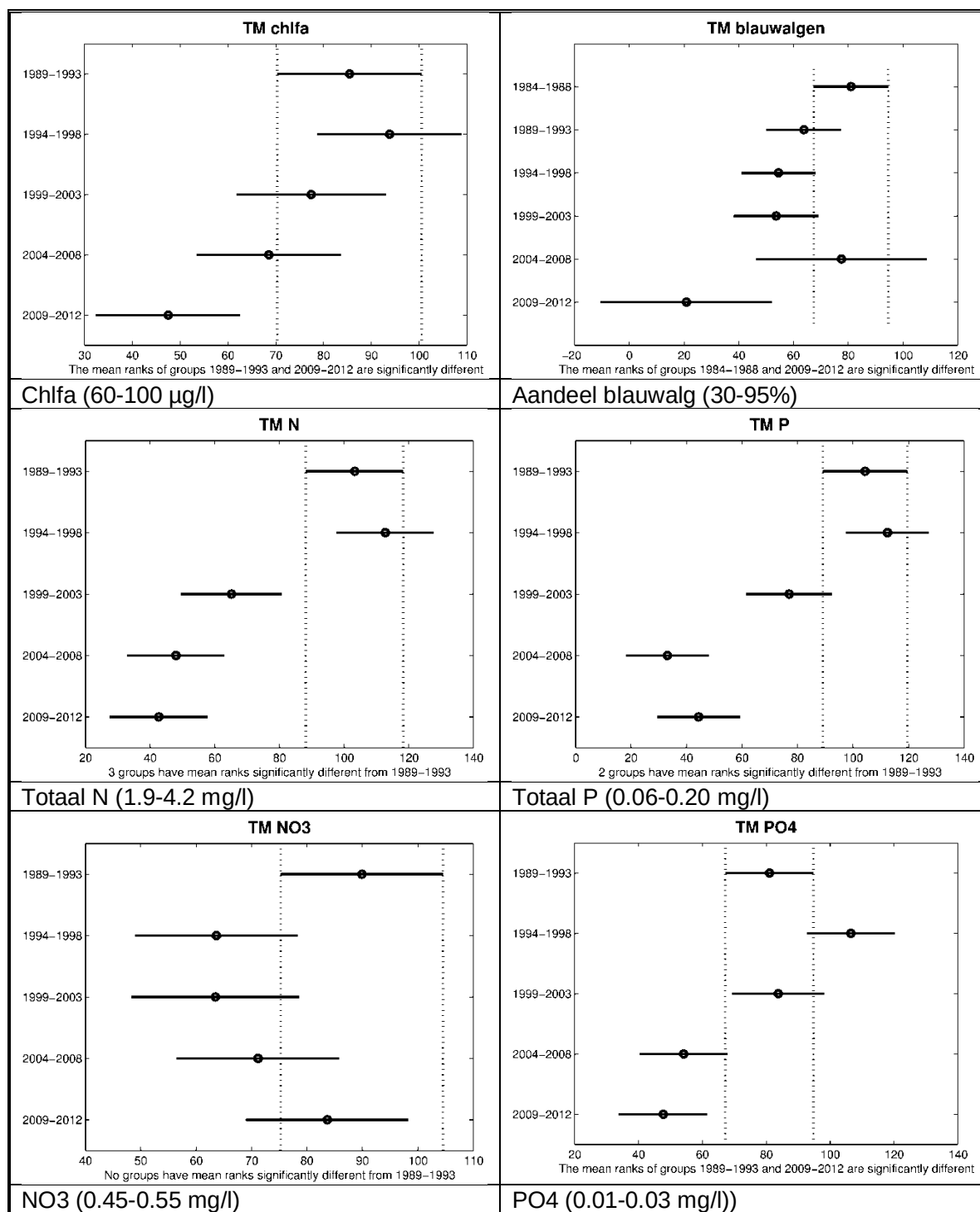
De meeste meren tonen duidelijke verschillen in waterkwaliteitsparameters over de tijd heen zien (zie Figuur 3.3 (Bergumermeer), Figuur 3.4 (Tjeukemeer) en bijlage A.1 (overige meren)) (perioden gebruikt zoals vermeldt op pagina 6). Smalle Eesterzanding en Ter Horne zijn de enige meren die op geleidelijke schaal naar een verlaging van totaal stikstof- en totaal fosfaatconcentraties gaan, de andere meren hadden een meer ad hoc overgang rond 2000 (periode 4). Daarna wordt de afname weer meer geleidelijk en beperkter.

Opgelost fosfaatconcentraties laten vaak ook de opvallende sprong in concentratie afname zien, maar voor een aantal meren, zoals De Leijen, Zandmeer, Langweerderwielen, nemen de opgelost fosfaatconcentraties over de gehele tijdsperiode geleidelijk af. Nitraatconcentraties blijven, net zoals voor bijna alle waterkwaliteitsparameters, door de tijd heen redelijk stabiel.

Chlorofylconcentraties zijn voor de meeste meren in de meest recente jaren significant lager wanneer deze vergeleken worden met de vroegste jaren. Kleine Wielen, Sloterveer, Smalle Eesterzanding en Ter Horne laten in deze vergelijking geen significante verschillen zien. Het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand laat in de meeste meren geen significante verschillen tussen de perioden zien.



Figuur 3.3 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in het Bergumermeer voor de verschillende perioden.



Figuur 3.4 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in het Tjeukemeer voor de verschillende perioden.

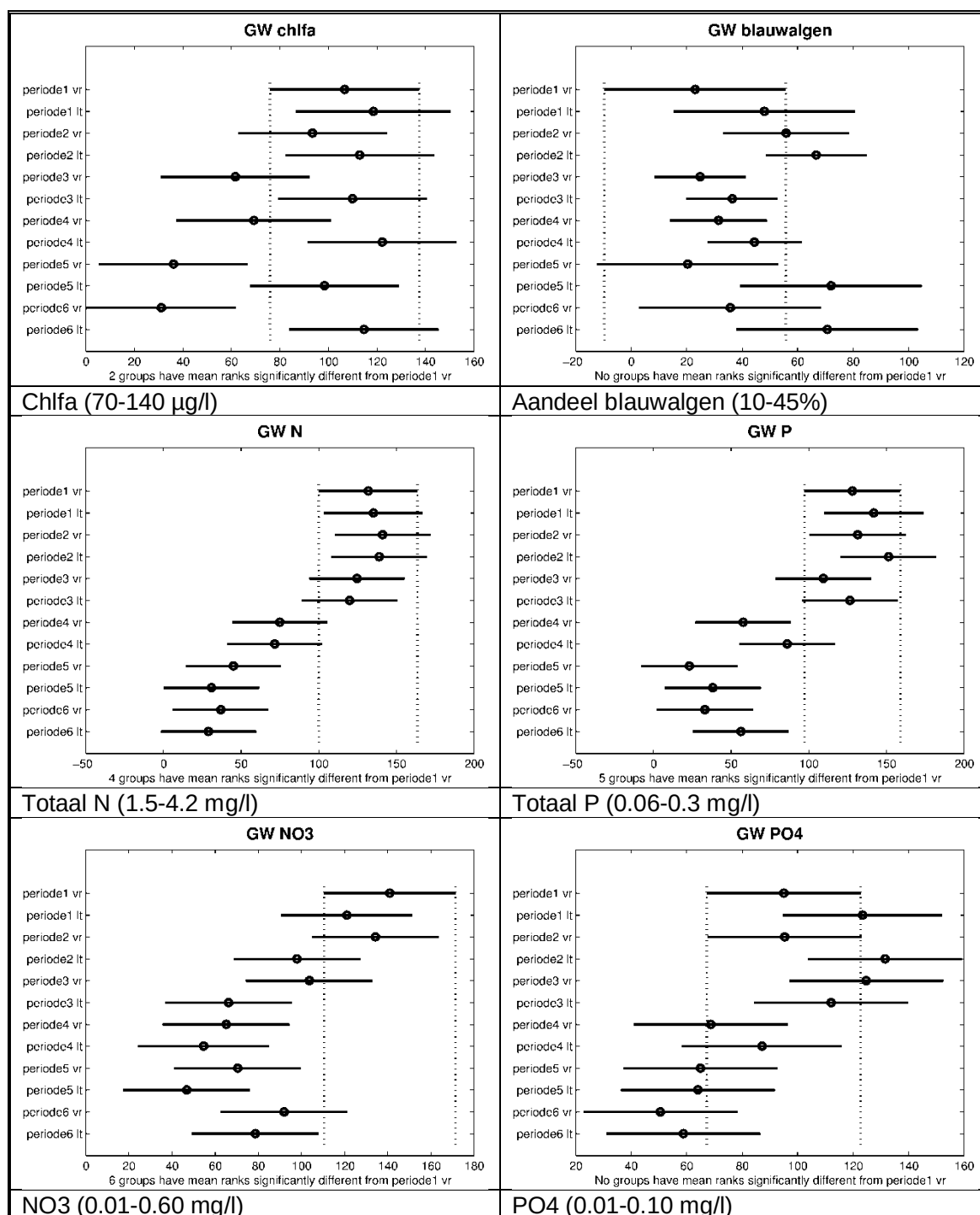
3.1.3 Vergelijking tweede en derde kwartaal onderling in een meer per periode

De analyse van waterkwaliteitsparameters tussen het eerste deel van het zomerhalfjaar (april, mei, juni) en het tweede deel van het zomerhalfjaar (juli, augustus, september), tonen aan dat er in de meeste van de waterkwaliteitsparameters seizoensdynamiek is. Echter, de mate van dynamiek verschilt tussen de parameters, de meren en in de tijd (zie Figuur 3.5 , Figuur 3.6 en bijlage B).

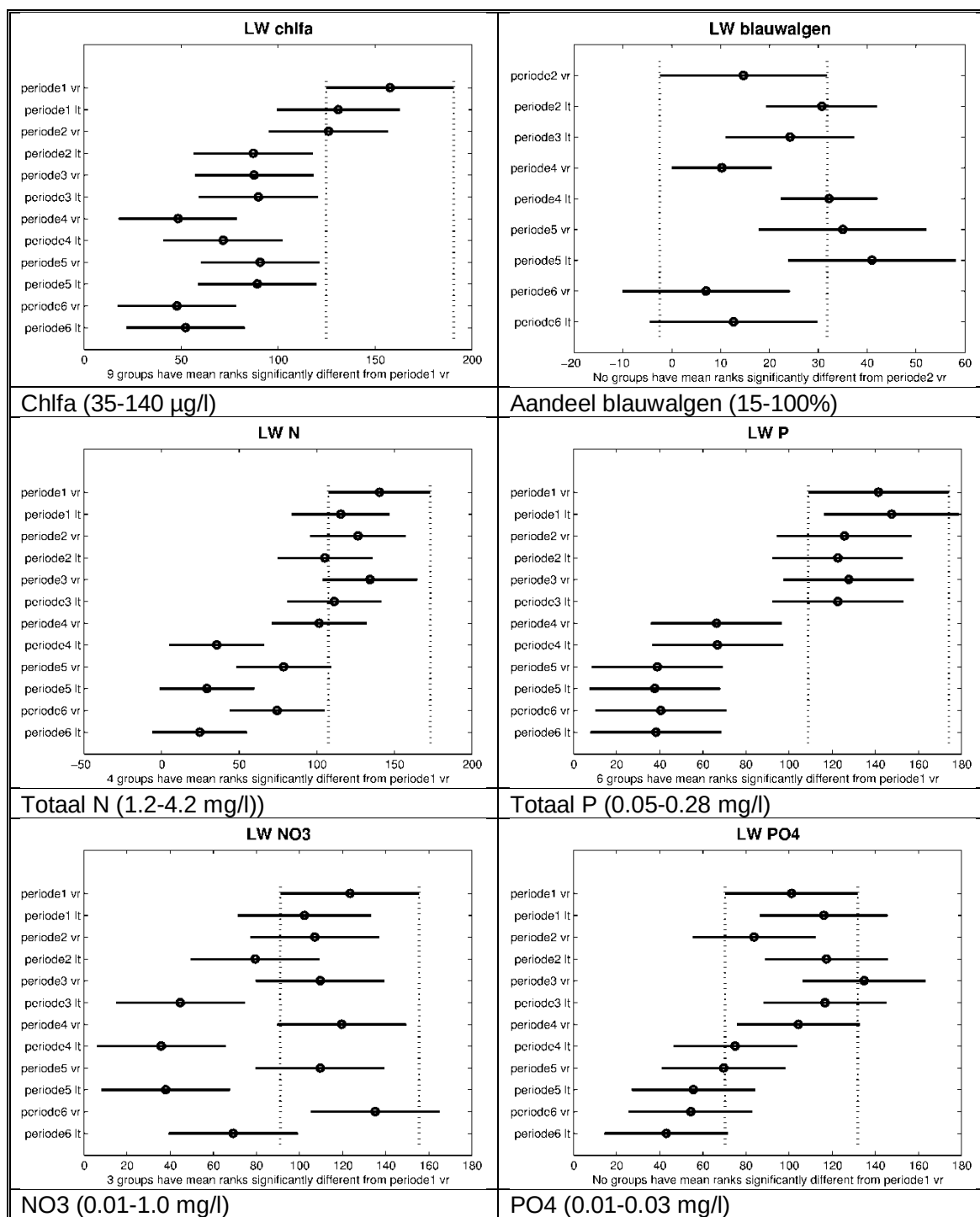
Totaal stikstof- en nitraatconcentraties tonen voor veel meren een sterke seizoensdynamiek, waarbij relatief hoge concentraties voorkomen in het eerste deel van het zomerhalfjaar en lage concentraties in het tweede deel. Nitraatconcentraties liggen vanaf circa 2000 in het tweede gedeelte van het zomerhalfjaar vaak rond de detectiegrens. Groote Wielen, Kleine Wielen, Nanneveld en Smalle Eesterzanding tonen nauwelijks seizoensdynamiek.

Seizoensdynamiek in totaal en opgelost fosfaatconcentraties is beperkt, met uitzondering van De Leijen, Groote Wielen en Kleine Wielen. Vanaf 2003 liggen de totaal en opgelost fosfaatconcentraties in veel meren rond detectiegrens. De dynamiek in N- en P-verbindingen duiden erop dat in recentere jaren de algengroei in de Friese meren over het algemeen het hele zomerhalfjaar fosfaat gelimiteerd is en vanaf het tweede gedeelte van het zomerhalfjaar ook stikstof gelimiteerd.

De seizoensdynamiek is voor een beperkt aantal meren ook terug te zien in chlorofyl-a concentraties (Groote Brekken, Groote Wielen, Kleine Wielen, Pikmeer en Sneekermeer). In het aandeel blauwalgen in het fytoplanktonbestand is voor de meeste meren wel een duidelijk seizoenssignaal te zien: het aandeel blauwalgen is in het tweede deel van het zomerhalfjaar vaak hoger dan in het eerste deel.



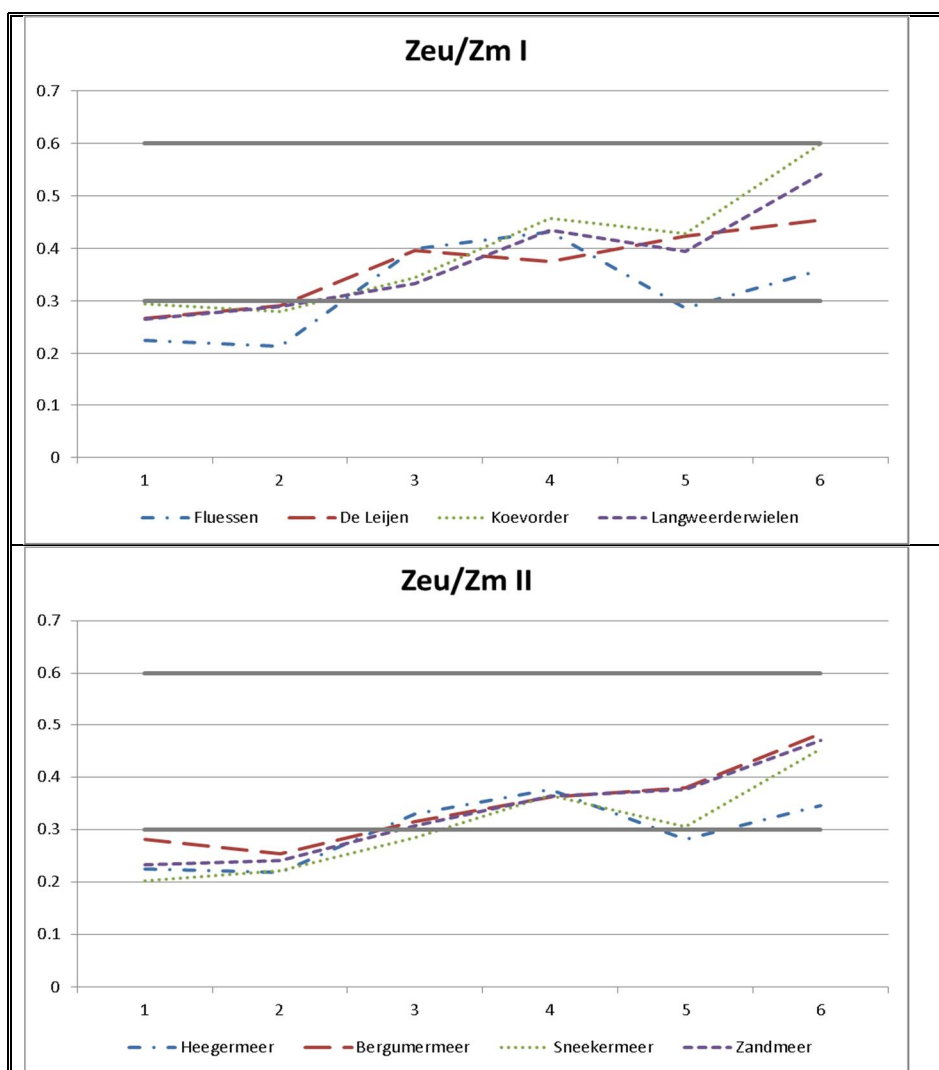
Figuur 3.5 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in het Groote Wielen voor de verschillende perioden waarbij het zomerhalfjaar is opgesplitst in twee delen: april, mei en juni (aangegeven met postfix _vr) en juli, augustus en september (aangegeven met postfix _lt).

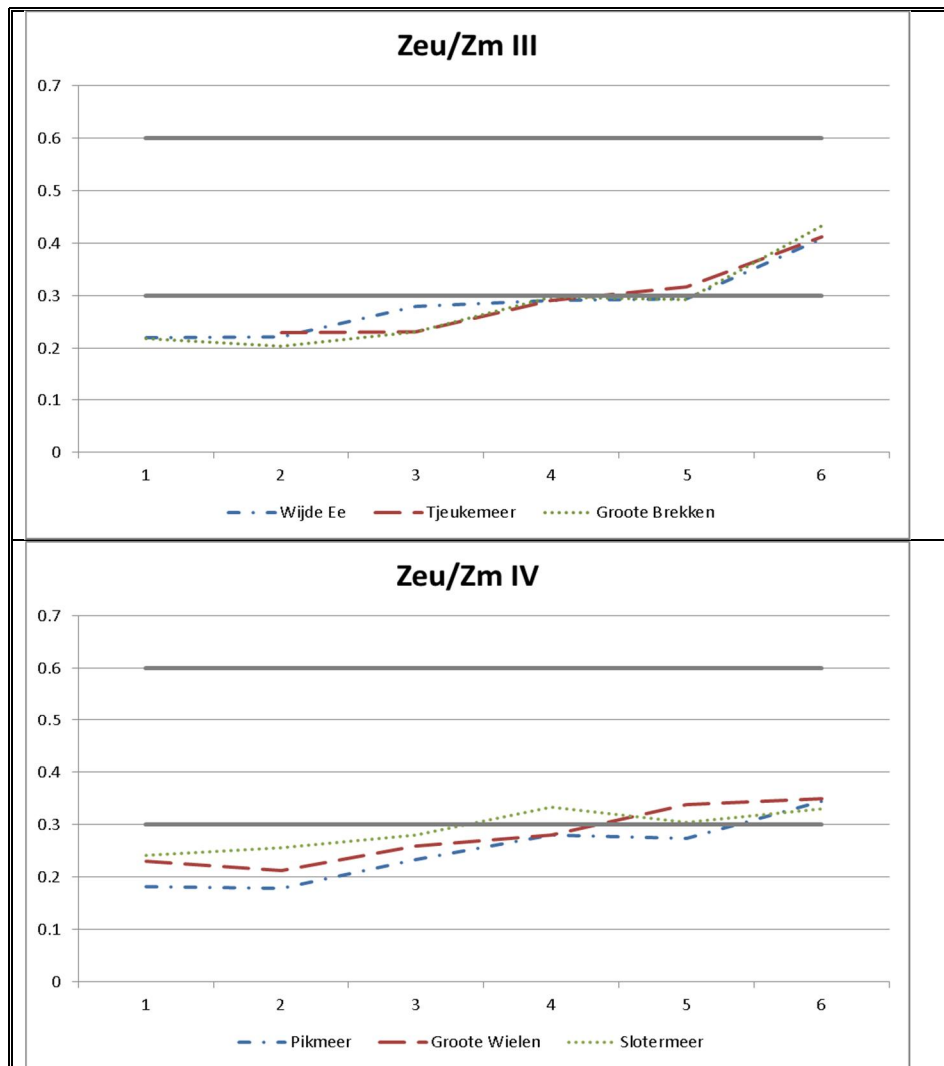


Figuur 3.6 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in het Langweerderwielen voor de verschillende perioden waarbij het zomerhalfjaar is opgesplitst in twee delen: april, mei en juni (aangegeven met postfix _vr) en juli, augustus en september (aangegeven met postfix _lt).

3.2 Doorzicht

Het zomergemiddeld doorzicht neemt voor alle meren toe over de periode 1984-2012. De toename verschilt per meer, maar bedraagt ongeveer 30 cm (bijlage C.1). De eufotische zone neemt logischerwijs over deze periode ook toe: de toename varieert van 10 tot 30 cm. Tussen de meren is er wel verschil in de ratio Z_{eu}/Z_m . Deze ratio is in de meest recente periode voor Koevorder en Langweerderwielen 0.55-0.6 en voor het Pikmeer en het Slotermeer net iets meer dan 0.3 (zie Figuur 3.7).





Figuur 3.7 4 figuren waarin de Z_{eu}/Z_m ratio voor de meren voor elke periode getoond wordt. Alleen die meren zijn meegenomen waarvoor dieptemetingen beschikbaar waren in het rapport "Diepte gegevens.doc". De twee grijze lijnen in elke figuur geven de bandbreedte aan waarbij in het Veluwemeer een afname te zien was van blauwalgdominantie (Schreurs, 1992).

3.3 Aandeel van verschillende genera blauwalgen

Tussen de meren bestaan over de perioden heen en tussen de perioden onderling verschillen in het aandeel blauwalgen in het totale fytoplankton bestand. Over de perioden heen zijn de trends binnen de meren grillig: het aandeel blauwalgen is voor meer dan de helft van de meren het laagste in de periode 2009-2012, waarbij vaak de periode 2004-2008 een hoog of hoogste aandeel aan blauwalgen heeft gekend (Tjeukemeer (80% en 25%)¹, Zandmeer (45% en 8%), Bergumermeer (30% en 6%), Langweerderwielen (75% en 12%)). Maar er zijn ook meren waarbij het aandeel blauwalgen in 2009-2012 even hoog was als in andere perioden, waarbij met name de perioden 1989-1993 en 2004-2008 hoge uitschieters laten zien (Heegermeer, Fluessen), maar er zijn nog andere varianten. Kortom, er is geen eenduidig beeld over de ontwikkeling van het aandeel blauwalgen uit de data te destilleren.

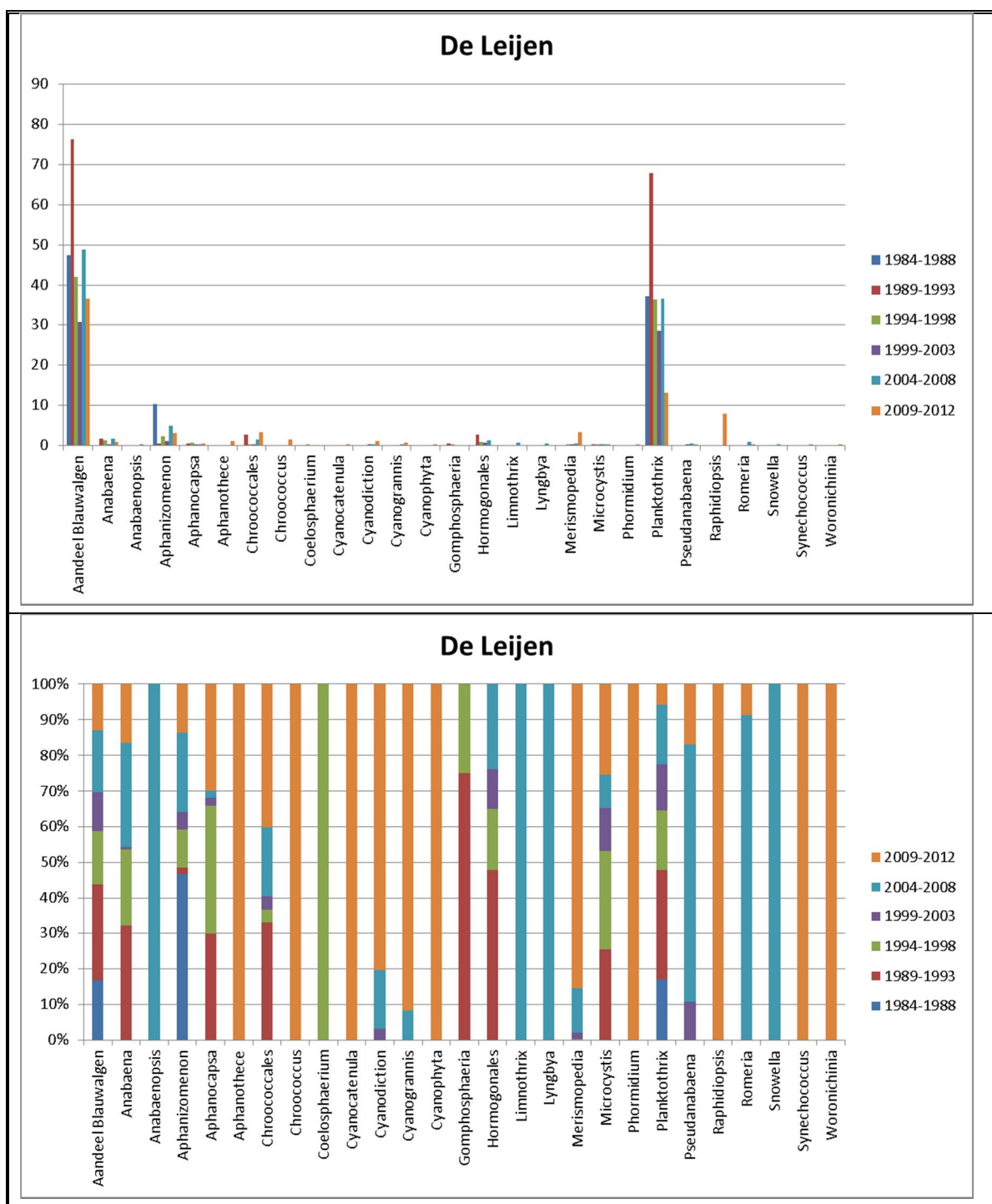
¹ Eerste getal is voor 2004-2008 en het tweede getal voor 2009-2012

Wanneer gekeken wordt naar de ontwikkelingen in blauwalgen die bekend staan om hun productie van toxines (Tabel 1.2 en het Blauwalgenprotocol 2012) in de Friese meren (Tabel 3.3), dan valt in Figuur 3.8, Figuur 3.9 en bijlage C op dat:

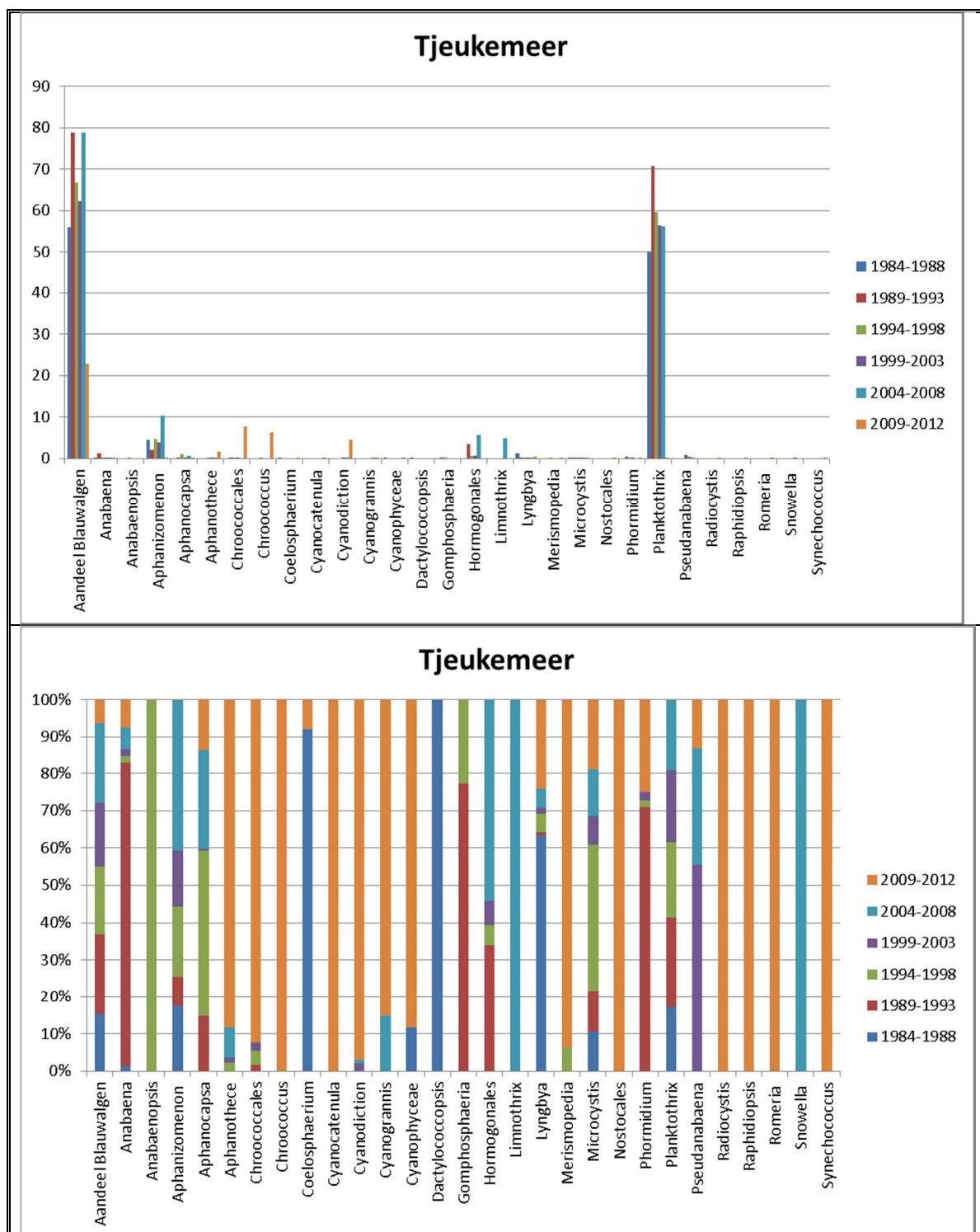
- *Anabaena* in alle meren aanwezig is, maar in lage percentages (± 0.5 -1% van het totaal aantal fytoplankton per periode). In de periode 1989-1993 is *Anabaena* nadrukkelijker aanwezig (± 1 -3% van het totaal aantal fytoplankton voor deze periode). Verder is er geen duidelijke trend in het voorkomen van *Anabaena* te zien.
- *Anabaenopsis* niet in alle meren aanwezig is (Ter Horne, Smalle Eesterzanding, Groote Brekken) en ook niet in alle perioden. Vooral in de periode 1989-1998 was dit genus aanwezig, zij het in kleine percentages (± 0.1 -0.5% van het totaal aantal fytoplankton voor deze periode). In meer recente perioden wordt deze blauwalg minder aangetroffen. In de periode 2009-2012 is het alleen aangetroffen in Kleine Wielen, Groote Wielen en Zandmeer, maar ook dan in kleine percentages (± 0.1 -0.5% van het totaal aantal fytoplankton).
- *Aphanizomenon* een spreiding van in dominantie laat zien: zo'n 2-10% van het totaal fytoplankton per periode. Opvallend is dat voor de meeste meren de hoogste percentages van *Aphanizomenon* geteld zijn in de periode 2004-2008 en de laagste in 2009-2012 of zelfs afwezig zijn (Smalle Eesterzanding, Pikmeer, Zandmeer en Tjeukemeer). De Leijen laat een hoog aandeel in *Aphanizomenon* zien in 2009-2012: zo'n 3%.
- *Cylindrospermopsis* en *Raphidiopsis* in bijna alle meren voorkomt, met name in de periode 2009-2012 en zijn dus nieuw in de Friese meren. Over het algemeen is het percentage van voorkomen laag (0.5%), maar De Leijen toont een relatief hoog aandeel van 8%. In Groote Brekken, Nanneveld en Ter Horne zijn deze genera niet geteld en in Smalle Eesterzanding enkel in de periode 2004-2008.
- *Lyngbya* met uitzondering van Smalle Eesterzanding, in elk meer is waargenomen. Meestal is het percentage van voorkomen in het totaal fytoplanktonbestand zo'n 0.1-6%. Nanneveld laat hogere uitschieters zien: tot zo'n 12% in 2004-2008. In de tellingen van *Lyngbya* is een tweedeling aanwezig: in een aantal meren is er een toename van *Lyngbya* over de tijd zichtbaar (Slotermeer, Pikmeer, Langweerderwielen, Kleine Wielen, Heegermeer en Tjeukemeer), maar een aantal meren (Bergumermeer, Zandmeer en Wijde Ee) hebben juist in 2009-2012 geen *Lyngbya* meer in hun fytoplanktonbestand.
- *Microcystis* in alle meren voorkomt en meestal een aandeel heeft van ongeveer 0.1-1% in het fytoplanktonbestand. Voor *Microcystis* is niet één trend voor de meren te ontdekken: een aantal meren hebben een stabiel aandeel van *Microcystis* (De Leijen, Tjeukemeer, Zandmeer, Heegermeer, Koevorder, Smalle Eesterzanding, Slotermeer en Sneekerveer), een aantal laten juist een afname over de tijd zien (Fluessen, Groote Brekken, Pikmeer en Ter Horne) en in Kleine Wielen is *Microcystis* pas in de tellingen van 2009-2012 opgedoken.
- *Nostoc* in de tellingen niet als zodanig geteld is, maar de orde (*Nostocales*) en familie (*Nostocaceae*) tot welke *Nostoc* behoort, wel. In de meeste meren is *Nostocales* en *Nostocaceae* niet aanwezig, maar in de periode 2004-2008 komen ze voor in het Bergumermeer en in 2009-2012 in het Slotermeer, Tjeukemeer, Fluessen en Zandmeer.
- *Phormidium* niet voorkomt in de poldermeren Nanneveld en Kleine Wielen, en alleen in 2009-2012 in De Leijen. In de andere meren komt *Phormidium* in bijna alle perioden voor, maar de meren laten verschillende trends zien. Zo is het aandeel *Phormidium* stabiel in het Sneekerveer, Koevorder en Fluessen, maar neemt af in het Tjeukemeer en Groote Brekken en toe in het Bergumermeer. Het aandeel *Phormidium* is ongeveer 0.1-0.5% van het totale fytoplanktonbestand per periode.

- *Planktothrix* in de meeste meren (met uitzondering van Nanneewijd) tot en met 2008 de meest dominante blauwalgensoort is (40% tot 80%) . Vanaf 2009 is dit veranderd, en is *Planktothrix* in de meeste meren verdwenen. In De Leijen en Kleine Wielen blijft *Planktothrix* ook vanaf 2009 een belangrijk aandeel hebben in het blauwalgenbestand.
- *Woronichinia* beperkt voorkomt in de Friese meren: in de helft van de meren is dit genera nog nooit waargenomen. In Zandmeer, Groote Wielen, Groote Brekken, Slotermeer en Sneekermeer komt het alleen voor in de periode 1999-2003 en in De Leijen, Wijde Ee, Fluessen en Nanneewijd alleen in de periode 2009-2012. Het aandeel in het totale fytoplanktonbestand is beperkt: 0.1-0.5% per periode.

Opvallend in de algentellingen is dat een aantal specialistische blauwalgen, zoals *Synechococcus* en *Planktolyngbya* (P-limitatie) *Nostoc* en een paar specifieke *Synechococcus* soorten (N-limitatie) in de periode 2009-2012 meer dominant worden of pas dan in de Friese meren voorkomen. Tabel 3.3 geeft een samenvatting van de verschillende blauwalgengenera per meer over de periode 1984-2012. De meeste genera van blauwalgen komen of in bijna alle meren voor of juist maar in een beperkt aantal meren.



Figuur 3.8 Blauwalgendynamiek in De Leijen. Het bovenste figuur toont in de eerste kolom het aandeel blauwalgen in het fytoplanktonbestand (percentage, gebaseerd op tellingen) en in de andere kolommen staan voor de zes perioden per blauwalggeslacht het aandeel van dat blauwalggeslacht van het totaal aantal blauwalgen (percentage). In het onderste deel zijn de kolommen van het bovenste figuur op 100 procent gesteld, waarbij de kleuring van de kolom aangeeft om welke periode het gaat.



Figuur 3.9 Blauwalgendynamiek in het Tjeukemeer. Het bovenste figuur toont in de eerste kolom het aandeel blauwalgen in het fytoplanktonbestand (percentage, gebaseerd op tellingen) en in de andere kolommen staan voor de zes perioden per blauwalggeslacht het aandeel van dat blauwalggeslacht van het totaal aantal blauwalgen (percentage). In het onderste deel zijn de kolommen van het bovenste figuur op 100 procent gesteld, waarbij de kleuring van de kolom aangeeft om welke periode het gaat.

Tabel 3.3 Voorkomen van blauwalggroepen over de meetperiode 1984-2012 per meer. Vetgedrukte geslachten staan genoemd in het Blauwalgenprotocol. Blauwe kleuring van een cel geeft het voorkomen van het desbetreffende blauwalgenera in een specifiek meer aan, geel het ontbreken ervan.

Meer	BM	DL	FL	GB	GW	HG	KW	KV	LW	NW	PK	SIM	SM	SnM	TH	TM	WE	ZM
Blauwalggroep																		
Anabaena	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Anabaenopsis	+	+	+		+	+	+	+		+	+	+		+		+	+	+
Aphanizomenon	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aphanocapsa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aphanothece	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Chroococcales	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chroococcus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Coelosphaerium	+	+	+	+	+	+		+	+			+	+	+	+	+		+
Cyanocatenata												+						
Cyanocatenula	+	+	+	+	+				+	+	+	+		+	+	+	+	+
Cyanodiction	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cyanogrannis	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cyanonephron			+	+		+				+		+		+				
Cyanophyceae	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+				+		+
Cyanophyta		+	+	+	+	+			+			+					+	+
Dactylococcopsis	+			+	+	+						+				+		
Eucapsis																		+
Geitlerinema												+						
Gloeotila					+													+
Gomphosphaeria	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hormogonales	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lemmermanniella			+	+								+		+				
Limnothrix	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+	+	+	+

Meer	BM	DL	FL	GB	GW	HG	KW	KV	LW	NW	PK	SIM	SM	SnM	TH	TM	WE	ZM
Lyngbya	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Merismopedia	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Microcystis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Nostocaceae	+		+															+
Nostocales												+				+		
Pannus			+		+	+	+	+	+	+		+		+				
Phormidium	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Planktothrix	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Prochlorothrix												+						
Pseudanabaena	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Radiocystis			+	+	+	+		+	+	+	+	+		+		+	+	+
Raphidiopsis	+	+	+		+	+	+		+		+	+	+	+		+	+	+
Rhabdoderma					+													
Romeria	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+
Siphonosphaera												+						
Snowella		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+	+		
Spirulina															+			
Synechococcus	+	+			+		+			+	+	+		+	+	+		+
Woronichinia		+	+	+	+					+		+		+			+	+

3.4 Koppeling tussen aandeel blauwalgen en abiotische variabelen

Tabel 3.4 geeft de correlaties weer tussen het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand en chlorofyl-a-, totaal stikstof-, nitraat-, totaal fosfaat-, opgelost fosfaatconcentraties, doorzicht, temperatuur en wind in het zomerhalfjaar (april-september). De mate van correlatie verschilt tussen de verschillende perioden en meren. Bovendien kunnen er per meer en periode verschillen zijn in welke abiotische parameters significante correlaties geven.

Chlorofyl:

Hoewel chlorofyl-a concentraties voor de meeste meren over de langere periode 2004-2012 vaak positief gecorreleerd zijn, hebben chlorofyl concentraties geen sturende kracht. Echter, het geeft wel een indicatie dat wanneer chlorofyl-a concentraties hoog zijn, de kans op blauwalgen dat ook is.

Totaal-N en nitraat:

Met uitzondering van het Heegermeer zijn de significante correlaties tussen het aandeel blauwalgen en totaal stikstof of nitraat negatief. Dit betekent dus dat wanneer er lage totaal stikstof- of nitraatconcentraties zijn, de kans op het aandeel blauwalgen toeneemt.

Totaal-fosfaat en ortho-fosfaat

Er is weinig significante correlatie tussen het aandeel blauwalgen en totaal fosfaat of opgelost fosfaat. Dit kan een vertekend beeld geven wat betreft 'belangrijkheid'. Uit voorgaande paragrafen is gebleken dat veel Friese meren fosfaat gelimiteerd zijn: er is dus nauwelijks opgelost fosfaat in de meren aanwezig en als het er is, wordt het gelijk opgenomen. Wanneer er veel extra fosfaat in de meren komt, zal dit een grote mate van sturing geven in de algenbiomassa en –samenstelling.

Doorzicht:

Met uitzondering van het Slotermeer, is, daar waar significant, het aandeel blauwalgen negatief gecorreleerd met het doorzicht oftewel: afname in doorzicht verhoogd de kans op het aandeel blauwalgen in het fytoplanktonbestand. Let op: dit kan ook een positieve feedback zijn omdat algen de oorzaak van verminderd doorzicht kunnen zijn.

Temperatuur en wind

Voor bijna alle meren leidt een verhoging van temperatuur tot een vergroting van het aandeel blauwalgen en voor een paar meren leidt een windstil(lere) periode ook tot een hoger van het aandeel blauwalgen.

Tabel 3.4 Correlaties tussen het aandeel blauwalgen en chlorofyl-a-, totaal stikstof-, nitraat-, totaal fosfaat-, opgelost fosfaatconcentraties, doorzicht (Secchi), temperatuur en wind voor de verschillende meren voor drie verschillende perioden. Tussen haakjes staat de mate van significantie. De blauwe cellen zijn significante positieve correlaties, de groene cellen significante negatieve correlaties.

	Chlfa	N	NO3	P	P04	Secchi	Temp	Wind
Groote Wielen								
2004-2008	0.65 (0.16)	-0.37 (0.47)	-	0.28 (0.59)	-	-0.32 (0.54)	0.61 (0.20)	-0.46 (0.35)
2009-2012	0.51 (0.30)	-0.53 (0.28)	-0.55 (0.26)	0.03 (0.96)	-	-0.06 (0.92)	0.34 (0.51)	-0.84 (0.04)
2004-2012	0.37 (0.00)	-0.37 (0.00)	-	-0.17 (0.14)	-	0.13 (0.27)	0.36 (0.00)	-0.48 (0.00)

	Chlfa	N	NO3	P	P04	Secchi	Temp	Wind
Bergumermeer								
2004-2008	0.30 (0.11)	-0.47 (0.01)	-0.50 (0.01)	0.36 (0.06)	0.18 (0.36)	-0.25 (0.19)	0.35 (0.06)	-0.13 (0.51)
2009-2012	0.23 (0.38)	-0.6 (0.17)	0.35 (0.18)	-0.01 (0.98)	0.12 (0.18)	-0.06 (0.82)	0.27 (0.31)	-0.14 (0.60)
2004-2012	0.29 (0.00)	-	-	0.27 (0.00)	-	-0.32 (0.00)	0.31 (0.00)	-0.15 (0.07)
Heegermeer								
2004-2008	0.21 (0.69)	0.04 (0.94)	0.95 (0.00)	0.29 (0.57)	-	-0.02 (0.97)	0.31 (0.56)	-0.11 (0.83)
2009-2012	-0.42 (0.41)	0.35 (0.50)	0.40 (0.44)	0.06 (0.91)	-	0.14 (0.79)	-0.35 (0.50)	0.00 (0.99)
2004-2012	0.45 (0.00)	-0.23 (0.03)	-0.42 (0.00)	-0.01 (0.96)	0.10 (0.37)	-0.27 (0.01)	0.31 (0.00)	-0.17 (0.13)
Slotermeer								
2004-2008	-0.34 (0.06)	-0.35 (0.06)	-0.37 (0.04)	-0.21 (0.26)	-0.19 (0.31)	0.39 (0.03)	0.50 (0.00)	-0.42 (0.02)
2009-2012	-0.37 (0.13)	0.22 (0.38)	0.39 (0.11)	-0.28 (0.26)	-	0.40 (0.10)	0.07 (0.79)	-0.47 (0.05)
2004-2012	0.15 (0.07)	-0.13 (0.12)	-0.34 (0.00)	0.06 (0.46)	-0.11 (0.17)	0.19 (0.02)	0.35 (0.00)	-0.32 (0.00)
Groote Brekken								
2004-2008	0.68 (0.14)	-0.05 (0.93)	-0.37 (0.47)	0.51 (0.30)	-	-0.68 (0.14)	-0.34 (0.50)	0.59 (0.22)
2009-2012	0.92 (0.01)	-0.92 (0.01)	-0.83 (0.04)	0.50 (0.32)	-	-0.87 (0.03)	0.50 (0.31)	-0.64 (0.17)
2004-2012	0.47 (0.00)	-0.28 (0.01)	-0.49 (0.00)	0.08 (0.50)	-0.14 (0.22)	-0.39 (0.00)	0.17 (0.13)	0.04 (0.70)
Tjeukemeer								
2004-2008	-0.17 (0.75)	-0.75 (0.09)	-0.71 (0.11)	-0.80 (0.06)	-	0.17 (0.75)	0.54 (0.27)	-0.39 (0.45)
2009-2012	0.26 (0.62)	0.48 (0.33)	-0.35 (0.50)	-0.58 (0.22)	-0.25 (0.63)	0.15 (0.77)	-0.01 (0.98)	-0.34 (0.51)
2004-2012	0.37 (0.00)	-0.28 (0.01)	-0.62 (0.00)	-0.02 (0.86)	-0.28 (0.01)	-0.34 (0.00)	0.54 (0.00)	-0.15 (0.17)
De Leijen								
2004-2008	0.17 (0.59)	-0.42 (0.17)	-0.50 (0.10)	0.68 (0.02)	0.29 (0.37)	-0.06 (0.86)	0.58 (0.05)	-0.12 (0.72)
2009-2012	-0.24 (0.65)	-0.71 (0.11)	-0.78 (0.07)	0.50 (0.31)	0.45 (0.37)	-0.20 (0.70)	0.60 (0.21)	-0.78 (0.07)
2004-2012	0.17 (0.12)	-	-	0.42 (0.00)	0.33 (0.00)	-0.34 (0.00)	0.47 (0.00)	-0.22 (0.04)
Zandmeer								
2004-2008	0.39 (0.21)	-0.71 (0.01)	-0.75 (0.00)	0.07 (0.83)	-0.41 (0.19)	-0.18 (0.53)	0.70 (0.01)	-0.37 (0.23)
2009-2012	0.23 (0.66)	-0.56 (0.24)	-0.52 (0.30)	0.41 (0.42)	-0.24 (0.66)	0.43 (0.39)	0.77 (0.07)	-0.49 (0.33)
2004-2012	0.52 (0.00)	-	-	0.07 (0.53)	-0.11 (0.33)	-0.21 (0.06)	0.50 (0.00)	-0.15 (0.17)
Pikmeer								
2004-2008	0.65 (0.23)	-0.77 (0.13)	-0.75 (0.15)	-0.70 (0.19)	0.72 (0.17)	0.56 (0.33)	0.78 (0.12)	-0.36 (0.55)
2009-2012	0.02 (0.97)	-0.73 (0.10)	-0.74 (0.09)	-0.11 (0.83)	-0.10 (0.85)	0.25 (0.63)	0.70 (0.12)	-0.54 (0.27)
2004-2012	0.56 (0.00)	-	-	0.05 (0.72)	-0.25 (0.07)	-0.38 (0.00)	0.54 (0.00)	-0.17 (0.22)

	Chlfa	N	NO3	P	P04	Secchi	Temp	Wind
Wijde Ee								
2004-2008	-0.26 (0.62)	-0.80 (0.05)	-0.96 (0.00)	0.36 (0.48)	0.15 (0.78)	0.48 (0.33)	0.94 (0.01)	-0.83 (0.04)
2009-2012	-0.49 (0.40)	-0.72 (0.17)	-0.90 (0.04)	-0.21 (0.74)	-0.24 (0.70)	-0.11 (0.85)	0.94 (0.02)	-0.74 (0.15)
2004-2012	0.51 (0.00)	-0.38 (0.01)	-0.59 (0.00)	0.13 (0.36)	-0.16 (0.28)	-0.45 (0.00)	0.43 (0.00)	0.17 (0.24)
S. Eesterzanding								
2004-2008								
2009-2012								
2004-2012	0.62 (0.00)	-0.13 (0.55)	-0.51 (0.02)	0.32 (0.15)	-0.04 (0.85)	-0.49 (0.02)	0.54 (0.01)	-0.51 (0.02)
Sneekerveer								
2004-2008	0.57 (0.00)	-0.48 (0.01)	-0.56 (0.00)	-0.19 (0.33)	-0.27 (0.14)	-0.36 (0.05)	0.30 (0.11)	-0.38 (0.04)
2009-2012	-0.02 (0.93)	-0.81 (0.00)	-0.75 (0.00)	-0.18 (0.47)	-0.47 (0.05)	0.22 (0.37)	0.59 (0.01)	-0.60 (0.01)
2004-2012	0.57 (0.00)	-0.40 (0.00)	-0.55 (0.00)	0.03 (0.71)	-0.14 (0.10)	-0.29 (0.00)	0.31 (0.00)	-0.27 (0.00)
Fluessen								
2004-2008	0.38 (0.46)	0.35 (0.49)	0.92 (0.01)	0.58 (0.12)	-	-0.10 (0.85)	0.32 (0.54)	-0.13 (0.80)
2009-2012	-0.85 (0.03)	-0.73 (0.10)	-0.62 (0.19)	0.04 (0.95)	-	0.25 (0.63)	-0.18 (0.73)	-0.19 (0.72)
2004-2012	0.37 (0.00)	-0.29 (0.02)	-0.36 (0.00)	-0.11 (0.39)	-0.21 (0.09)	-0.28 (0.02)	0.26 (0.04)	-0.13 (0.13)
Koeverder								
2004-2008								
2009-2012								
2004-2012	0.07 (0.77)	-0.33 (0.14)	-0.51 (0.02)	0.12 (0.61)	0.22 (0.34)	-0.13 (0.58)	0.00 (1.00)	-0.32 (0.16)
Langweerderwielen								
2004-2008	-0.75 (0.08)	-0.87 (0.02)	-0.88 (0.02)	0.26 (0.62)	-	0.50 (0.32)	0.69 (0.13)	-0.62 (0.19)
2009-2012	0.38 (0.46)	-0.69 (0.13)	-0.78 (0.07)	0.15 (0.78)	-	0.08 (0.87)	0.78 (0.07)	-0.49 (0.32)
2004-2012	0.49 (0.00)	-0.40 (0.00)	-0.56 (0.00)	0.06 (0.64)	-0.13 (0.35)	-0.46 (0.00)	0.41 (0.00)	0.19 (0.18)
Nanneveld								
2004-2008	0.53 (0.28)	0.14 (0.80)	0.75 (0.08)	-0.13 (0.81)	-	-0.18 (0.73)	-0.07 (0.89)	0.35 (0.49)
2009-2012	0.49 (0.33)	0.77 (0.07)	-	0.33 (0.52)	-	-	0.35 (0.50)	0.06 (0.91)
2004-2012	-0.07 (0.53)	-0.03 (0.82)	-	-0.13 (0.27)	-	-	0.21 (0.07)	-0.01 (0.92)
Ter Horne								
2004-2008	-0.80 (0.06)	-0.39 (0.45)	-0.72 (0.11)	0.00 (1.00)	-0.15 (0.78)	-0.06 (0.92)	0.61 (0.20)	0.03 (0.95)
2009-2012	0.25 (0.63)	-0.59 (0.22)	-0.41 (0.42)	0.27 (0.60)	-	-0.83 (0.04)	0.88 (0.02)	-0.17 (0.75)
2004-2012	0.57 (0.00)	-0.30 (0.03)	-	-0.04 (0.77)	-	-0.23 (0.11)	0.34 (0.02)	-0.06 (0.69)

	Chlfa	N	NO3	P	P04	Secchi	Temp	Wind
Kleine Wielen								
2004-2008								
2009-2012	0.59 (0.12)	0.17 (0.68)	-0.60 (0.12)	0.68 (0.06)	-	-0.76 (0.03)	0.49 (0.22)	-0.67 (0.07)
2004-2012	0.65 (0.00)	0.04 (0.83)	-0.32 (0.06)	0.35 (0.03)	0.46 (0.00)	-0.48 (0.00)	0.39 (0.02)	-0.05 (0.77)

3.5 Multipele lineaire regressie analyse

De uitgevoerde multipele lineair regressie analyse (zie Tabel 3.5), toont dat chlorofyl-a concentraties voor veel meren een verklaring geven voor een hoog aandeel blauwalgen. Opvallend is dat de variatie tussen de meren enerzijds en de verklarende variabelen voor het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand anderzijds hoog is: geen één meer heeft dezelfde verklarende variabelen als een ander meer. De hoge root mean squar errors (RMSE) die uit de multipele lineaire regressie resulteren, duiden erop dat de gevonden relaties niet meer dan een benadering van de werkelijkheid zijn. De aangedragen parameters blijken daarom, in ieder geval met de huidige datadichtheid, niet in staat om de dynamiek in het aandeel van blauwalgen volledig te verklaren of om zelfs voor Heegermeer en Fluessen een regressie af te leiden.

Tabel 3.5 Per meer zijn bij de parameters die significant bijdragen aan verlaging van de RMSE in de periode 2004-2012 de significantie waarden weergegeven. Blauwe achtergrondkleur betekent een positieve correlatie, een oranje achtergrondkleur een negatieve correlatie. Parameters waar niets genoteerd is, dragen niet significant bij aan een verlaging van de RMSE.

	RMSE	Chlfa	N	NH4	NO3	P	PO4	Secchi	temp	wind
GW	8.51	0.07		0.00					0.04	
BM	32.38	0.00			0.00		0.00			
HM	-									
SIM	26.82									0.00
GB	7.70	0.00	0.00	0.00		0.01				
TM	32.11					0.01				
DL	24.83					0.00				0.00
ZM	24.78	0.01			0.01					
PM	13.39	0.03	0.00					0.00		
WE	13.26	0.00						0.03		0.00
SE	17.10	0.05								
SnM	21.71	0.00			0.06					0.03
FL	-									
LW	28.02				0.07			0.04		
NW	20.55		0.01						0.05	
TH	11.44	0.02		0.00				0.00		
KW	12.90					0.04		0.02		

Uit Tabel 3.5 kan dus afgelezen worden dat voor bijvoorbeeld Groote Wielen de combinatie van chlorofyl-a en ammoniumconcentraties en temperatuur de grootste invloed hebben op het aandeel blauwalgen in het totale fytoplankton bestand. De kleuring van de significantie waarden (blauw), geeft aan dat wanneer én de chlorofylconcentratie én de ammoniumconcentratie én de temperatuur relatief hoog zijn, de kans op een groter aandeel blauwalgen in het fytoplanktonbestand toeneemt.

Verder illustreert Tabel 3.5 dat de combinaties van sturende variabelen op het aandeel blauwalgen tussen de meren varieert: zo zijn er drie variabele gevonden voor Groote Wielen en slechts 1 voor het Slotermeer (wind). Deze verschillen kunnen worden veroorzaakt door verschillen in karakteristieken van de meren, zoals ligging (windopzet), nutriëntdynamiek, doorzicht.

In vergelijking met de correlatieanalyse, zijn er bij de lineaire multiële regressieanalyse minder significante verbanden gevonden. De onderliggende oorzaak is dat bij de correlatieanalyse slechts één variabele gebruikt wordt om het aandeel blauwalgen te verklaren. Bij de lineaire multiële regressieanalyse worden gelijktijdig variabelen gebruikt om het aandeel blauwalgen te verklaren, bijvoorbeeld: een deel van de dynamiek van het aandeel blauwalgen wordt door variabele 1 verklaard en een ander deel door variabele 2. Vervolgens blijft er nog een "restdynamiek" over dat niet door een andere variabele verklaard kan worden omdat deze variabele het deel van de dynamiek verklaart dat al door variabele 1 en/of 2 verklaard wordt.

4 Discussie

4.1 Patronen in ruimte en tijd

De eerste deelvraag: "zijn er verschillen *tussen* de meren en *over* de tijd met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?" laat zich beantwoorden door de resultaten in §3.1.1 en §3.3. Deze resultaten tonen dat de beschouwde meren duidelijk van elkaar kunnen verschillen in waterkwaliteit, chlorofylconcentraties, aandeel blauwalgen en verschillende genera blauwalgen. Een aantal meren laat echter wel overeenkomsten zien, zoals het Zandmeer en het Pikmeer of Fluessen en het Heegermeer.

Er is geen structurele afwijking te zien tussen boezemwaterlocaties en de polderwaterlocaties (Kleine Wielen en Nanneveld) in de uitgevoerde data-analyses. Hierdoor men niet kan stellen dat er verschil is *tussen* boezemwaterlocaties en polderwaterlocaties met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen (tweede deelvraag). Echter, er zijn maar twee polderwaterlocaties meegenomen, waardoor de onderbouwing van deze uitspraak mager is.

4.2 Trofische staat

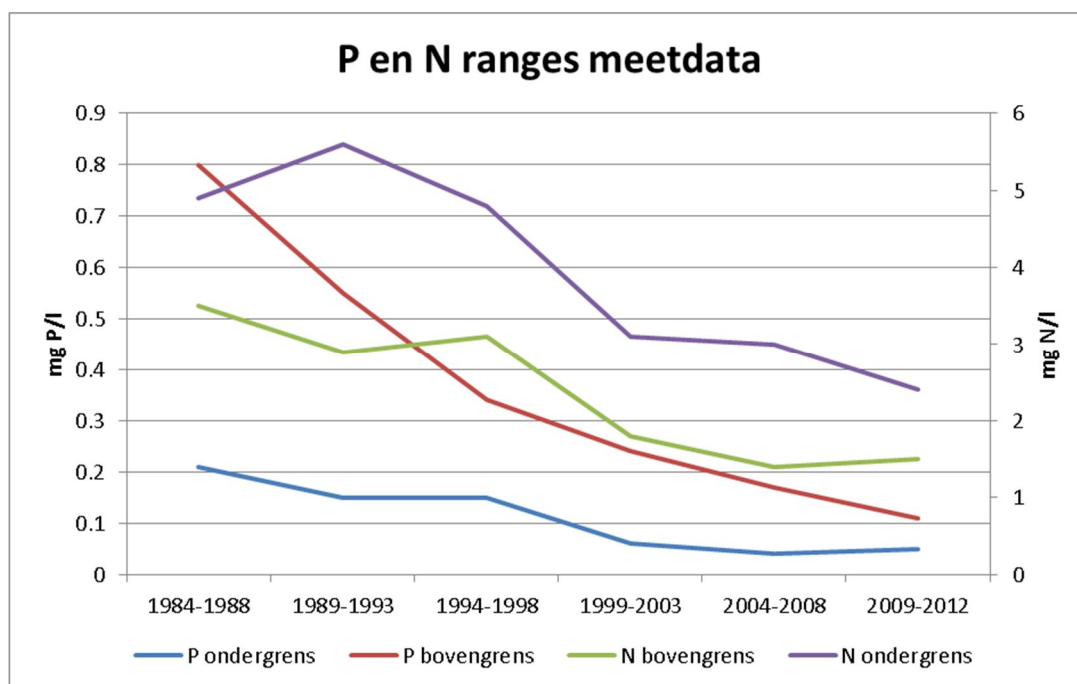
Met betrekking tot het aandeel blauwalgen en de trofische staat van een waterlichaam (gedefinieerd als de totaal fosfaat- en stikstofconcentraties), zijn in het verleden verscheidene studies uitgevoerd waarin de trofische staat gebruikt werd als verklarende factor voor de aanwezigheid van bepaalde groepen blauwalgen. Zo laat Schreurs (1992) in zijn studie van trofische niveaus in Nederlandse meren zien dat zomergemiddelde totaal nitraat- en fosfaatconcentraties van belang zijn voor eventuele dominantie van blauwalgen (zie Tabel 4.1). Zoals ook door Schreurs (1992) aangegeven laten de totaal stikstof- en fosfaatconcentraties, waaronder bepaalde blauwalgengenera dominant in het fytoplankton aanwezig waren, veel overlap tussen genera zien. Wel is zichtbaar dat bijvoorbeeld *Anabaena* onder lagere nutriëntconcentraties eerder dominant kan worden dan bijvoorbeeld *Planktothrix*.

Tabel 4.1 Door Schreurs (1992) afgeleide concentraties van totaal N en P en de daarbij mogelijke dominantie van een blauwalgengenera

Nutriënt	Concentratie	Genera
N	3.0-3.2	<i>Planktothrix</i>
P	0.20-0.25	
N	2.8-3.3	<i>Microcystis</i>
P	0.20-0.32	
N	2.8-3.8	<i>Aphanizomenon</i>
P	0.15-0.20	
N	2.0-2.8	<i>Anabaena</i>
P	0.12-0.25	
N	2.1-3.6	Andere blauwalgen
P	0.14-0.29	
N	2.8-3.3	Geen blauwalgen
P	0.18-0.28	

Dat dezelfde totaal stikstof- en fosfaatconcentraties tot dominante van verschillende genera kunnen leiden, komt doordat andere factoren, zoals temperatuur, wind, mate van menging van de waterkolom en lichtklimaat ook een belangrijke rol spelen in fytoplanktoncompetitie

(Huisman et al., 2005). Verder hangt de beschikbaarheid van P en N voor fytoplankton af van de opbouw van totaal P en N: is het opgebouwd uit veel of weinig organisch materiaal? Indien totaal P en N vooral in organisch materiaal voorkomt, dan is dit minder beschikbaar voor fytoplankton (met uitzondering van een paar specialistische soorten) dan wanneer het in anorganische vorm voorkomt. Hierdoor kan de daadwerkelijk beschikbare nutriënten voor fytoplankton verschillen. (Schreurs, 1992). Niettemin kan de waargenomen afname in totaal fosfaat- en stikstofconcentraties, uitgaande van de ranges die door Schreurs (1992) zijn opgesteld, een verklaring zijn voor de sterke afname van *Planktothrix* in de meest recente jaren. In de periode 2009-2012 zijn de totaal fosfaat en stikstofconcentraties gedaald onder de door Schreurs aangegeven ranges voor grote blauwalgdominantie (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Overzicht van de overall range van totaal P en N concentraties (mg/l, P op de linker y-as, N op de rechter y-as) voor de verschillende perioden in de beschouwde meren.

Doordat de waterkwaliteitsparameters tussen de meren kunnen verschillen, is het niet verwonderlijk dat de blauwalgenabundantie tussen de meren ook van elkaar verschilt. Door verschillen in heersende milieucondities kan er een andere fytoplanktoncompetitie zijn met als resultaat verschillen in blauwalgensamenstelling en –abundantie. Verder tonen Figuur 3.8, Figuur 3.9, Tabel 3.3 en Bijlage A.4 dat er inderdaad verschillen zijn tussen het aandeel blauwalgen ten opzichte van de andere fytoplanktonsoorten in de verschillende meren (deelvraag vier).

4.2.1 Blauwalgen en nutriëntlimitatie.

Uit de waterkwaliteitsdata blijkt dat de laatste jaren een groot aantal Friese meren het gehele zomerhalfjaar fosfaat gelimiteerd zijn en later in de zomer ook nitraat gelimiteerd. In de blauwalgtellingen is te zien dat in een aantal meren *Synechococcus* vanaf 2009 zijn intrede doet en dat in een beperkt aantal meren *Lyngbya* een relatief groter aandeel in de blauwalgensamenstelling heeft (zie Figuur 3.8, Figuur 3.9 en Bijlage C). Deze blauwalgengenera zijn onder fosfaat-limitatie sterke concurrenten van diatomeeën en groenalgen. *Lyngbya sp* zijn in veenmeren juist goede concurrenten omdat ze, door

afscheiding van een enzym, organisch gebonden P kunnen oplossen (Huisman en Hulot, 2005).

Onder N-limitatie zijn N-fixerende soorten in de groepen *Anabaena*, *Nostoc*, *Gloeocapsa*, *Trichodesmium* en een paar *Synechococcus* soorten goede concurrenten voor diatomeeën en groenalgen (Huisman en Hulot, 2005). Zoals reeds aangegeven heeft *Synechococcus* recent zijn intrede gedaan in een aantal meren. Maar ook de *Nostocaceae* komen pas vanaf 2004-2008 (Bergumermeer) en 2009-2012 (Fluessen en Zandmeer) voor. Onder *Nostocaceae* vallen de geslachten *Anabaena*, *Nostoc* en *Aphanizomenon*. De toegenomen N-limitatie in een groot aantal meren kan de sturende factor hiervan zijn.

Opgemerkt dient te worden dat in de blauwalgtellingen het mogelijk kan zijn dat *Raphidiopsis* verward is met *Cylindrospermopsis*. Het eerste geslacht komt vooral in warme landen zoals Egypte en Spanje voor en *Cylindrospermopsis* is echter gewoon in Frankrijk en wordt steeds vaker in Nederland wordt (pers. comm. M. Dionisio). In deze studie wordt er, indien *Raphidiopsis* wordt waargenomen, *Raphidiopsis* vervangen door *Cylindrospermopsis*.

4.2.2 Blauwalgen en klimaatverandering

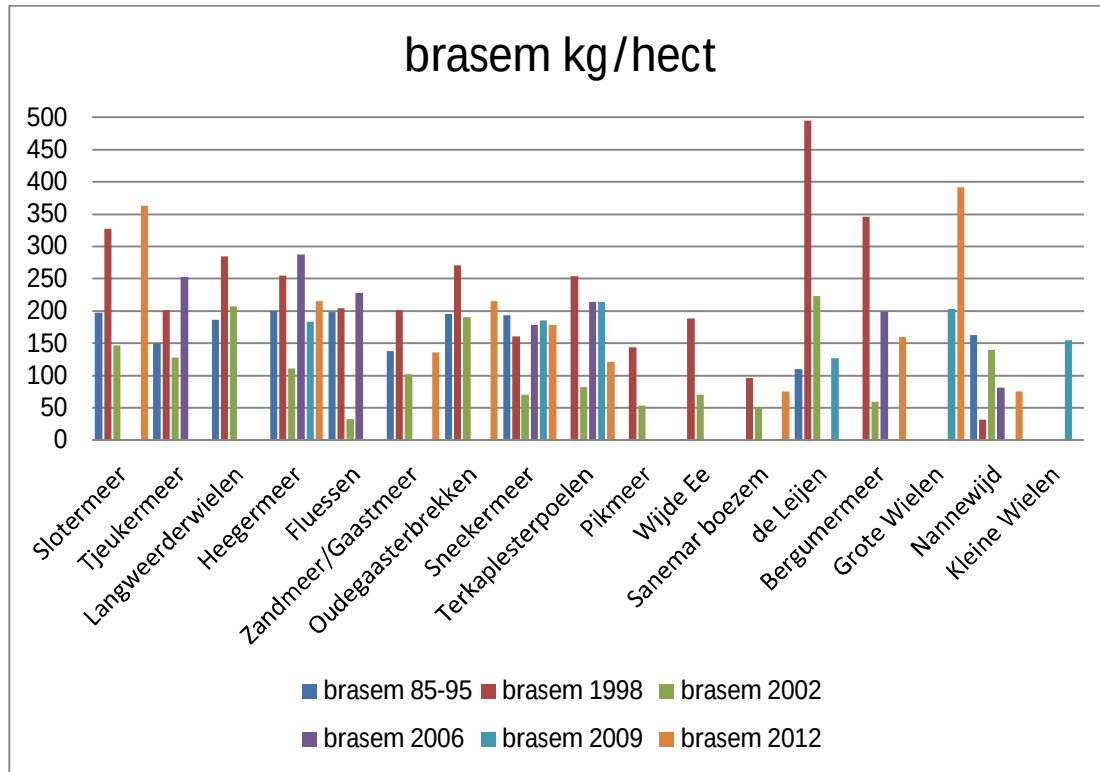
Klimaatverandering kan grote effecten hebben op de blauwalgen-samenstelling. Kosten (2011) geeft aan dat klimaatverandering de eutrofiering van oppervlaktewateren verstrekt, onder andere door stijging van de watertemperatuur wat effect heeft op de biogeochemie van het water, zoals meer mineralisatie en dus hogere nutriëntrecycling. Hogere nutriëntconcentraties en warmere temperaturen zijn over het algemeen voordelig voor blauwalgengroei, waardoor de afname in blauwalgenabundantie en uitblijven van *Planktothrix*-dominantie in de periode 2009-2012 slechts een tijdelijke afname zou kunnen zijn. Het is dus aan te raden de nutriëntconcentraties (totaal stikstof en totaal fosfaat) goed in de gaten te houden. Om voor de positieve invloed van temperatuur op blauwalgenabundantie te compenseren, is het zelfs aan te raden nutriëntconcentraties verder te verlagen (Wanink et al., 2008).

4.3 Doorzicht

Het doorzicht in de Friese meren is de afgelopen decennia toegenomen waardoor de Z_{eu}/Z_m ratio is toegenomen. De Z_{eu}/Z_m ratio ligt voor alle beschouwde meren in de bandbreedte waarbij in het Veluwemeer een afname in blauwalgdominantie is waargenomen. De verbetering van het lichtklimaat in het Veluwemeer is voor de toen dominante blauwalgsoort *Planktothrix* relatief ongunstig ten opzichte van groenalgen, diatomeeën en flagellaten. Daarnaast bleek dat de afname in met name totaal fosfaatconcentraties en het verkleinen van de verblijftijd belangrijke stuurvariabelen zijn geweest. Ook een aantal strenge winters hebben de afname in blauwalgdominantie bespoedigd. Desalniettemin is een hoge Z_{eu}/Z_m ratio nadelig voor blauwalgdominantie (Scheurs, 1992 en referenties daarin). Een 'pijnpunt' blijft wel dat het (nog) niet duidelijk is welke Z_{eu}/Z_m ratio in combinatie met nutriëntconcentraties in de Friese meren zal leiden tot het grotendeels verdwijnen van blauwalgdominantie.

In de Friese meren wordt de Z_{eu}/Z_m ratio mede bepaald door opwerveling van sediment door bodemomwoelende vis. In eutrofe meren in Nederland schommelt de visstand grofweg tussen 100 en 400 kg ha⁻¹ (Gulati et al. 2008). De brasemstand in de Friese meren zit meestal ook in deze range (Figuur 4.2). Bij deze hoeveelheden zal brasem verbetering van de waterkwaliteit tegenhouden (Gulati & van Donk 2002). Empirische data geven aan dat de planktivore visstand < 20 kg/ha en de bentivore visstand < 25 kg/ha moet zijn (Meijer & Hosper 1997). Figuur 4.2 laat zien dat die biomassa's tot nu toe niet bereikt zijn. Ervaringen

uit het Veluwemeer toonden aan dat blauwalgen verdwenen nadat de brasemstand teruggebracht was tot circa 20 kg ha⁻¹ (Dionisio Pires et al. 2003, Gulati et al. 2012).



Figuur 4.2 Dichtheid van brasem in verschillende Friese meren van 1985 tot en met 2012. Figuur door Wetterskip Fryslan aangeleverd.

De hoeveelheden brasem in de Friese meren liggen nog fors hoger dan de 20 kg ha⁻¹ die in de Veluwerandmeren is gerealiseerd. Indien dit zo blijft dan zal het erg moeilijk zijn om het doorzicht te verbeteren omdat volwassen brasem voor troebel water zorgt en jonge brasem (0+ vis) planktivoor is en een hoge predatiedruk op het zooplankton zal uitoefenen (Gulati et al. 2008, 2012).

4.4 Blauwalgen en kansen

Lastig bij het op tijd identificeren van blauwalgproliferatie is de snelheid waarmee algen zich kunnen voortplanten (Huisman en Hulot, 2005). Onder de juiste omstandigheden zijn één tot twee verdubbelingen per dag normaal. Dit houdt in dat wanneer er op een gegeven moment niet veel blauwalgen aanwezig zijn, maar de komende dagen ideaal blijken voor blauwalgengroei, er op korte termijn enorme drijflogen kunnen ontstaan. Het monitoren van blauwalgen is dus een korte termijn aangelegenheid, waarbij het zaak is te weten hoeveel blauwalgen er zijn op momenten waarop er nog geen sprake van overlast is, wat de milieucondities in het waterlichaam en de klimatologische omstandigheden van de komende dagen zijn.

De correlatie analyses hebben inzicht gegeven in de richting van stuurvariabelen die de kans op het aandeel van blauwalgen vergroten. Over het algemeen kan vanuit Tabel 3.4 worden afgeleid dat afnemende totaal stikstof- en nitraatconcentraties, relatief laag doorzicht, toenemende temperaturen en weinig wind goede milieucondities zijn voor blauwalgproliferatie. **Let op:** totaal fosfaat- en opgelost fosfaatconcentraties bleken een lage

correlatie te hebben, omdat de meegenomen waterlichamen nagenoeg allemaal fosfaatgelimiteerd zijn. Verder bleek dat hoge chlorofyl-a concentraties ook een aanwijzing kunnen geven over een hoog aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand. De verschillen in correlaties tussen de meren kunnen helpen om een differentiatie aan te brengen in focusparameters per meer. Echter, men moet zich er wel van bewust zijn dat de correlaties door de tijd heen kunnen veranderen omdat meren, alhoewel weinig stromend, dynamische systemen zijn. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de mate van fosfaat- en stikstoflimitatie. Een verandering in limitatie kan leiden tot dominantie of aanwezigheid van andere (blauw-) algengenera. Hieronder wordt een voorbeeld gegeven.

De kans op dominantie van *Planktothrix* is groot wanneer het waterlichaam troebel. Echter, vanuit het werk van Schreurs (1992) valt af te leiden dat wanneer de totaal nutriëntconcentraties relatief laag zijn, *Anabaena* een competitief voordeel kan hebben over *Planktothrix*, maar daarbij moet het lichtklimaat voldoende goed zijn zodat *Anabaena* het energetisch kostbare N_2 -fixering kan benutten. Een verschuiving van lichtklimaat kan dus van belang zijn voor het inschatten van een bepaalde blauwalggenera dominantie. Op basis van de uitgevoerde analyses zijn deze grenzen niet duidelijk te definiëren.

De lineaire multiële regressie analyse heeft duidelijk gemaakt dat er voor de Friese meren geen samengesteld pakket uit parameters kan worden gedestilleerd die helpen bij het voorspellen van blauwalgproliferatie: de accenten per meer verschillen en de verklarende kracht is laag. De verklarende kracht zou verbeterd kunnen worden door frequentere metingen te hebben en deze te analyseren en in het geval van wind, locatie specifieke metingen van het desbetreffende meer te hebben.

Naast deze 'korte' tijdstap van dagen, kunnen andere processen op grotere tijdschalen indicaties geven voor de geschiktheid van een waterlichaam voor blauwalgen over een aantal weken of maanden. Een voorbeeld is de NAO, zoals beschreven in Dionisio Pires (2012). Een positieve NAO index leidt tot hogere P uitspoeling in de winter, waardoor de trofische status van een waterlichaam hoger wordt dan aangenomen kan worden op basis van lineaire interpolatie. Een andere indicatie op langere termijn kan het achterblijven van waterplantengroei zijn. In De Kralingse Plas bleef in 2012 de waterplantengroei achter op de verwachting en was de blauwalgengroei (met een voor de plas onbekende soort) in de zomerperiode onverwacht hoog. Mogelijk heeft de achterblijvende waterplantengroei geleid tot een verandering in de concurrentie tussen waterplanten en blauwalgen ten nadele van de waterplanten. Hierdoor was blauwalgenproliferatie (weer) mogelijk (meer informatie bij L. Osté, Deltares). Het in de toekomst in de gaten houden van de waterplantontwikkeling lijkt dus nuttig te zijn omdat anomalieën van de normale waterplantengroei kunnen leiden tot onverwachte blauwalgproliferatie.

Het willen voorkomen van blauwalgen heeft in de eerste plaats te maken met de ervan. Zwemwateren worden gesloten bij drijfvlagen van blauwalgen omdat er kans is op gezondheidsrisico's als gevolg van toxische blauwalgen. De verrichtte analyses zijn dan ook maar een stapje in de richting van het uiteindelijke doel: kunnen voorspellen wanneer zich potentieel toxische omstandigheden voordoen, veroorzaakt door blauwalgen. Zoals eerder aangegeven blijkt dat blauwalgengenera niet altijd even toxisch zijn en de ene keer wel en de andere keer geen toxines produceren. Op dit moment is er nog weinig inzicht in wanneer en waarom er een bepaalde hoeveelheid toxines door genera worden geproduceerd (Kardinaal en Visser, 2007). Om toch een handreiking te kunnen doen, is onderstaande tabel opgenomen (Tabel 4.2). Deze tabel dient als eerste voorzet om helder te krijgen onder welke milieucondities de kans op welke blauwalgen toeneemt en welke toxines hierbij geproduceerd kunnen worden, waarbij geldt dat blauwalgen over het algemeen profijt hebben van hogere temperaturen en een weinig turbulente waterkolom.

Tabel 4.2 Overzicht van de in de Friese meren aangetroffen blauwalgen, met daarbij de toxines die ze kunnen produceren en een beschrijving van bekende en specifieke milieucondities.

Genera	Milieucondities	Toxines
Anabaena	Lage stikstofbeschikbaarheid,	Microcystine, Cylindrospermopsine, Anatoxine-a, Anatoxine-a (s), Saxitoxine, BMAA, lipopolysaccharide
Anabaenopsis		Microcystines, BMAA, lipopolysaccharide
Aphanizomenon	Lage stikstofbeschikbaarheid	Cylindrospermopsine, Anatoxine-a, Saxitoxine, BMAA, lipopolysaccharide A
Cylindrospermopsis		Cylindrospermopsine, Saxitoxine, BMAA, lipopolysaccharide
Lyngbya	Lage fosfaatbeschikbaarheid (vooral wanneer er wel veel organisch gebonden P in het systeem aanwezig is)	Saxitoxine, Lyngbyatoxine-a, Aplysiatoxine, BMAA, lipopolysaccharide
Microcystis	Weinig gemengde waterkolom, hoge nutriëntconcentraties	Microcystine, BMAA, lipopolysaccharide
Nostoc	Lage stikstofbeschikbaarheid	Microcystine, BMAA, lipopolysaccharide
Phormidium	Bodemzicht	Anatoxine-a, BMAA, lipopolysaccharide
Planktothrix	Weinig doorzicht	Microcystine, Anatoxine-a, Saxitoxine, Lyngbyatoxine-a, Aplysiatoxine, BMAA, lipopolysaccharide
Woronichinia		Microcystine, BMAA, lipopolysaccharide

Bovenstaande tabel is geen pleidooi om alle bekende toxinevarianten te gaan meten, maar wel om goed in de gaten te blijven houden welke blauwalgengenera er in de Friese meren worden aangetroffen. Een verschuiving van blauwalgensoorten, zoals die zich in de recente jaren lijkt in te zetten, kan bijvoorbeeld leiden tot minder productie van microcystine en meer productie van andere toxines. Het is goed dat men zich hier bewust van is en desgewenst

kan met behulp van bovenstaande tabel ook naar toxines anders dan microcystine gekeken worden.

4.5 Beschikbare meetinstrumenten

Het goed kwantificeren van blauwalgencellen geschiedt momenteel onder een microscoop en is niet eenvoudig. Blauwalgen komen voor in vele soorten en maten en kunnen groeien in uiteenlopende vormen. Bovendien zijn ze in staat kolonies te vormen van vele tienduizenden cellen groot. Er is veel kennis en ervaring voor nodig om deze onder een microscoop te herkennen en te kwantificeren.

Sinds de invoering van het Blauwalgenprotocol in 2009 is men in Nederland dan ook op zoek gegaan naar een relatief eenvoudige methode die op een objectieve manier kan aangeven wat de biomassa van (potentieel) giftige blauwalgen is. Eén van die methodes is gebaseerd op het gebruik van een fluorescentiemeter. Een dergelijk apparaat bepaalt een specifiek pigment dat alle blauwalgen bezitten: het fycocyanine. Dit is een blauwachtig pigment dat net als chlorofyl (bladgroen) bijdraagt aan het invangen van zonne-energie voor de groei van de blauwalg. De methode is snel en kan direct in het veld toegepast worden (van der Oost, 2010). Als eerste indicator van de hoeveelheid blauwalgen worden momenteel fluorescentiemeters ingezet omdat deze snel zijn. Voor het instellen van een risiconiveau zijn fluorescentiemetingen echter niet betrouwbaar (Blauwalgenprotocol versie 2012).

DNA-technieken (qPCR) zijn een goed alternatief voor bovenstaande technieken om blauwalgen te kwantificeren. Dergelijke technieken hebben als voordeel dat ze betrouwbaar, snel, reproduceerbaar, objectief en op termijn goedkoop antwoord kunnen geven op de aanwezige hoeveelheid potentieel giftige blauwalgen (Kardinaal et al., 2013). Ze vinden ook toepassing in ecologische vraagstukken, zoals het opsporen van de vissoort de grote modderkruiper (Herder et al., 2012). Echter, op dit moment is het te vroeg om te oordelen of deze nieuwe methoden daadwerkelijk verbanden beter in beeld kunnen brengen met betrekking tot verklarende milieufactoren en het aandeel blauwalgen in het totale fytoplanktonbestand.

4.5.1 Monitoring

De fluorescentiemeter is een manier om de hoeveelheid blauwalgen in het water direct te kunnen meten, maar is weinig betrouwbaar om de meting te koppelen aan een risiconiveau. DNA-technieken zijn op de langere termijn goede alternatieven als het gaat om trends te volgen, maar zijn niet geschikt voor risico-analyse. Dit betekent dat op dit moment de fluorescentiemeter de manier is, naast (blauw-) algentellingen, om een idee te krijgen van de hoeveelheid blauwalgen en hoe risicovol deze hoeveelheid is. Toxinmetingen geven uiteraard ook een indruk van de potentiële risico's voor zwemwaterrecreanten.

De gevonden correlaties in dit rapport zijn niet voor alle meren hetzelfde en men kan ook veranderingen zien in de relevantie van correlaties tussen bijvoorbeeld de periode 2004-2008 en de periode 2009-2012. Het lijkt er dus op dat de onderzochte Friese meren verschuiven naar minder voedselrijke omstandigheden. Echter, zoals eerder benadrukt, gedraagt een systeem zich niet lineair en is het goed denkbaar dat bij hogere temperaturen als gevolg van klimaatverandering en de daaraan gekoppelde toename in eutrofiering (STOWA, 2011), de verandering in dominante blauwalgengenera die waargenomen is in de laatste periode, niet blijvend is en dat bijvoorbeeld *Planktothrix* weer dominant kan worden.

De verbanden die in deze studie naar voren zijn gekomen moeten dus verder gestaafd en bekeken worden tijdens verschillende trofische staten en klimatologische omstandigheden om effectiever te monitoren. Dit kan gedaan worden door wanneer men met een fluorescentiemeter het veld in gaat, ook de waterkwaliteitsparameters op deze plek mee te nemen. Een praktisch probleem hierbij is dat het veel inspanning vereist om intensief metingen met de fluorescentiemeter midden in de boezemmeren uit te voeren. Intensivering is praktisch gemakkelijker op de zwemwaterlocaties (deze worden altijd vanuit de oever bemonsterd). De meetplek moet daarbij zorgvuldig gekozen worden. Immers de hoeveelheid blauwalgen kan plaatselijk zeer verschillen.

Verder kan er meer inzicht in de verbanden tussen het aandeel blauwalgen en milieufactoren verworven worden, door in meer detail naar de geleverde dataset van de afgelopen jaren te kijken. En verder, wanneer het budget het toelaat, met enige regelmaat (blauw-) algentellingen uit te voeren wanneer de quickscan niet aangeeft dat de blauwalgendichtheid hoog is, zodat er meer kennis wordt ontwikkeld over milieucondities en de relevantie hiervan voor eventuele blauwalgproliferatie. De milieucondities moeten dus gaan dienen als een voorspellingssysteem.

Voor de dagelijkse praktijk is het van belang om de fluorescentiemetingen met hoge(re) frequentie uit te voeren (het liefst aangevuld met algentellingen), omdat algen een snelle reactie hebben op voor hen gunstige milieucondities. Het is daarom aan te raden om vooral in warmere en windstille perioden meer frequent met de fluorescentiemeter te gaan meten dan de voorgeschreven 2 weken. In deze perioden is het aan te raden om toch om de andere dag of eens in de drie dagen het veld in te gaan en dan met name te meten op zwem/recreatieplekken om zo bij eventuele blauwalgontwikkeling een vinger aan de pols te houden.

4.5.2 Maatregelrichtingen

Zoals is gebleken is doorzicht een belangrijke sturende factor in het aandeel blauwalgen. Een verbetering in doorzicht kan ervoor zorgen dat *Planktothrix*-dominantie wordt verbroken. Verbeteren van doorzicht kan op verschillende manieren, onder andere door:

- Het verder aanscherpen van de P en N-limitatie (vermindering belasting)
- Het ingrijpen in de visstand zoals geopperd in §4.3
- het verlagen van windgedreven resuspensie van sediment in de meren (correlatie analyse wijst bijvoorbeeld Groote Wielen en Slotermeer aan als door wind beïnvloedde meren). Resuspensie kan bijvoorbeeld verlaagd worden door de strijklengte te verminderen door aanleg van luwtestructuren, of waterplantontwikkeling te stimuleren.

Het verlagen van nutriëntconcentraties leidt tot vermindering van algenbiomassa en kan dus leiden tot het verminderen van de hoeveelheid potentiële toxine productie. Echter, zoals aangegeven in § 4.2 en §4.4, kan een verschuiving in limitatie van algengroei ook leiden tot dominantie van andere blauwalgen. Een voorbeeld is de opkomst van *Lyngbya*: dit geslacht kan onder fosfaatlimitatie in waterlichamen die veel organisch gebonden fosfaat bevatten floreren. Het systeem minder fosfaat gelimiteerd maken voor dit geslacht kan dit geslacht benadelen (en dus wegconcurreren). Dit houdt niet in dat er dan geen andere blauwalg voor in de plaats kan komen. Dit type maatregelen moet daarom nauwgezet gemonitord worden.

Een ander type maatregel kan zijn om de waterkwaliteitsparameters te monitoren in samenhang met weersvoorspellingen en wanneer er grote kansen lijken te komen voor blauwalgproliferatie (hoge(re) temperaturen, stabiel weer, hogere chlorofyl-a concentraties) symptoommaatregelen te nemen, zoals het toedienen van waterstofperoxide. Het vroeg in een aankomende bloei toedienen van waterstofperoxide leidt ertoe dat blauwalgen gedood

worden en andere algen dus een competitief voordeel hebben. Het voordeel van eerder in de blauwalgenpopulatie toedienen kan zijn dat er minder waterstofperoxide nodig is en dat de schoonmaakkosten minder of zelfs nul zijn. Ook lijkt waterstofperoxide langer door te werken door blauwalgen te verzwakken voor cyano-specifieke virussen (cyanofagen) waardoor er een synergistisch effect van H_2O_2 en cyanofagen op de blauwalgen ontstaat (pers. comm. M. Dionisio Pires; comm. P.M. Visser op Platformdag Blauwalgen d.d. 01-03-2013). Tijdig een bloei van blauwalgen zien aankomen kan ook voordelig zijn voor andere symptoombestrijdingsmaatregelen, zoals menging van het water.

5 Conclusie

Het doel van de uitgevoerde studie was om voor de, in het beheergebied van Wetterskip, voorkomende soorten blauwalgen te achterhalen wat deze zeggen over de omstandigheden in het oppervlaktewater. Door de breedte van de vraag zijn er zes deelvragen geformuleerd:

1. Zijn er verschillen *tussen* de meren en over de tijd met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
2. Is een verschil *tussen* boezemwaterlocaties en polderwaterlocaties met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
3. Is er *binnen* een meer verschil over de tijd maar ook binnen een jaar met betrekking tot waterkwaliteitsparameters en blauwalgen?
4. Hoe verhoudt zich het (procentueel) aandeel blauwalgen t.o.v. de andere fytoplanktonsoorten in de verschillende meren?
5. Is er verschil in de abundantie in blauwalgen tussen de meren en verschillen de groepen blauwalgen per meer?
6. Zijn er verschuivingen in blauwalgensoorten waarneembaar die gerelateerd kunnen worden aan klimatologische veranderingen?

Uit de studie is gebleken dat:

1. Niet alle meren zijn significant verschillend van elkaar, maar de meren kunnen ook niet als een grote bak water met dezelfde waterkwaliteit worden gezien. Door de tijd heen zijn er wat verschuivingen te zien in meren die significant van elkaar verschillen, maar er is geen sprake van dat de meren meer op elkaar lijken dan twintig jaar geleden.
2. Op basis van twee polderwaterlocaties lijkt het erop dat de waterkwaliteitsparameters niet structureel afwijken van de boezemwaterlocaties.
3. Over de jaren heen is er in de meeste meren een afname zichtbaar in chlorofyl-a, totaal stikstof, totaal fosfaat en opgelost fosfaat, waarbij vooral de concentratie van de laatste parameter in de laatste 10 jaar significant is afgenomen. Voor het aandeel blauwalgen en nitraatconcentraties is deze verschuiving minder tot niet zichtbaar. Dit suggereert dat het aandeel blauwalgen onafhankelijk is van de geconstateerde veranderingen in genoemde chemische milieufactoren.
4. Globaal genomen beslaat het aandeel blauwalgen van het totaal aantal fytoplanktongeslachten zo'n 30 procent, maar er bestaan verschillen tussen de meren en tussen de perioden. Gevonden significante verbanden tussen het aandeel blauwalgen en chemische milieufactoren variëren over de beschouwde perioden en meren. Multiple regressie levert weinig meer inzicht op.
5. In veel meren zijn wel dezelfde blauwalgen terug te vinden, maar er zijn verschillen tussen de meren.
6. Een aantal blauwalggeslachten, zoals *Cylindrospermopsis*, die vooral in warmere streken voorkwamen, zijn vanaf 2004 met enige regelmaat in de Friese meren terug te vinden.

Uit de studie is gebleken dat het mogelijk is door correlatie en multi-pele regressie analyse milieucondities aan het aandeel van blauwalgen ten opzichte van de totale fytoplankton te koppelen, maar ook kunnen de waargenomen blauwalgensoorten gekoppeld worden aan milieucondities. Deze relaties moeten wel verder worden uitgewerkt, maar kunnen zeker handvatten bieden om monitoring van blauwalgproliferatie effectiever te maken.

Striktere monitoring van waterkwaliteitsparameters en type blauwalgen helpt inzicht te krijgen in de verschillende Friese meren. Dit inzicht kan gebruikt worden om gerichte maatregelen te nemen om blauwalgenproliferatie tegen te gaan of snel te ontdekken, waardoor zwemwaterlocaties gerichter gebruikt dan wel afgezet kunnen worden.

6 Aanbevelingen

Uit de gedane studie kunnen een aantal aanbevelingen voor de toekomst worden meegegeven:

1. Door waar nodig meer te meten en ook locatie specifiek (fluorescentie, DNA), kunnen de milieucondities van blauwalgensoorten beter ingeschat worden. Dit levert voor de toekomst waardevolle kennis op die gebruikt kan worden voor maatregelen op maat per meer.
2. De huidige database kan in verder detail worden uitgespit door bijvoorbeeld jaren te gaan groeperen op trofische status of temperatuur (denk hierbij aan bijvoorbeeld de warme jaren 2003 en 2006) om meer kennis te vergaren over de dynamiek van verschillende blauwalgengenera onder verschillende milieucondities. Deze milieucondities kunnen in de toekomst dan beter als voorspeller van verschillende blauwalgengenera optreden.
3. Wind kan erg van belang zijn voor het lichtklimaat in de Friese meren doordat het voor resuspensie van sediment kan zorgen. In deze studie zijn enkel de windgegevens van het KNMI-station in Leeuwarden meegenomen. Lokale windmetingen zullen nuttig zijn om inzicht te krijgen in het effect van wind op resuspensie van het sediment en dan weer het effect van geresuspendeerd materiaal op het lichtklimaat.
4. Tabel 4.2 verder invullen op basis van literatuur (N/P, NO_3/PO_4 ratio's, kritische zichtdiepte, temperatuur etc.) en verdere data-analyse.

7 Literatuur

Blauwalgenprotocol 2012, beschikbaar op het world wide web (laatst geraadpleegd op 24/01/2013):

<http://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@21897/blauwalgen/>

Cod, G.A., J. Lindsay, F.M. Young, L.F. Morrison en J.S. Metcalf (2007): "Harmful cyanobacteria, from mass mortalities to management measures", p 1-23 in J. Huisman, H.C.P. Matthijs en P.M. Visser (eds.): "Harmful Cyanobacteria", Springer, Dordrecht, ISBN: 1-4020-3009-6, ISBN (e-book): 1-4020-3022-3, 241pp.

Cronberg, G., H. Annadotter en L.A. Lawton (1999): "The occurrence of toxic blue-green algae in Lake Ringsjon, southern Sweden, despite nutrient reduction and fish biomanipulation", *Hydrobiologia* 404: 123-129.

Dionisio Pires, L.M., B.W. Ibelings, A. Elger, H. Gons, E. Lammens, B. Nolet, R. Noordhuis, R. Portielje & J. Vijverberg (2003): "Re-oligotrophication: effects on carrying capacity and biodiversity, state-of-the-art knowledge for shallow lakes in the Netherlands", NIOO-KNAW in opdracht van RIZA.

Gulati, R.D. & E. van Donk (2002): "Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review", *Hydrobiologia* 478: 73-106.

Herder, J., A. Valentini en J. Kranenborg (2012). Detectie van grote modderkruipers met behulp van Environmental DNA. *H₂O* 3: 25-27.

Huisman, J. en F.D. Hulot (2005): "Population dynamics of harmful cyanobacteria, factors affecting species composition", p 143-176 in J. Huisman, H.C.P. Matthijs en P.M. Visser (eds.): "Harmful Cyanobacteria", Springer, Dordrecht, ISBN: 1-4020-3009-6, ISBN (e-book): 1-4020-3022-3, 241pp.

Hoogenhout, H. en J. Ames (1965): "Growth rates of photosynthetic microorganisms in laboratory cultures", *Arch. Microbiology* (50), 10-15.

Jacoby, J.M., D.C. Collier, E.B. Welch, F.J. Hardy en M. Crayton (1999): "Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57, 231-240.

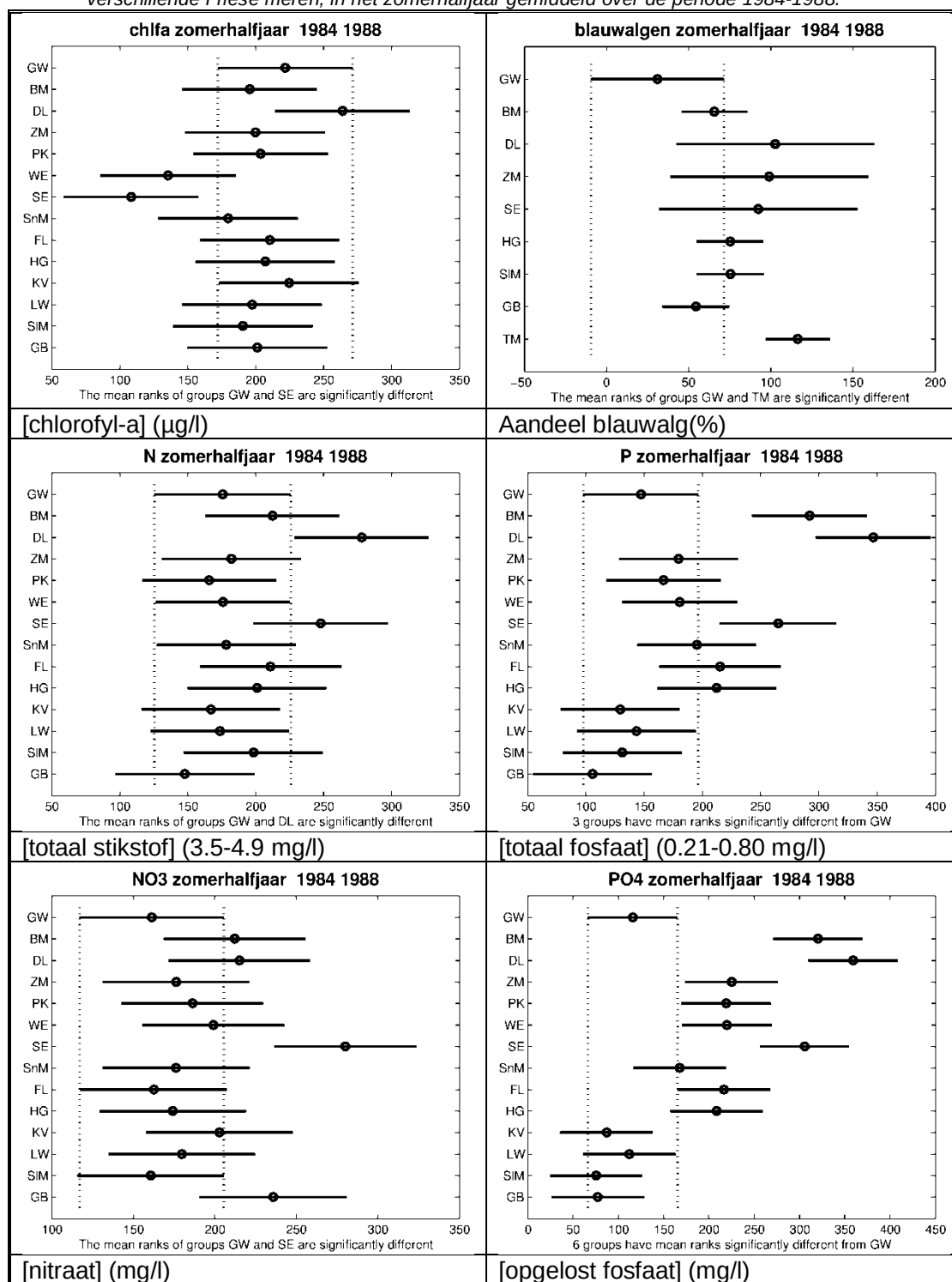
Kardinaal, W.E.A. en P.M. Visser (2007): "Dynamics of cyanobacterial toxins, sources of variability in microcystin concentrations", p 41-63 in J. Huisman, H.C.P. Matthijs en P.M. Visser (eds.): "Harmful Cyanobacteria", Springer, Dordrecht, ISBN: 1-4020-3009-6, ISBN (e-book): 1-4020-3022-3, 241pp.

Kardinaal, E., B. Wullings, B. van der Zaan & M. Dionisio Pires (2013) Blauwalgen- en toxinegenen snel gedetecteerd. *H₂O* 29 januari 2013.

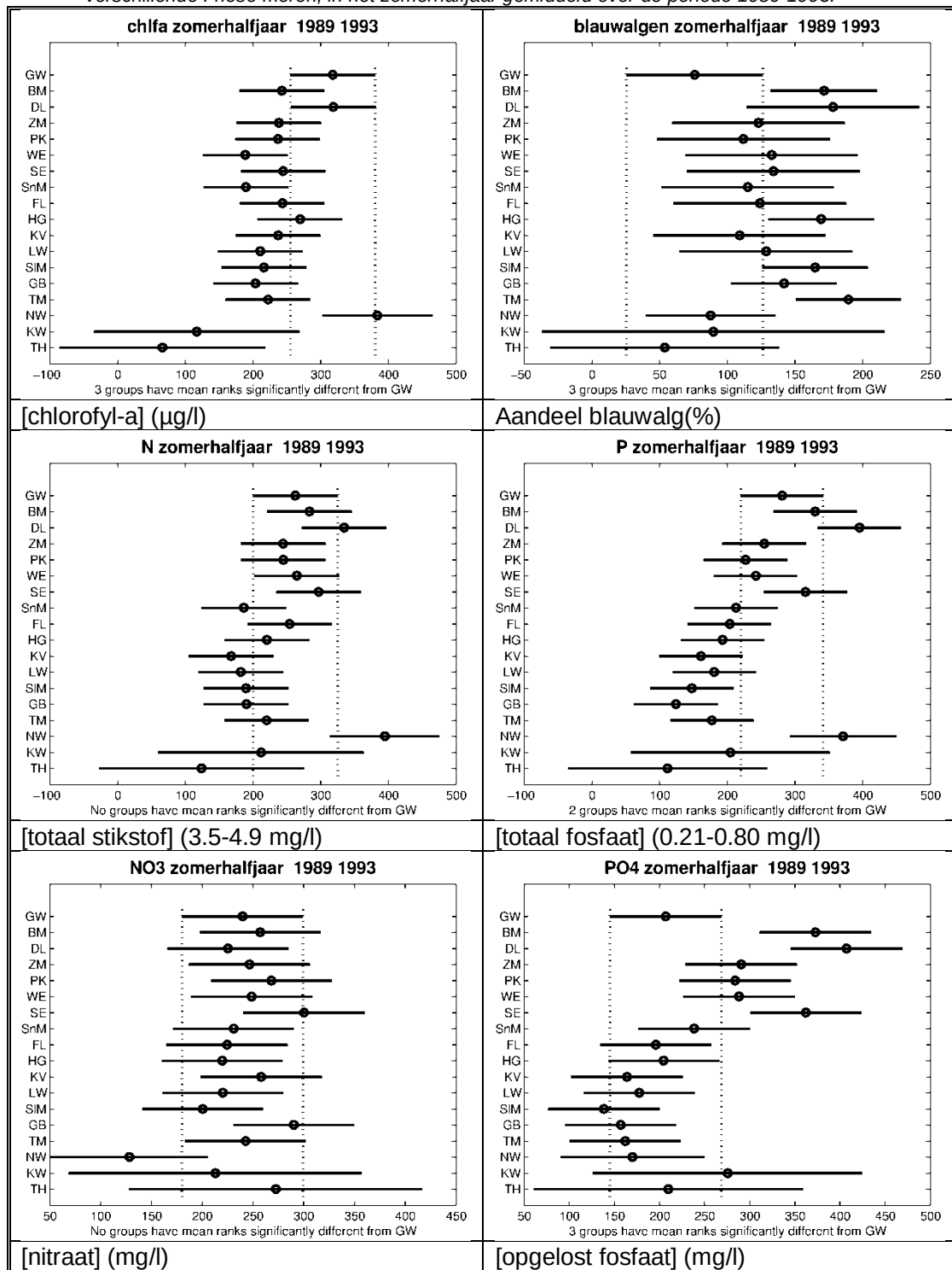
- Kosten (2011): "Een frisse blik op warmer water", STOWA-rapport nummer 2011-20, ISBN 978.90.5773.524.0, Lelystad.
- Meijer, M-L en H. Hosper (1997) Effects of biomanipulation in the large and shallow lake Wolderwijd, the Netherlands. *Hydrobiologia* 342/343: 335-349.
- Mur, L.R., O.M. Skulberg en H. Utkilen (1999): "Cynobacteria in the Environment", p 15-40 in I. Chorus and J. Bartram (eds.) (1999): "Toxic Cyanobacteria in Water, a guide to their public health consequences, monitoring and management", WHO-report, ISBN: 0-419-23930-8, 416 pp, Londen.
- Oost, van der, R. (2010). Toepassing van fluorescentie bij de beoordeling van de risico's van giftige blauwalgen. Stowa report 2010-18.
- Ouboter, M.R.L. en R.J. Vos (1998): "Screening doorzicht Friese Boezem", WL| Delft Hydraulics rapport T2275.
- Reynolds, C.S. (1984): "The Ecology of Freshwater Phytoplankton", Cambridge University Press, Cambridge.
- Robarts, R.D. en T. Zohary (1987): "Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria", *N.Z. J. Mar. Freshwater Resources* (21), 391-399.).
- Reynolds, C.S. (1984): "The ecology of freshwater phytoplankton", Cambridge University Press, Cambridge.
- Schreurs, H. (1992): "Cyanobacterial dominance, relations to eutrophication and lake morphology", dissertation, Amsterdam, 198 pp.
- Wanink, J., H. van Dam, F. Grijpstra en T. Claassen (2008): "Invloed van klimaatverandering op fytoplankton van de Friese meren", *H₂O* (23), 32-35.
- Watanabe, M.M., K. Kaya en N. Takamura (1992): "Fate of the toxic cyclic heptapeptides, the microcystins, from blooms of *Microcystis* (Cyanobacteria) in a hypertrophic lake", *Journal of Phycology* 28, 761-767.
- Welker, M., H. von Döhren, H. Tauscher, C.E.W. Steinberg en M. Erhard (2003): "Toxic *Microcystis* in shallow lake Müggelsee (Germany): dynamics, distribution, diversity", *Archiv für Hydrobiologie* 157, 227-248.
- Wicks, R.J. en P.G. Thiel (1990): "Environmental factors affecting the production of peptide toxins in floating scums of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in a hypertrophic African reservoir", *Environmental Science and Technology* 24, 1413-1418.
- Zevenboom, W. en L. Mur (1980): "N₂-fixing cyanobacteria, why they do not become dominant in Dutch hypertrophic lakes", *Dev. Hydrobiol.* (2), 123-131.

A Multivergelijking tussen meren

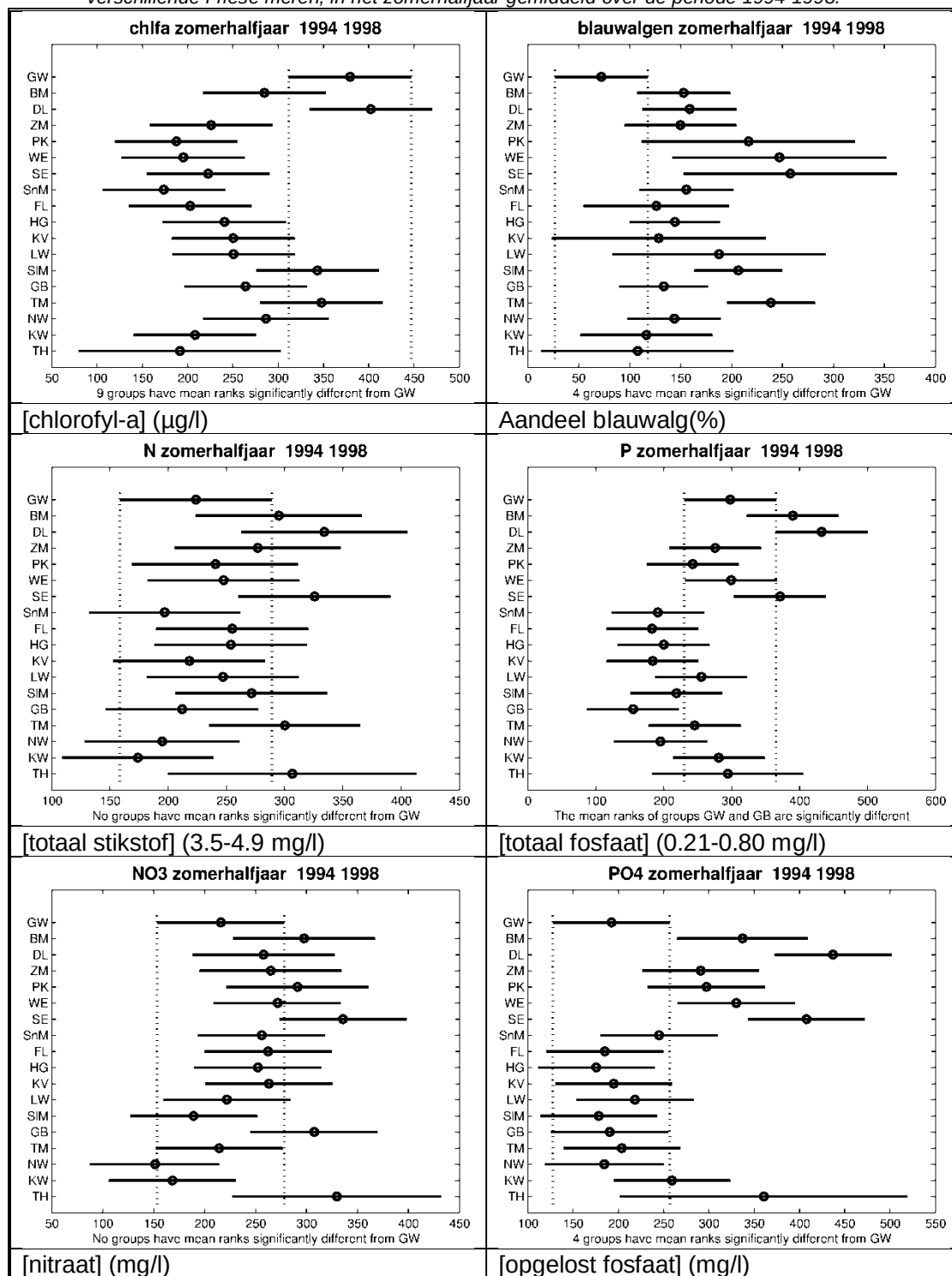
Tabel A.1 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 1984-1988.



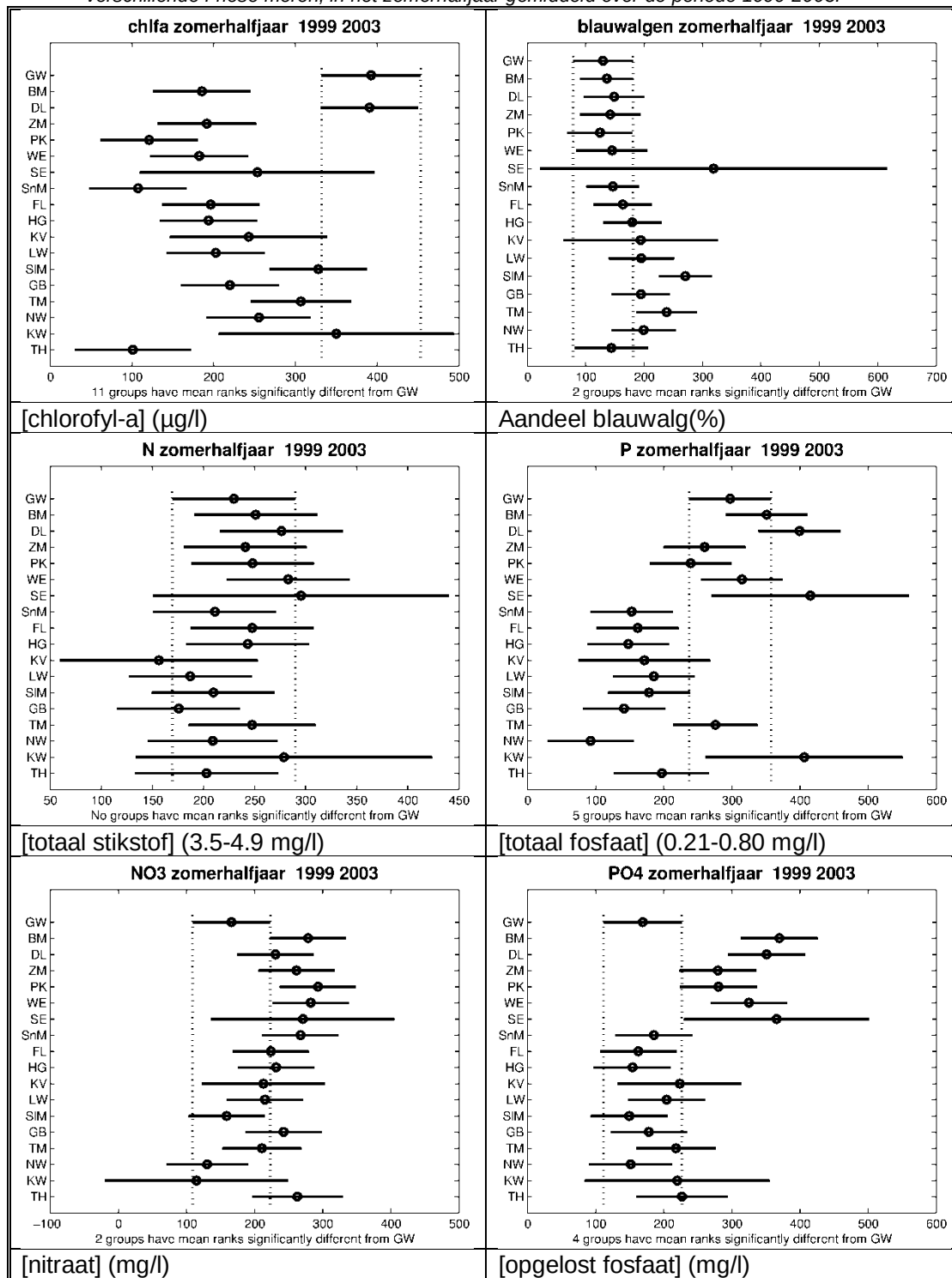
Tabel A.2 Multivergelijking figuren van chlorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 1989-1993.



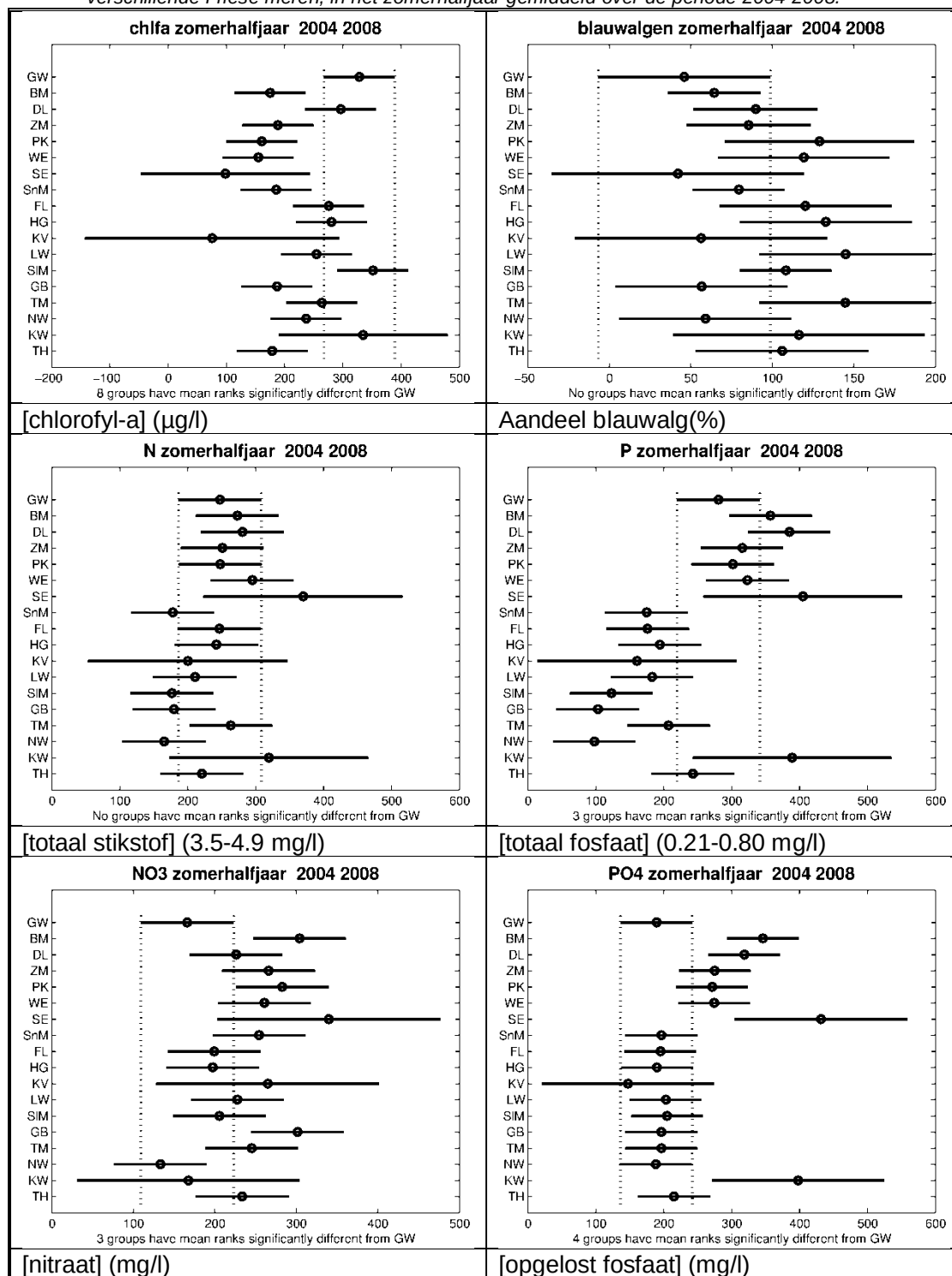
Tabel A.3 Multivergelijking figuren van chlfloorofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 1994-1998.



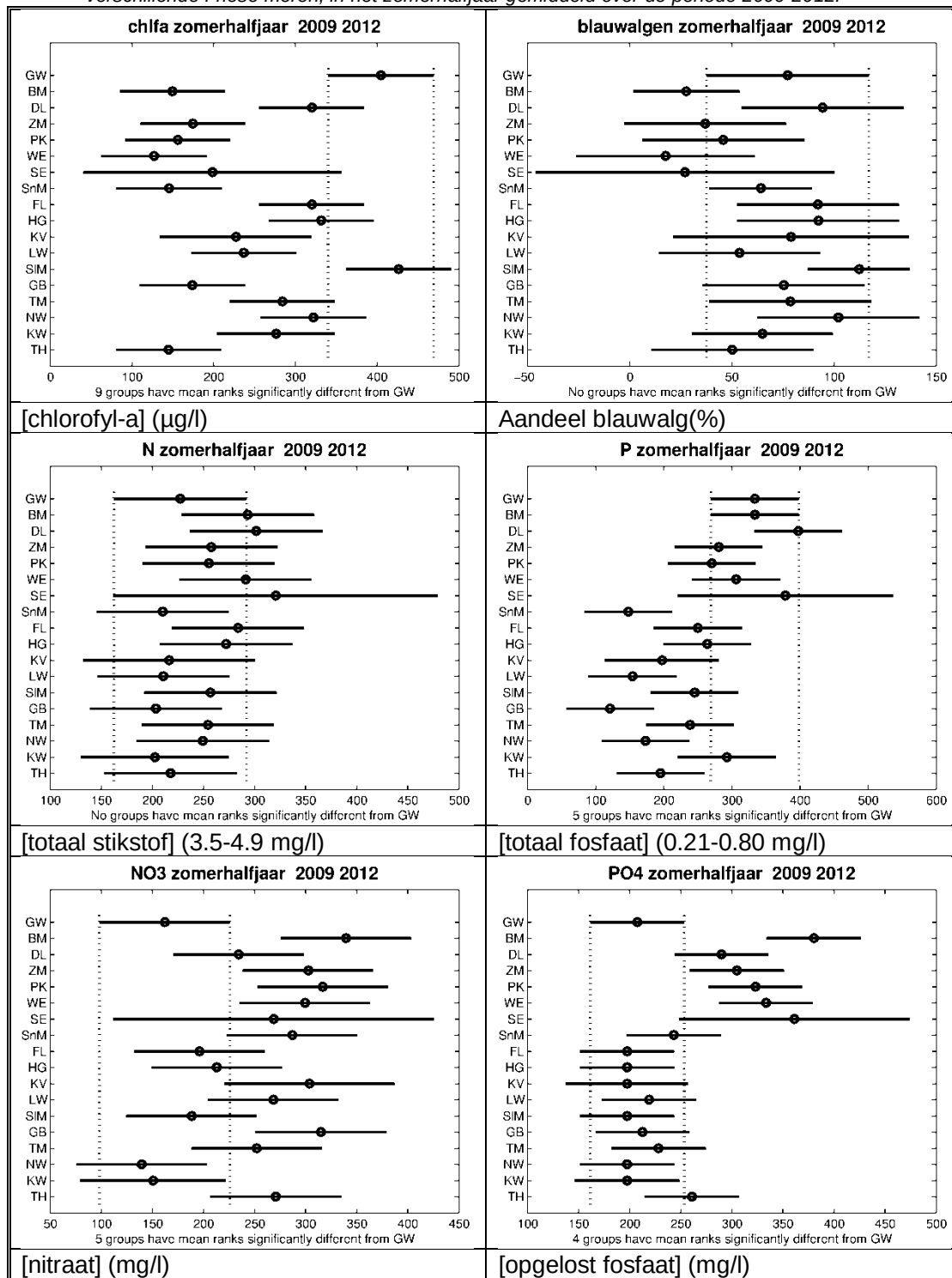
Tabel A.4 Multivergelijking figuren van chlforofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 1999-2003.



Tabel A.5 Multivergelijking figuren van chlforyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 2004-2008.

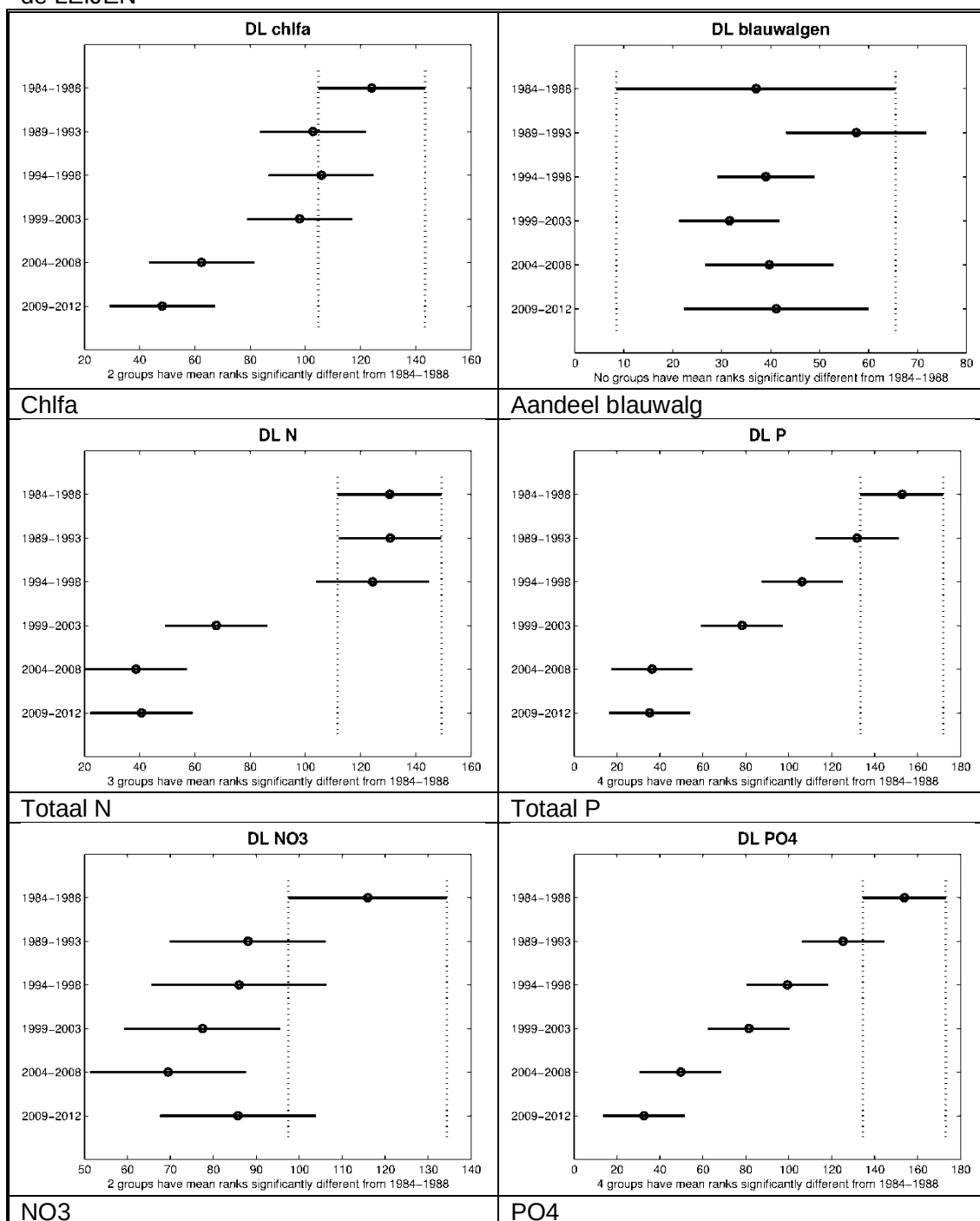


Tabel A.6 Multivergelijking figuren van chlforofyl-a, % blauwalgen, totaal N, totaal P, nitraat en fosfaat in de verschillende Friese meren, in het zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 2009-2012.

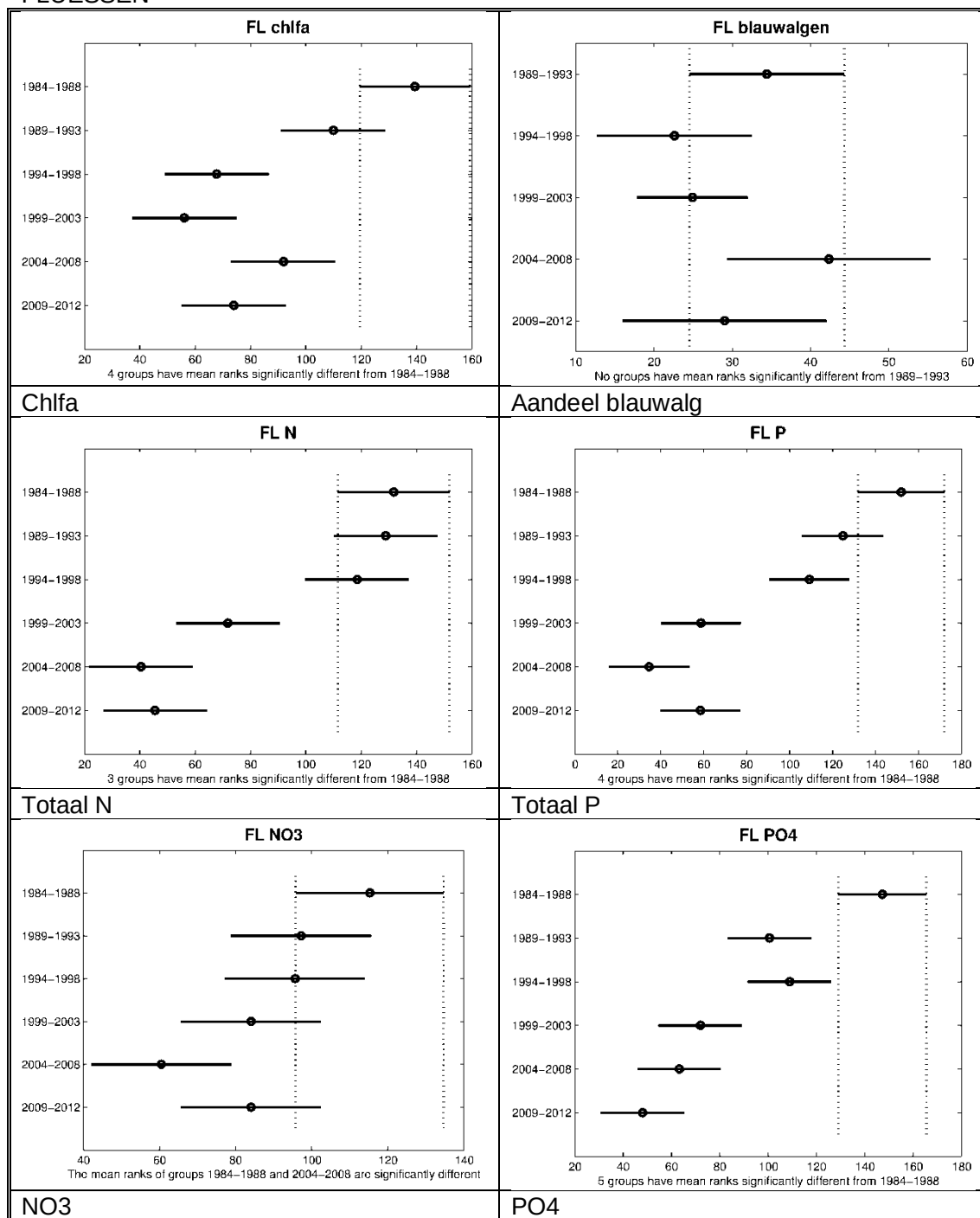


A.1 Multivergelijking binnen een meer

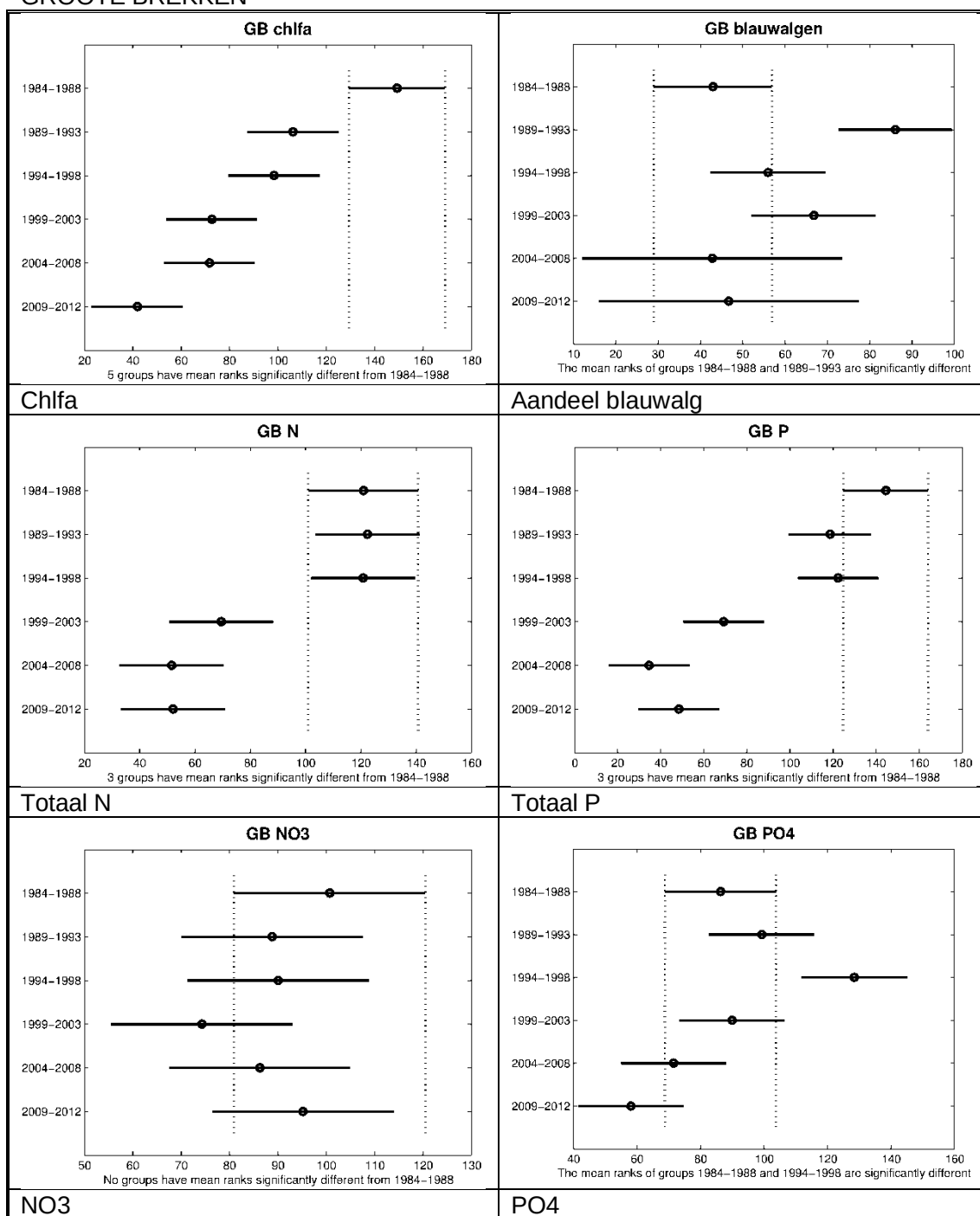
de LEIJEN



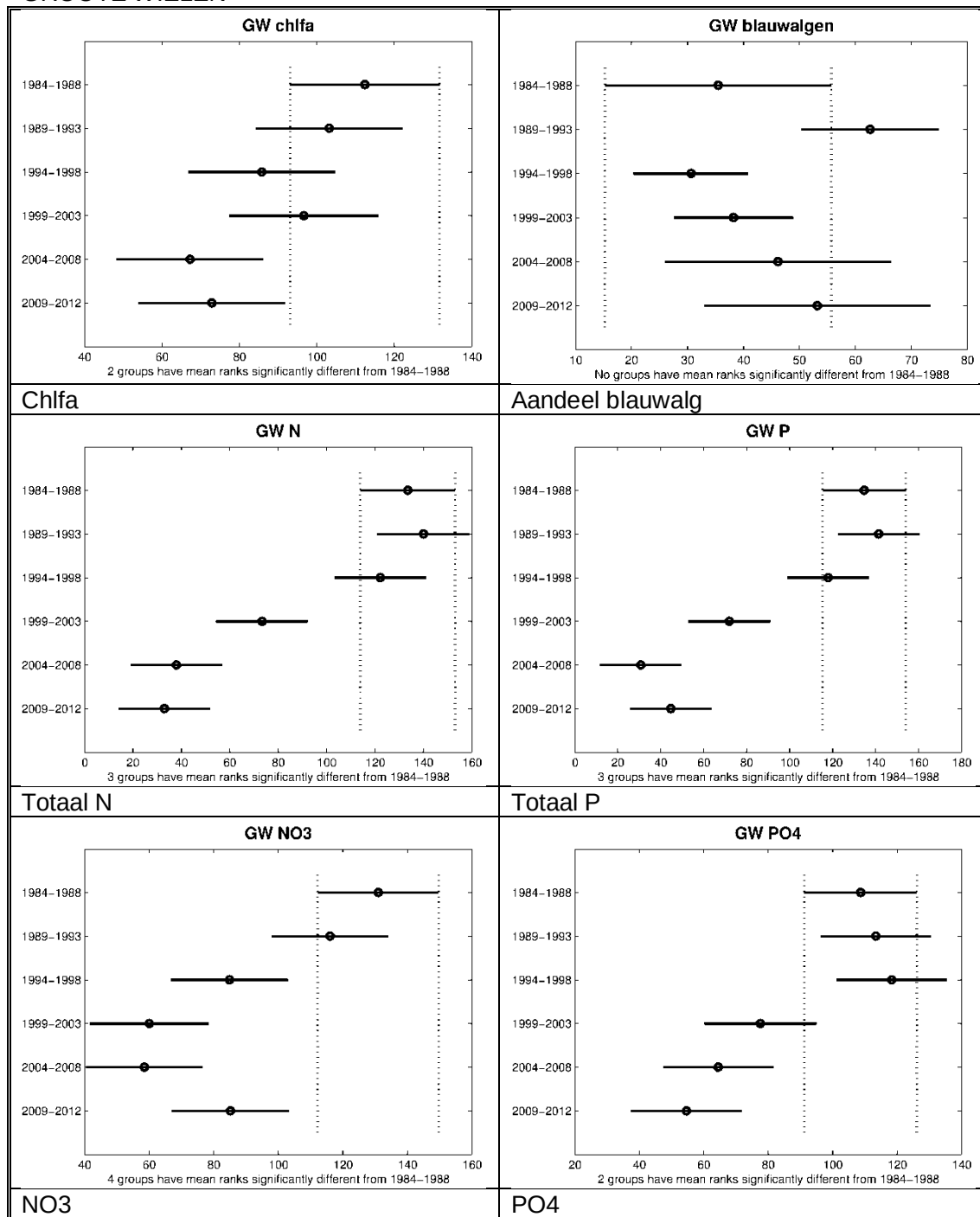
FLUESSEN



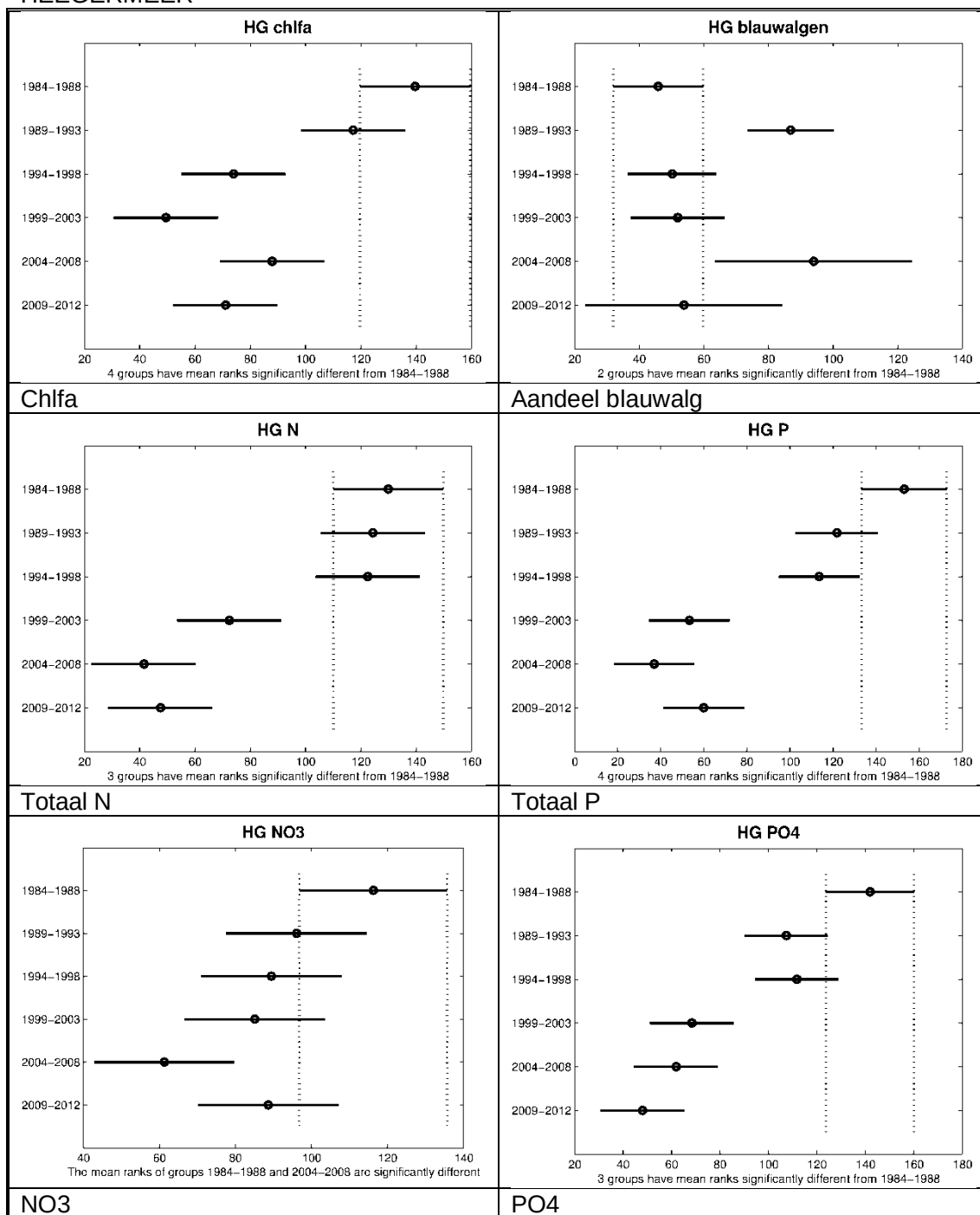
GROOTE BREKKEN



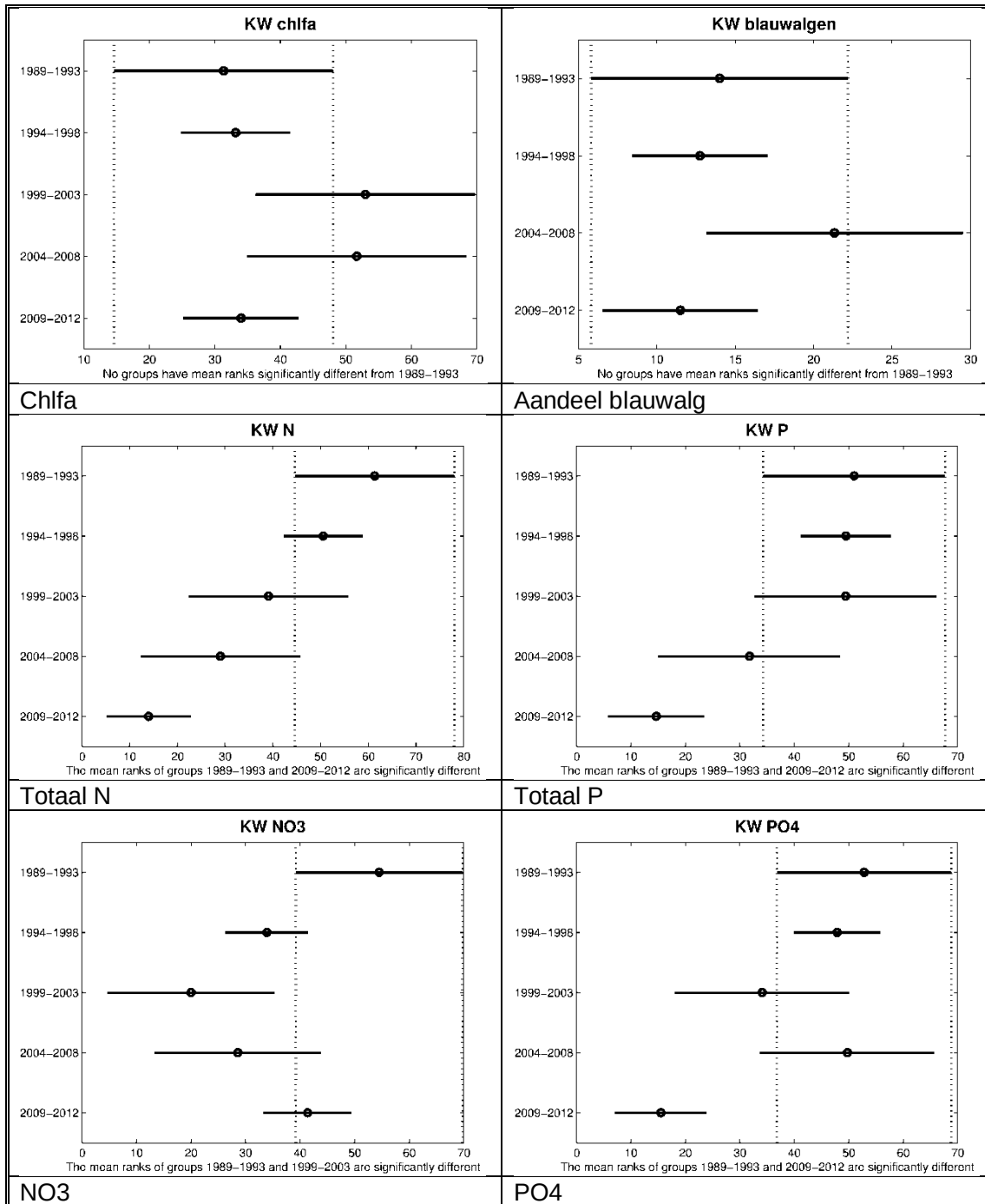
GROOTE WIELEN



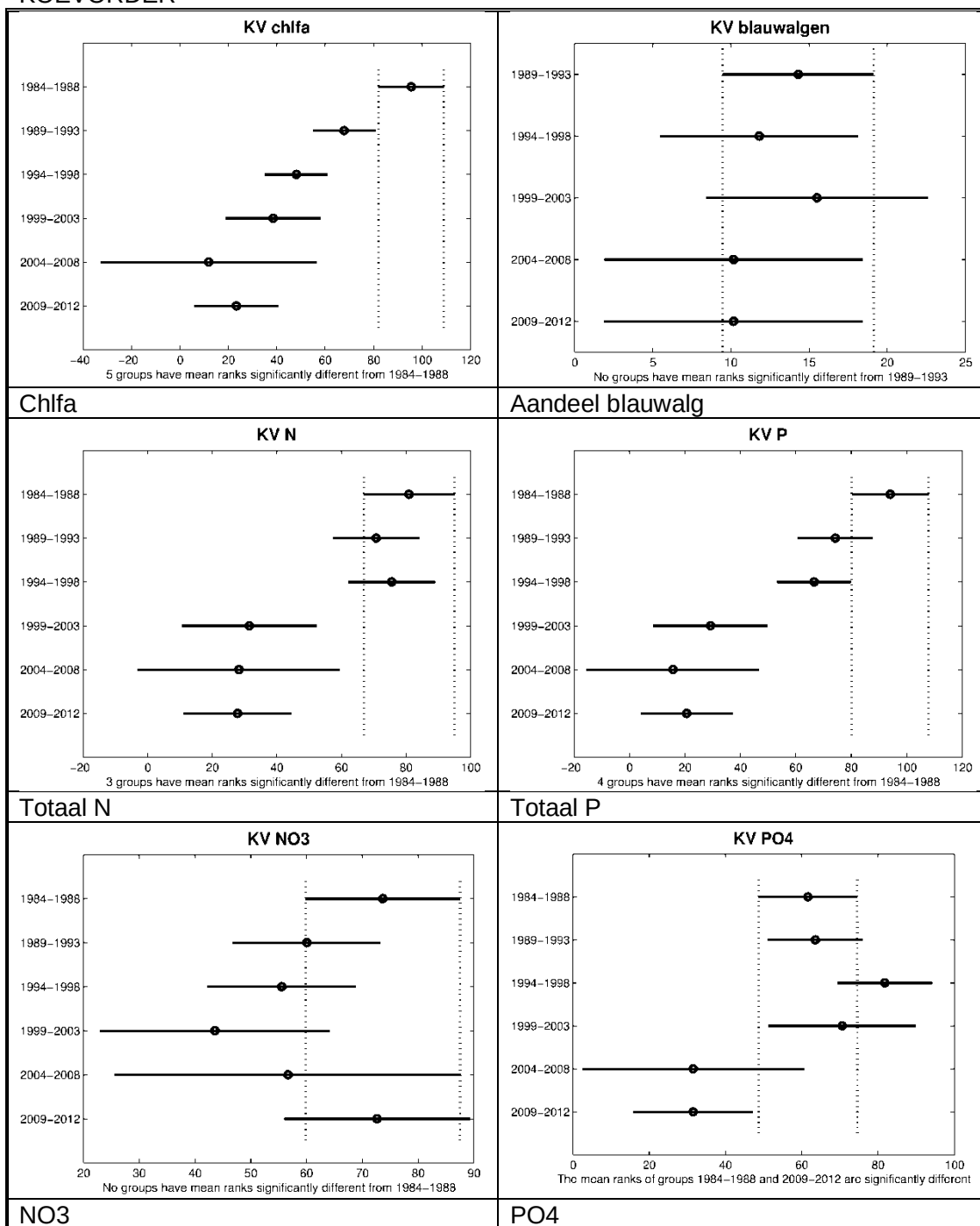
HEEGERMEER



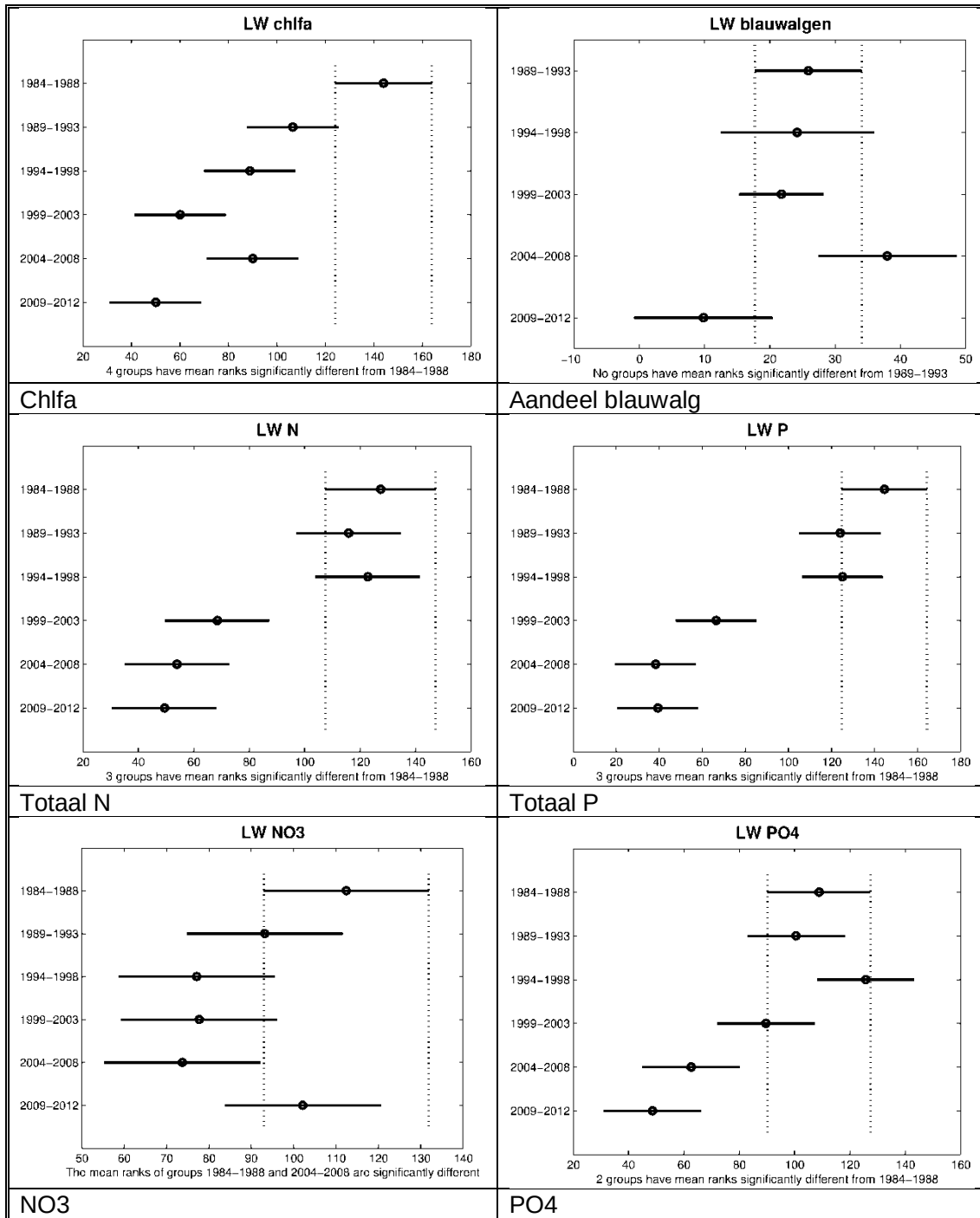
KLEINE WIELEN



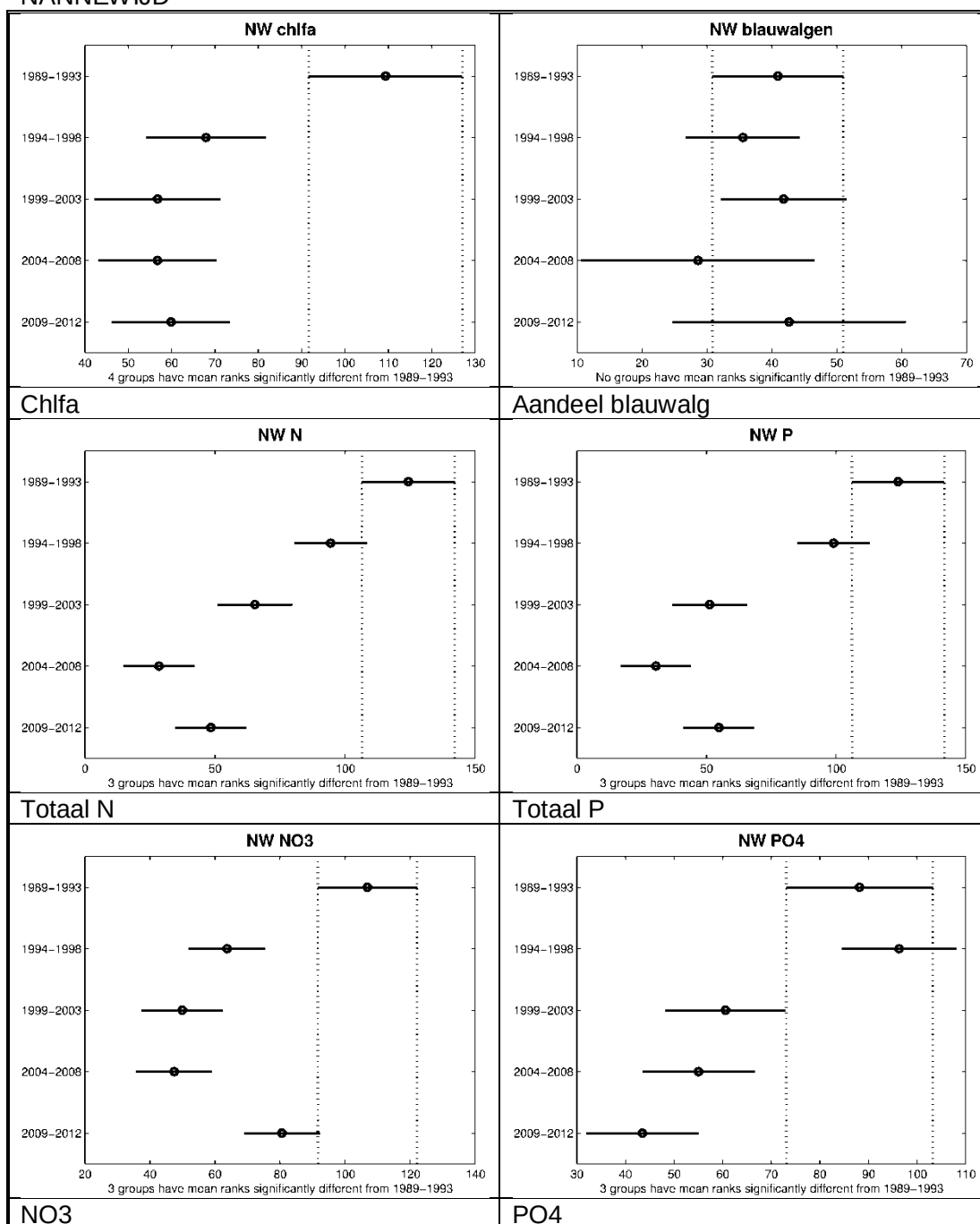
KOEVORDER



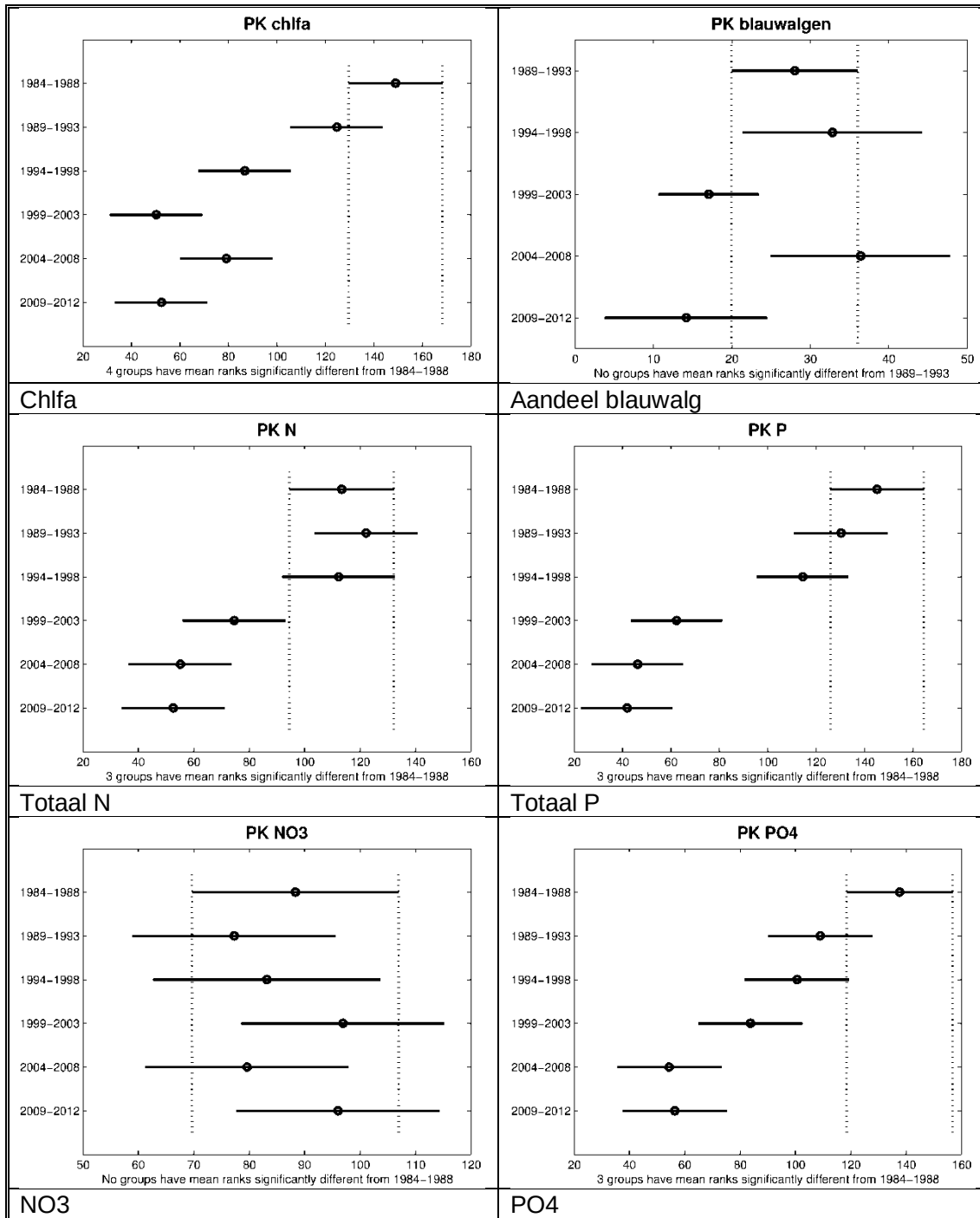
LANGWEERDERWIELEN



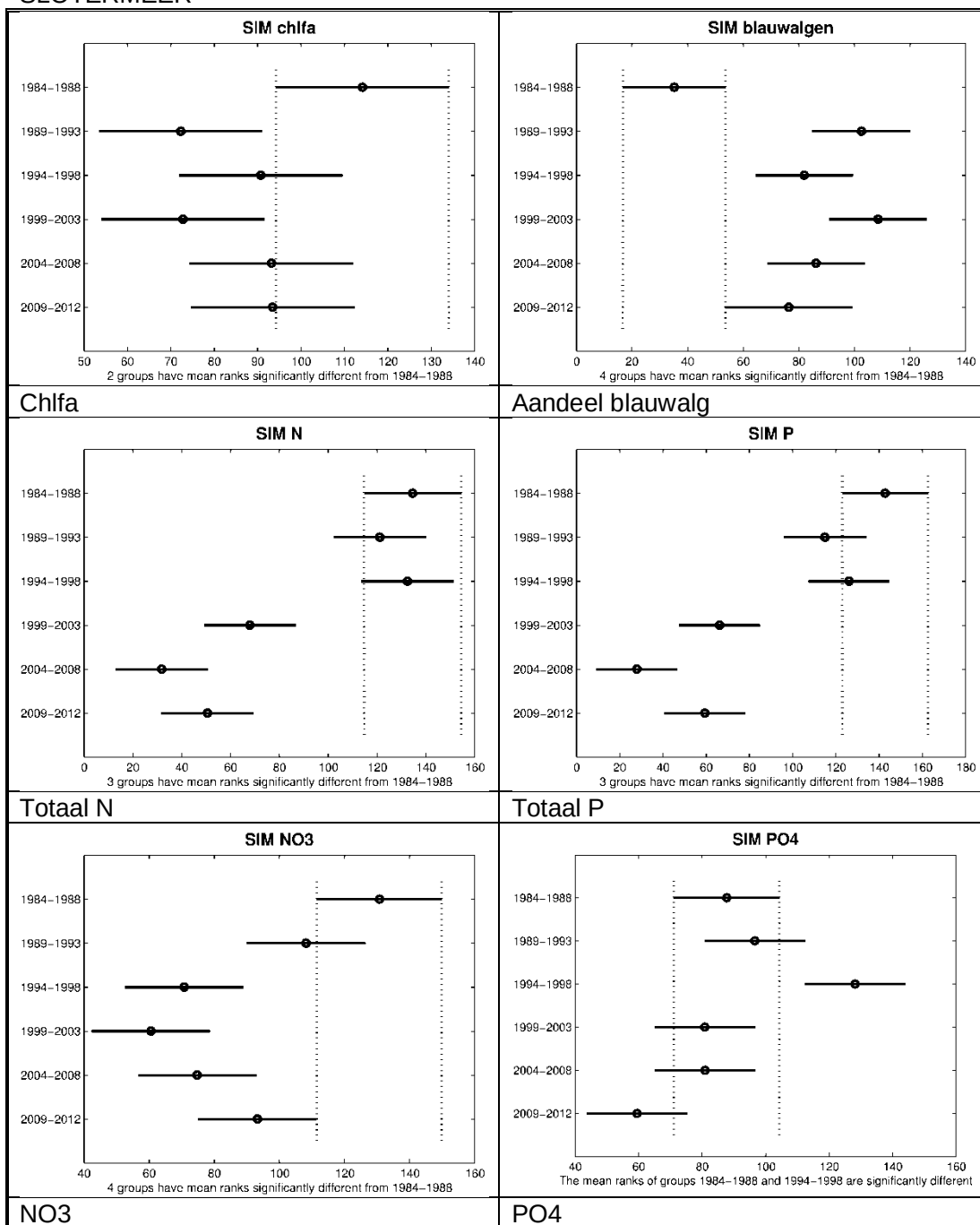
NANNEWIJD



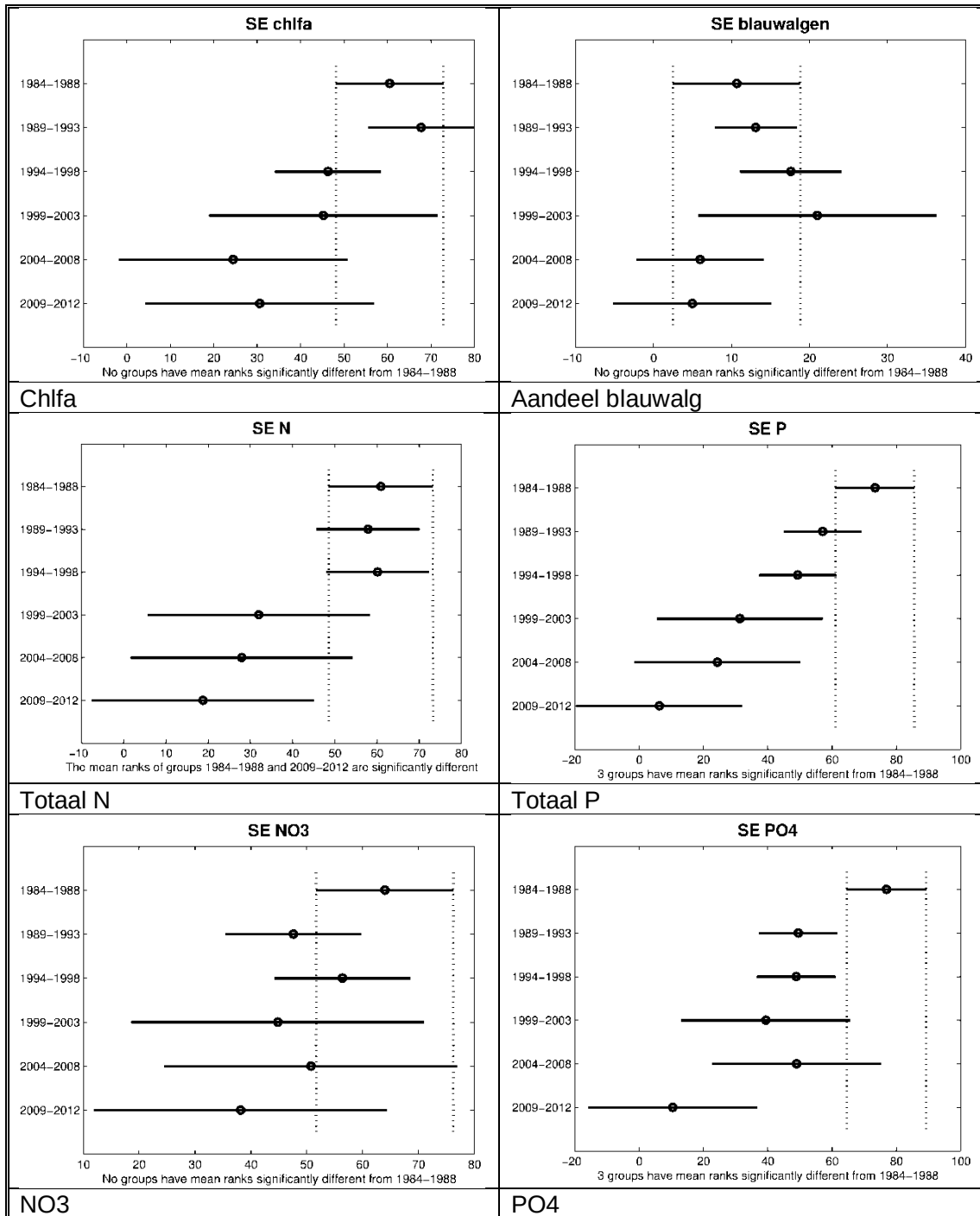
PIKMEER



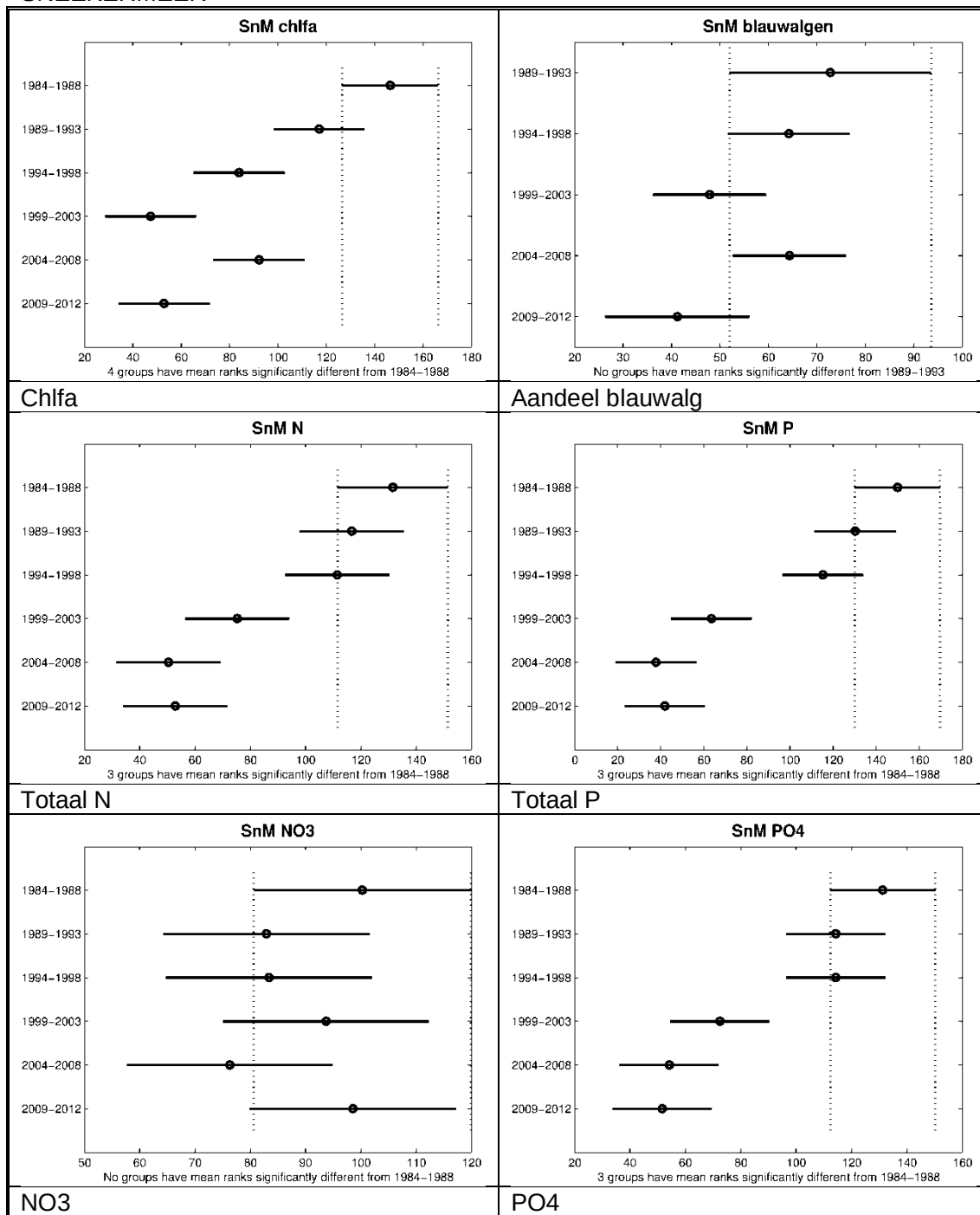
SLOTERMEER



SMALLE EESTERZANDING



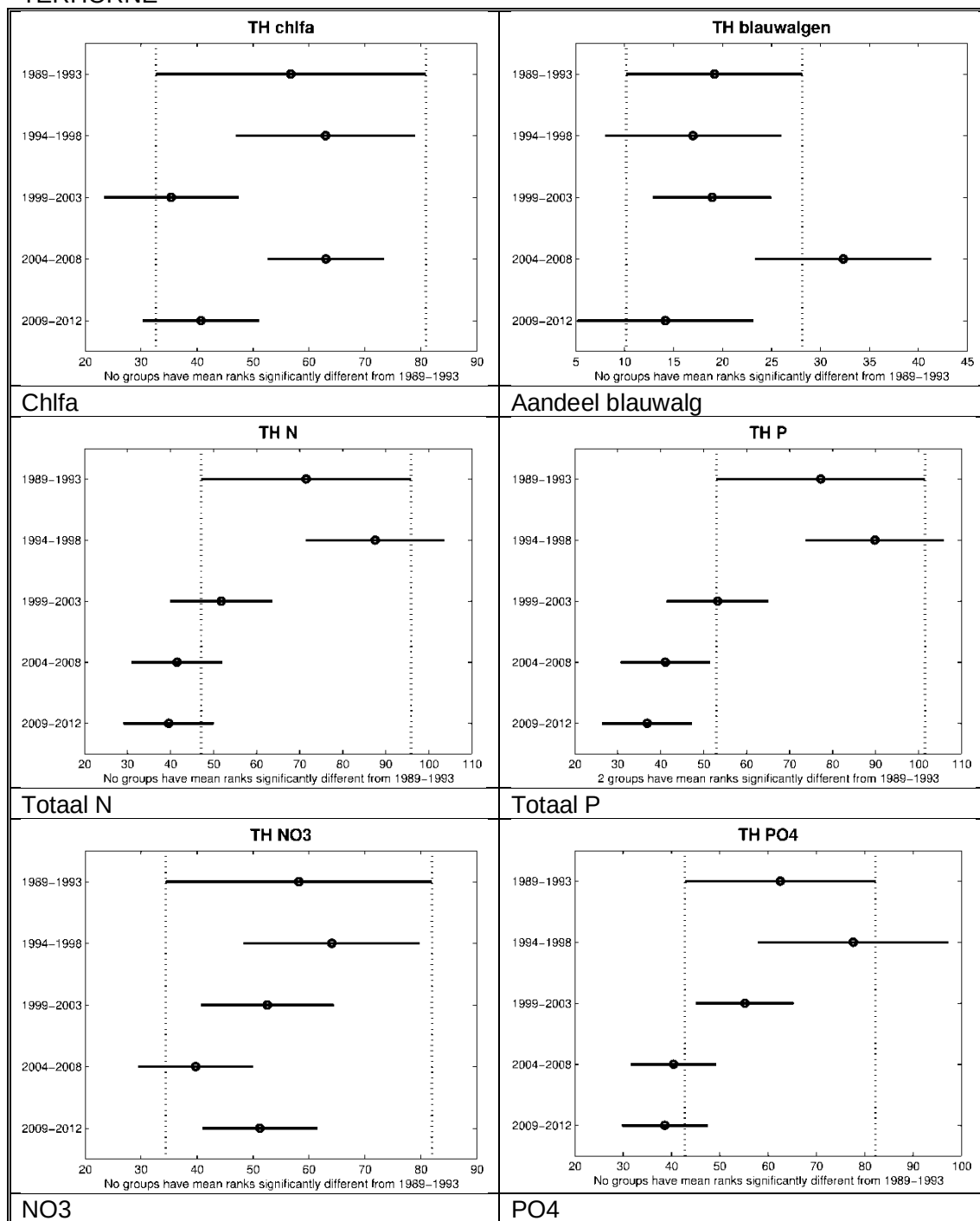
SNEEKERMEER



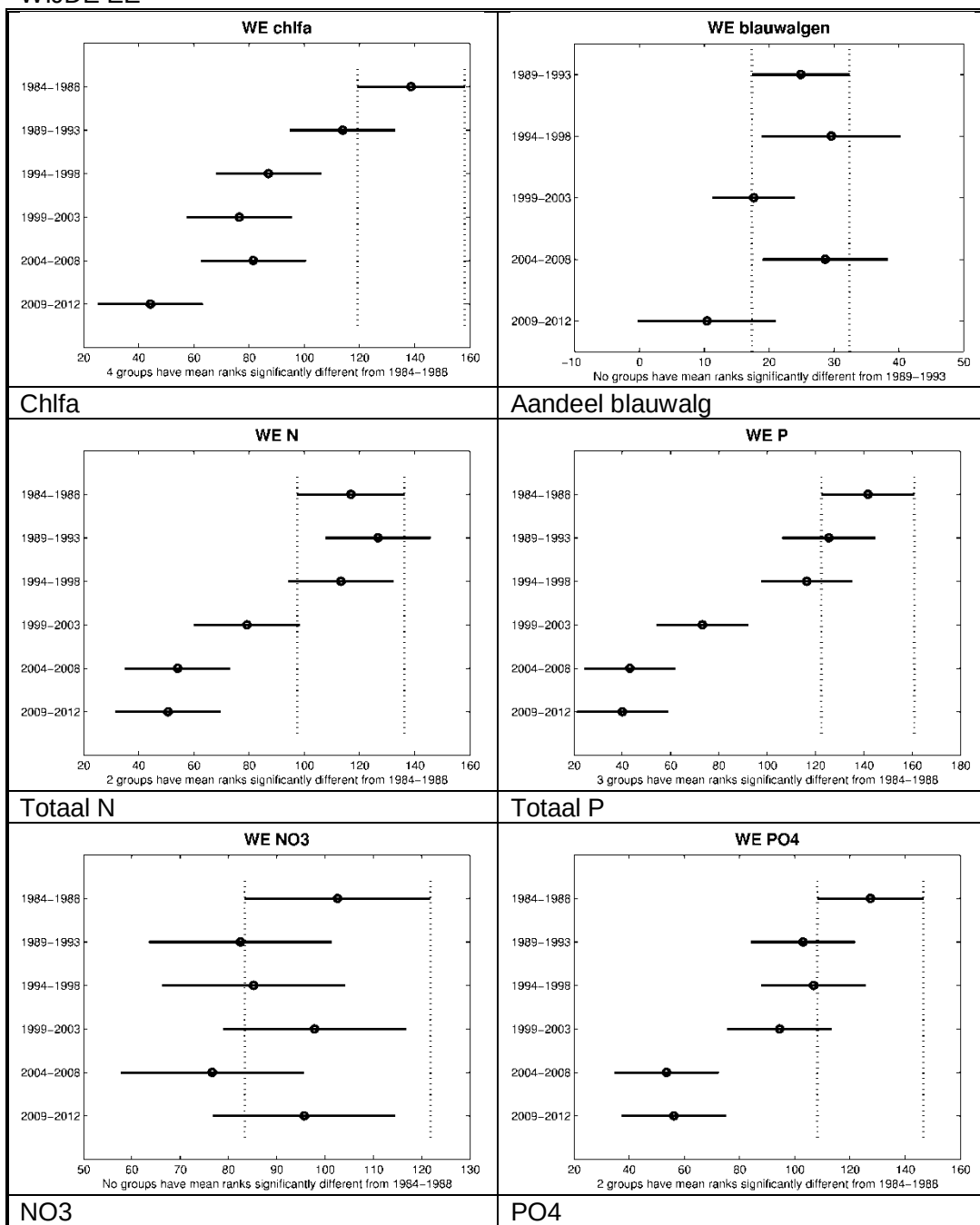
NO3

PO4

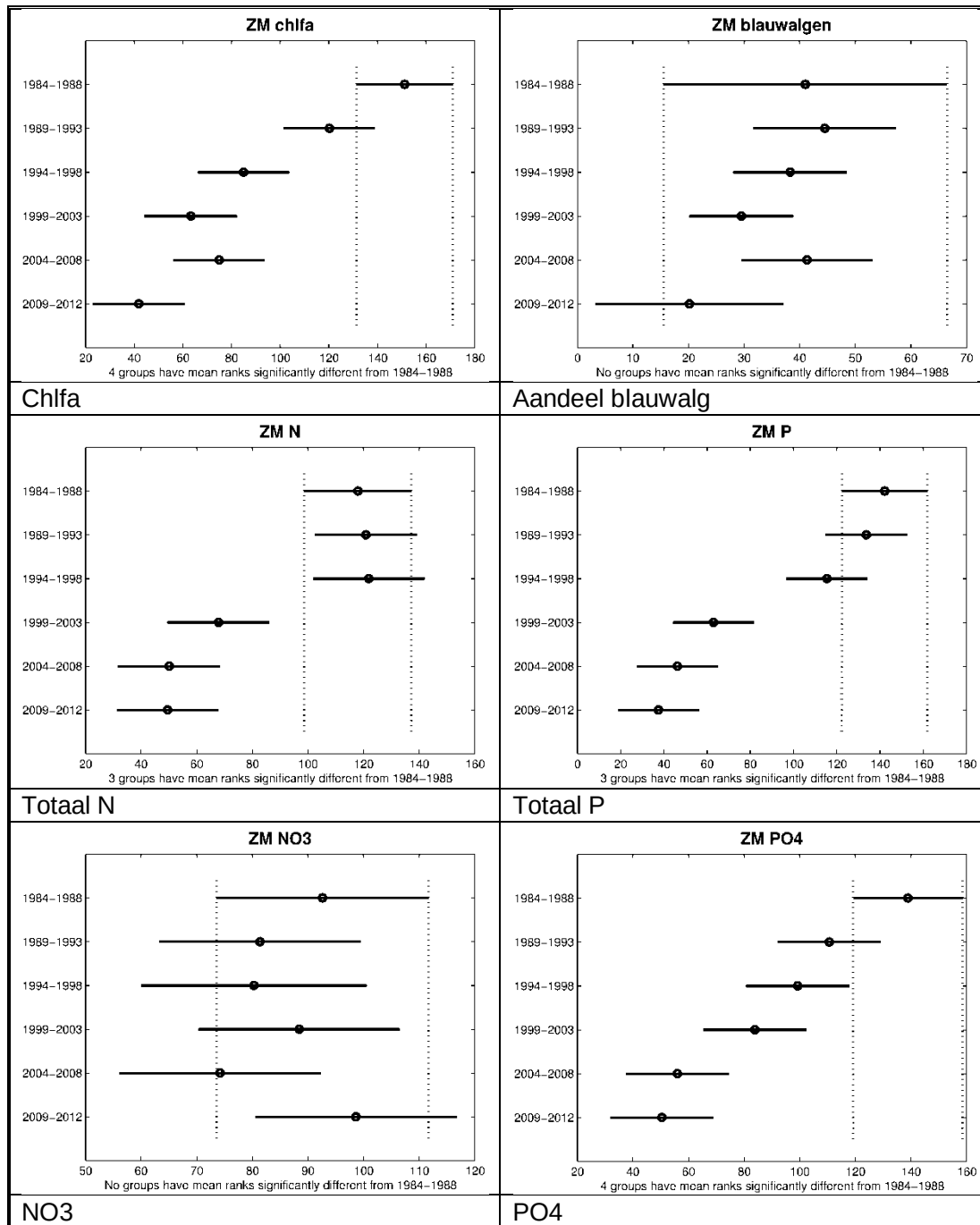
TERHORNE



WIJDE EE

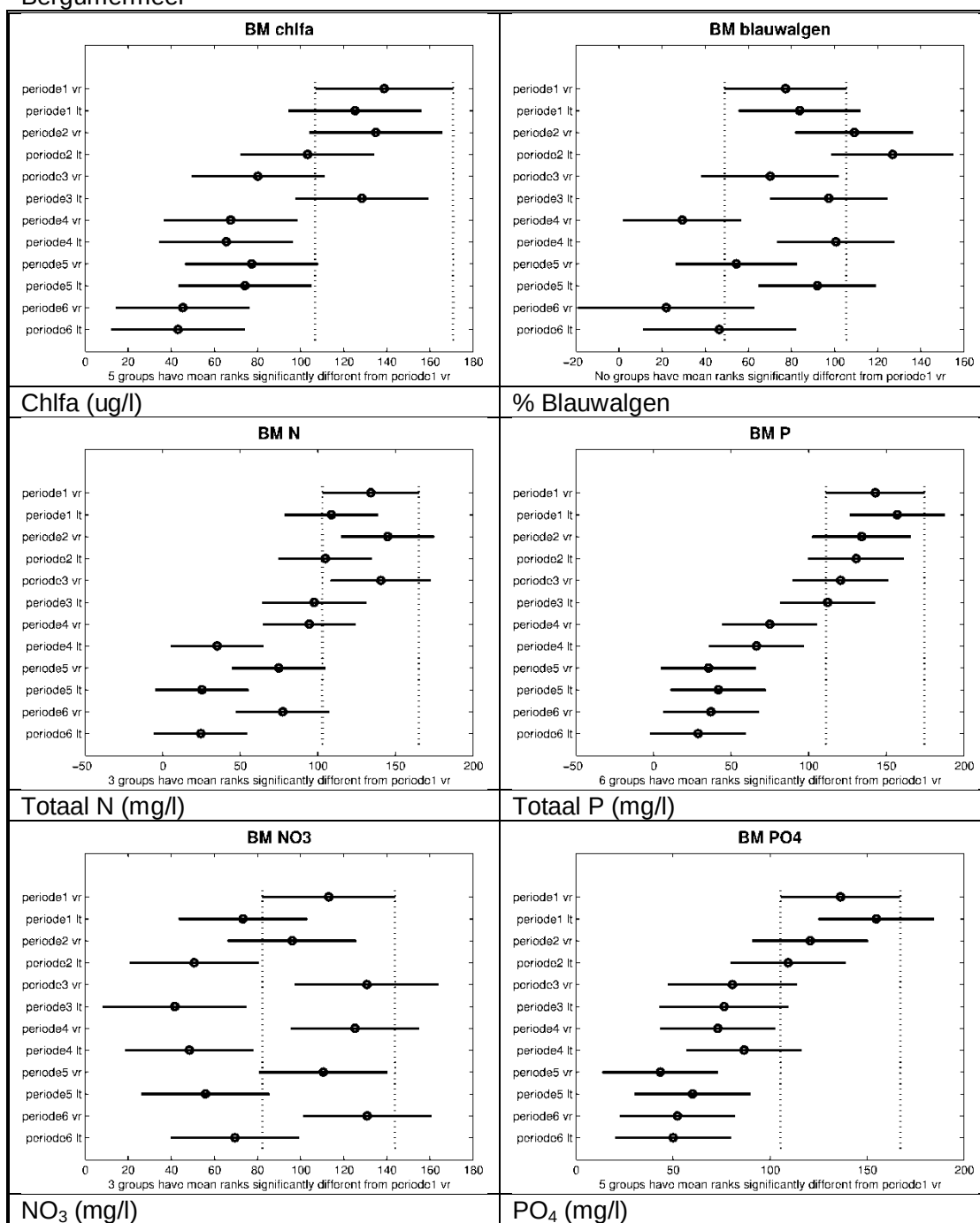


ZANDMEER

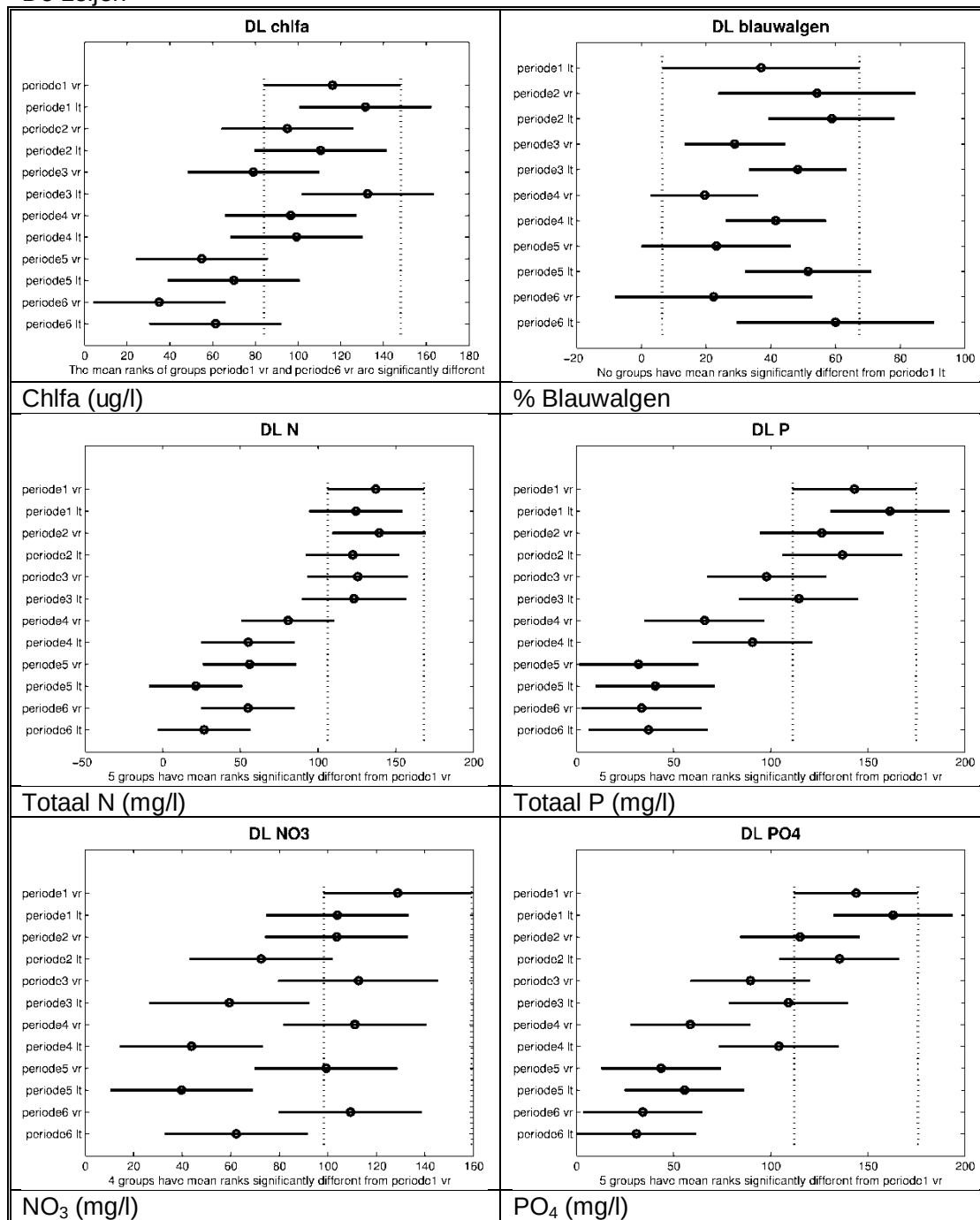


B Multivergelijking op seizoensbasis

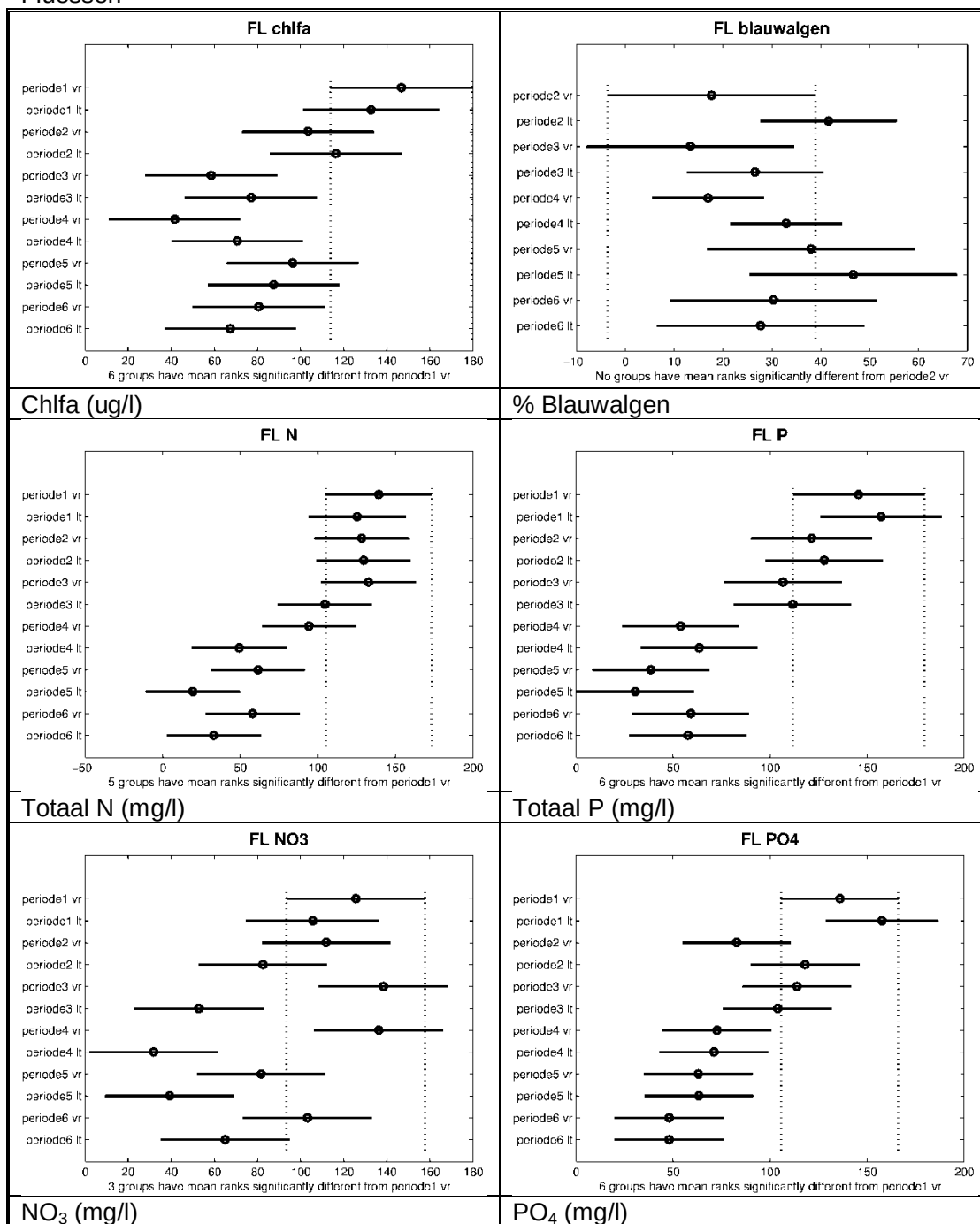
Bergumermeer



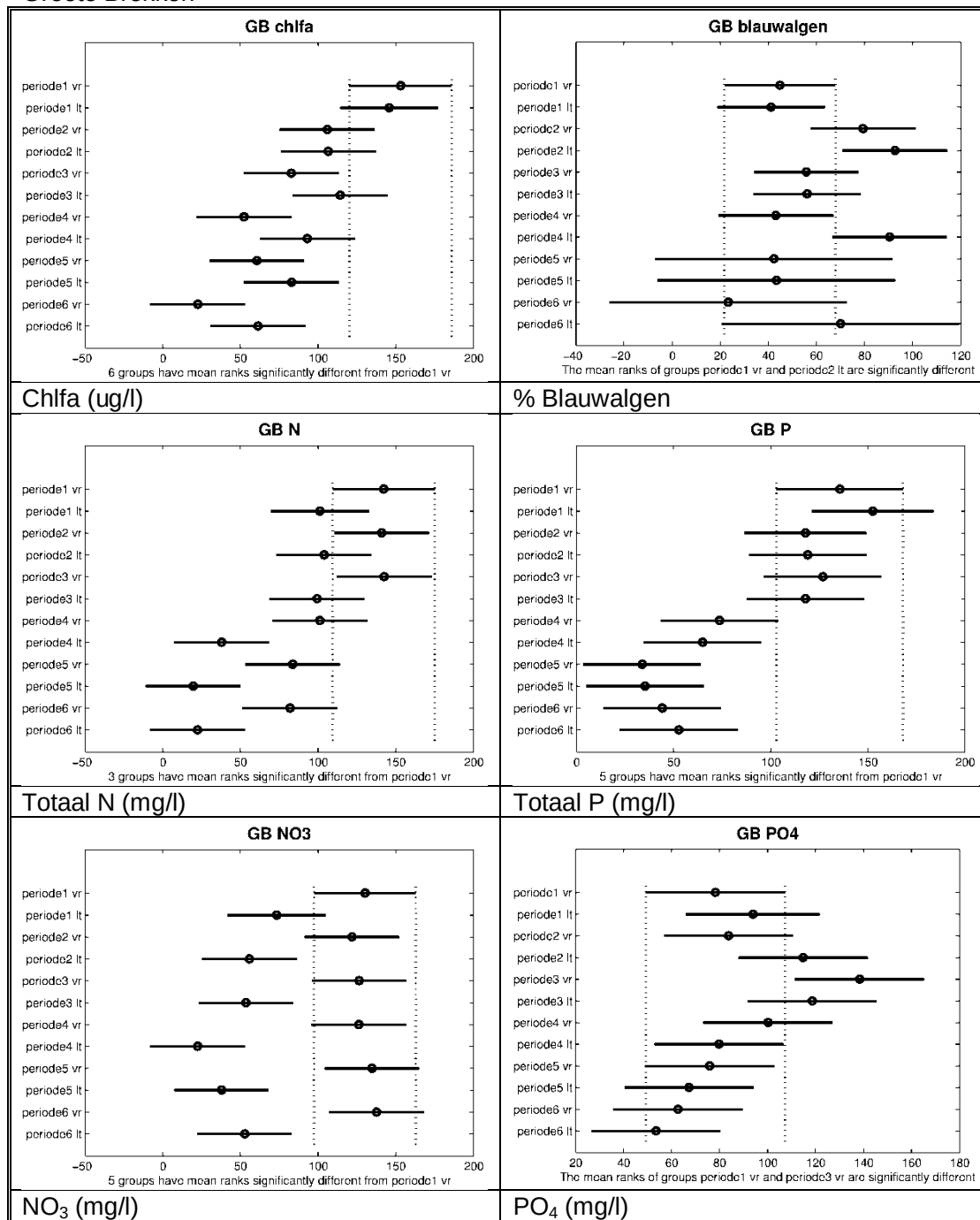
De Leijen



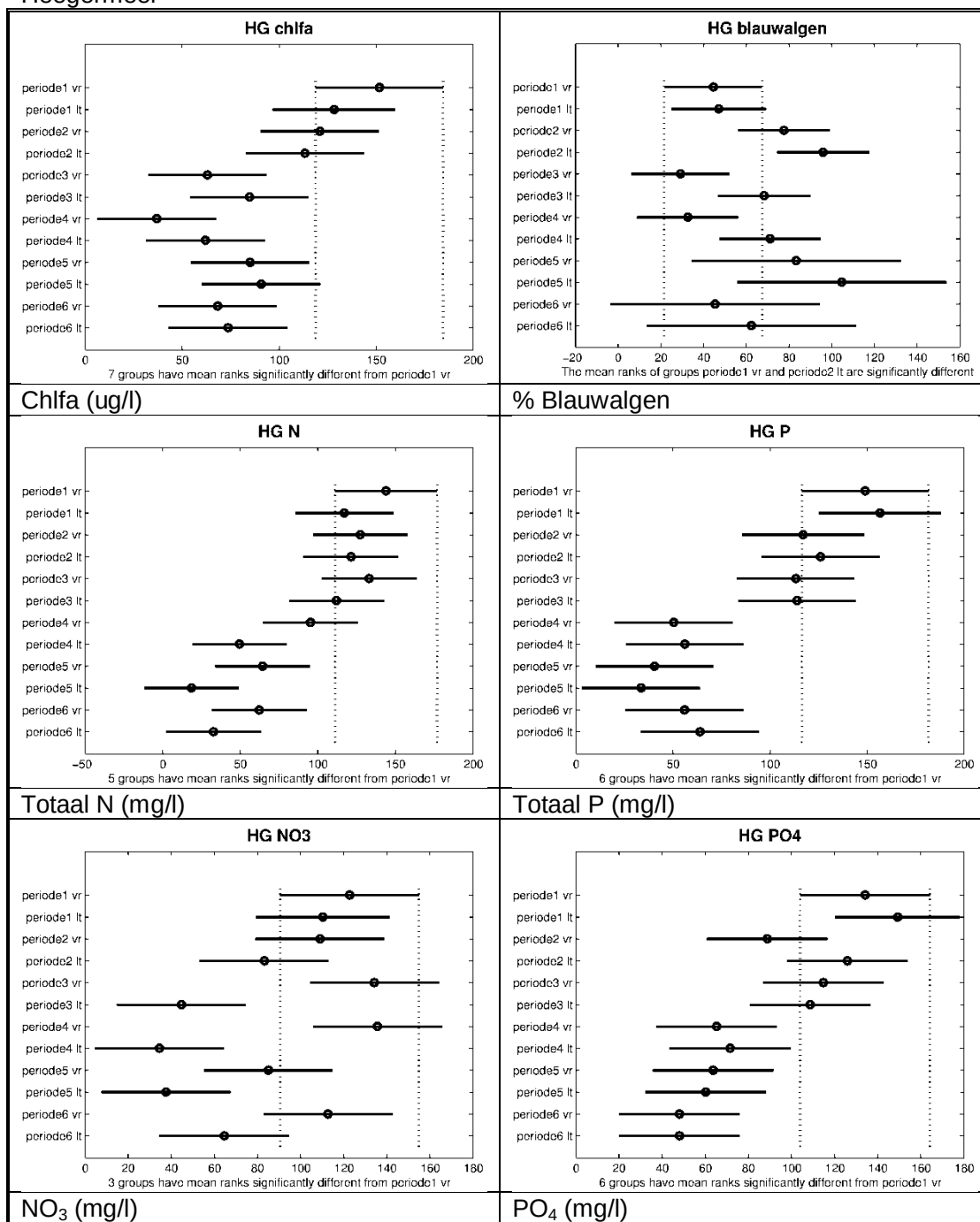
Fluessen



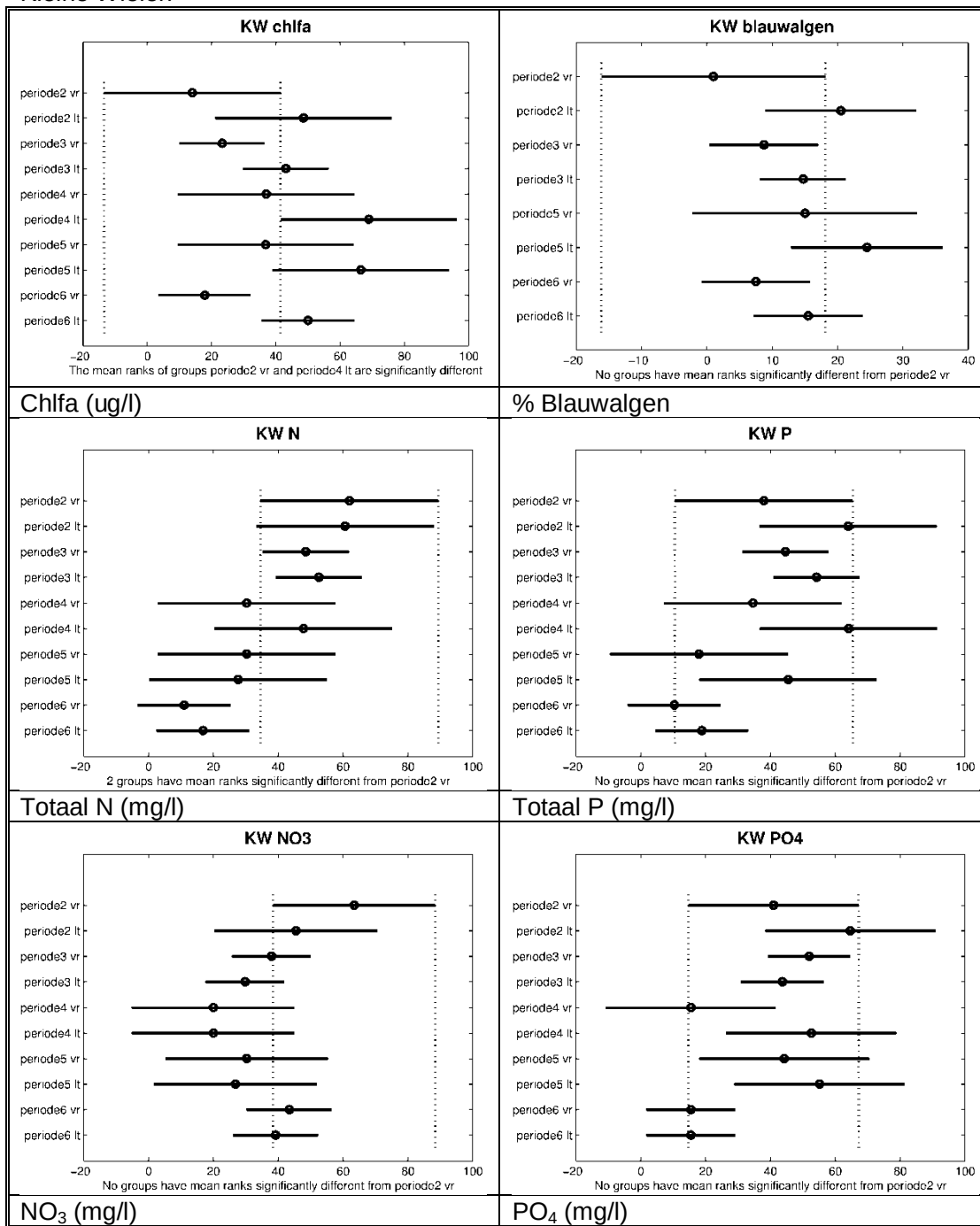
Groote Brekken



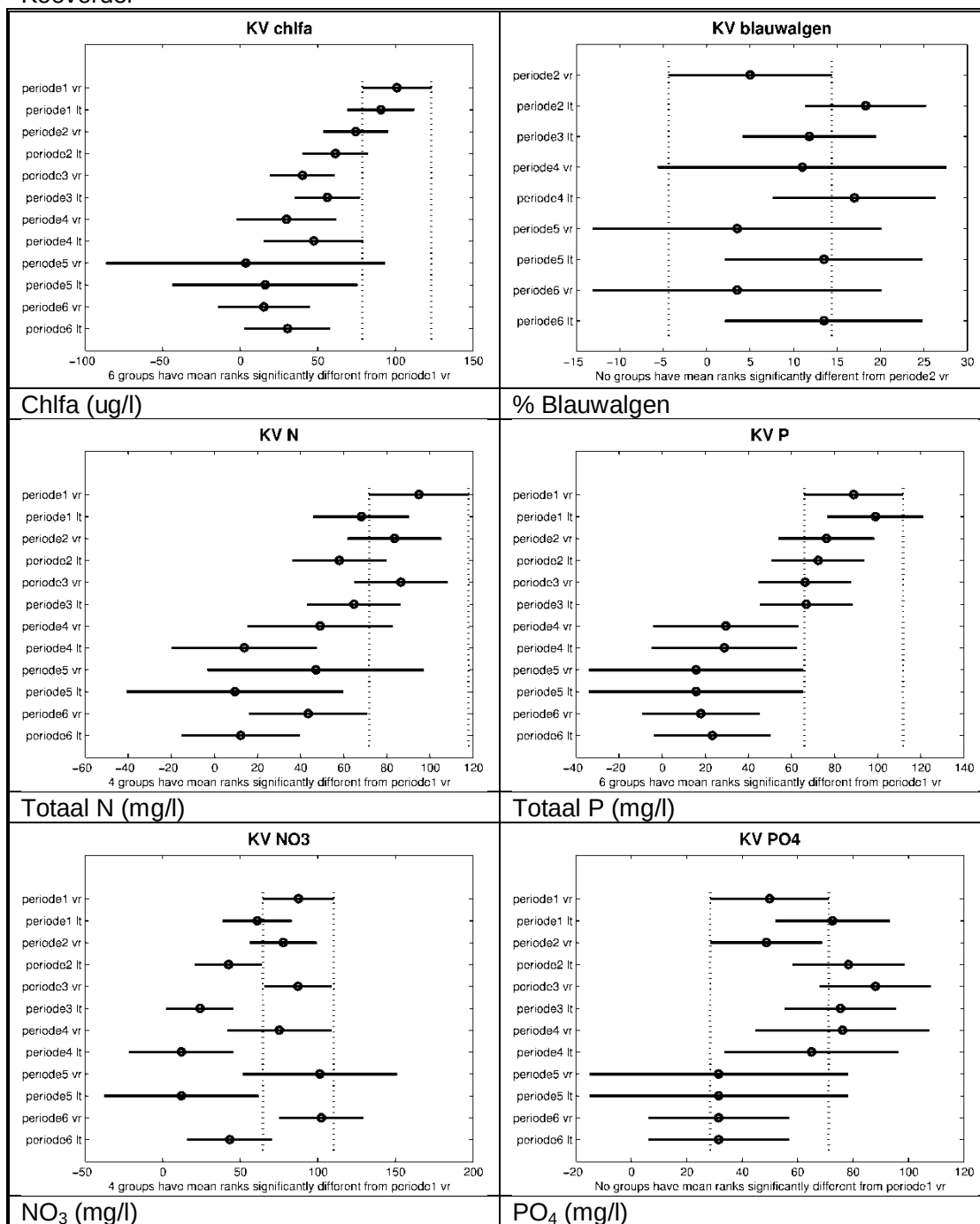
Heegermeer



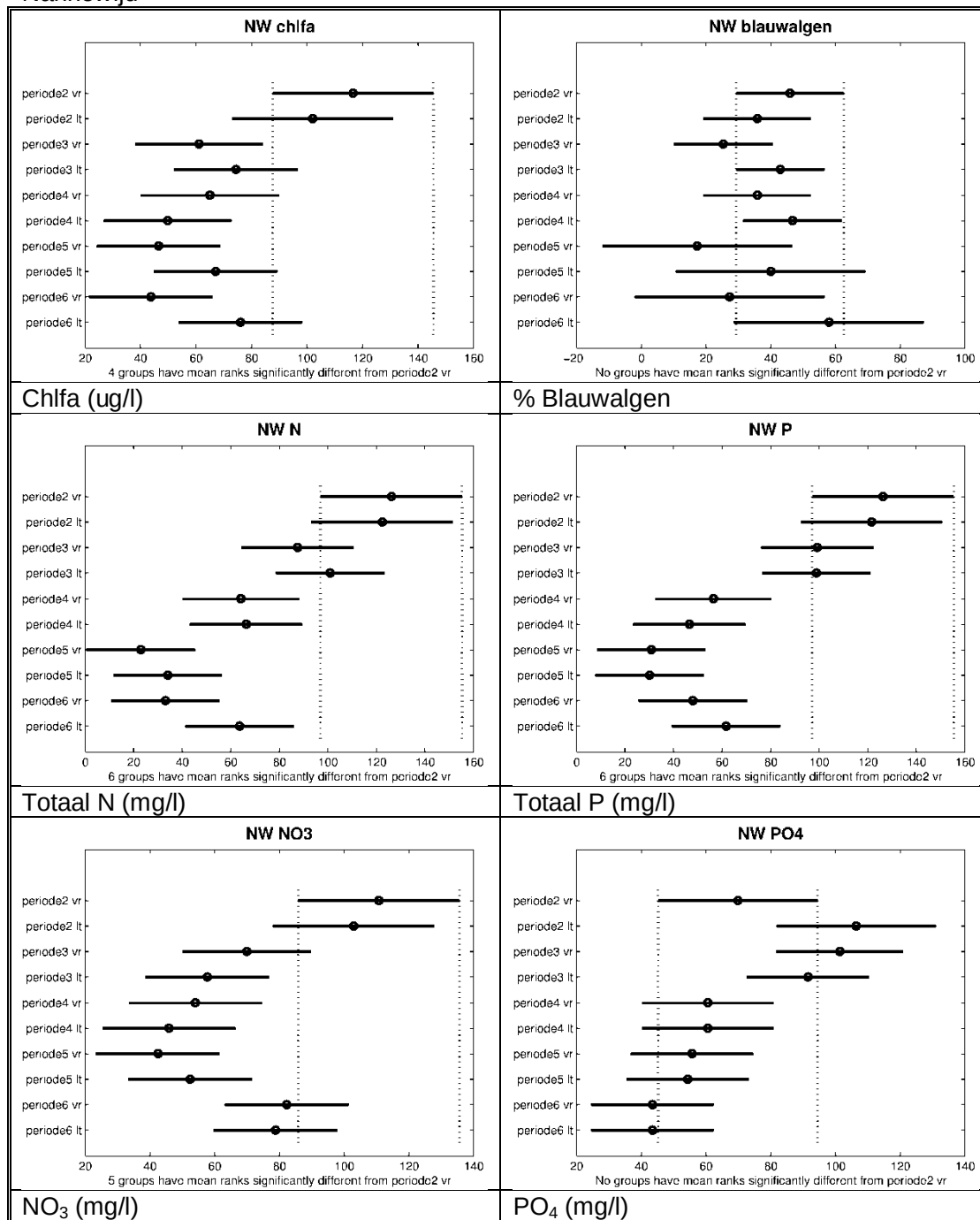
Kleine Wielen



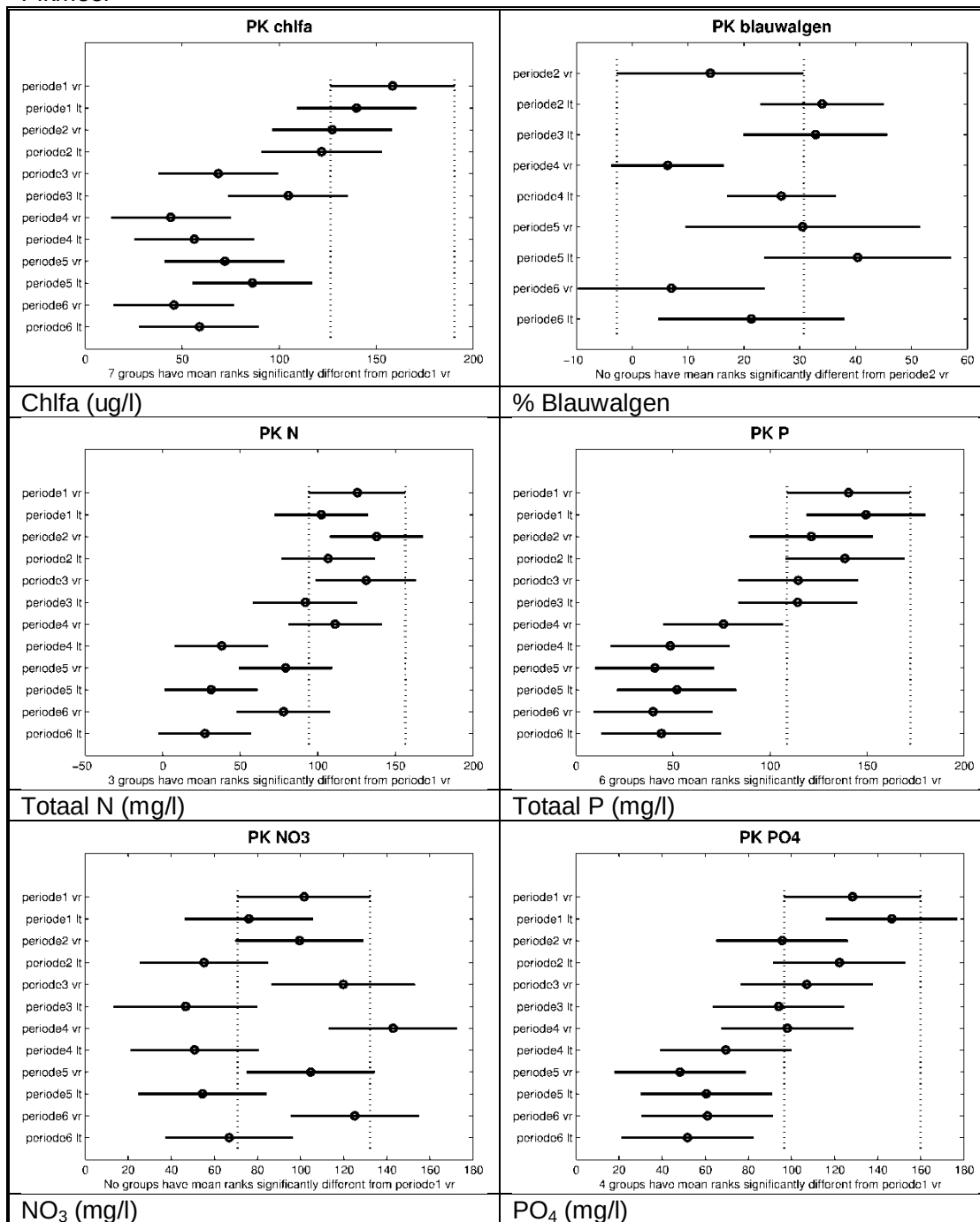
Koevorder



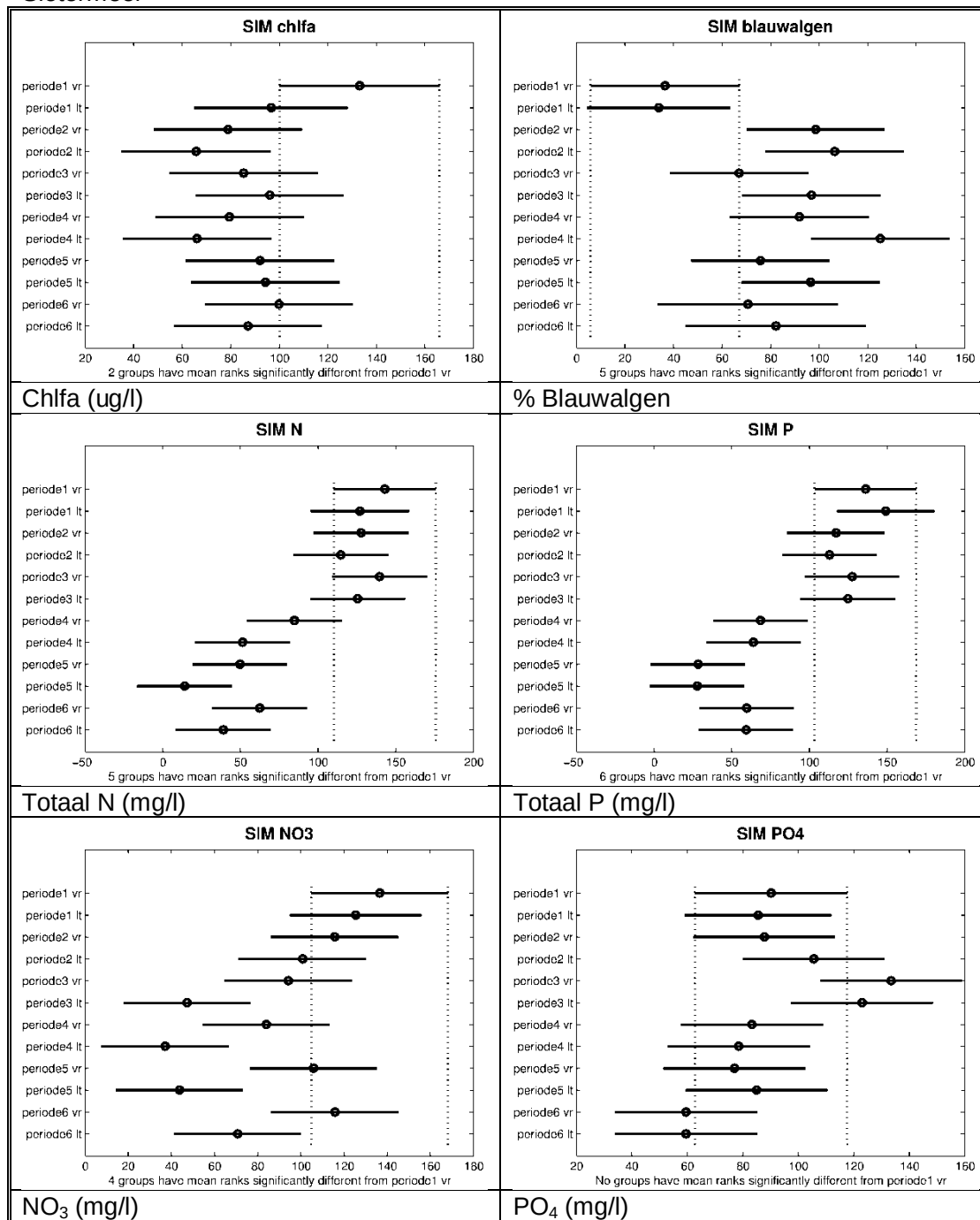
Nannewijd



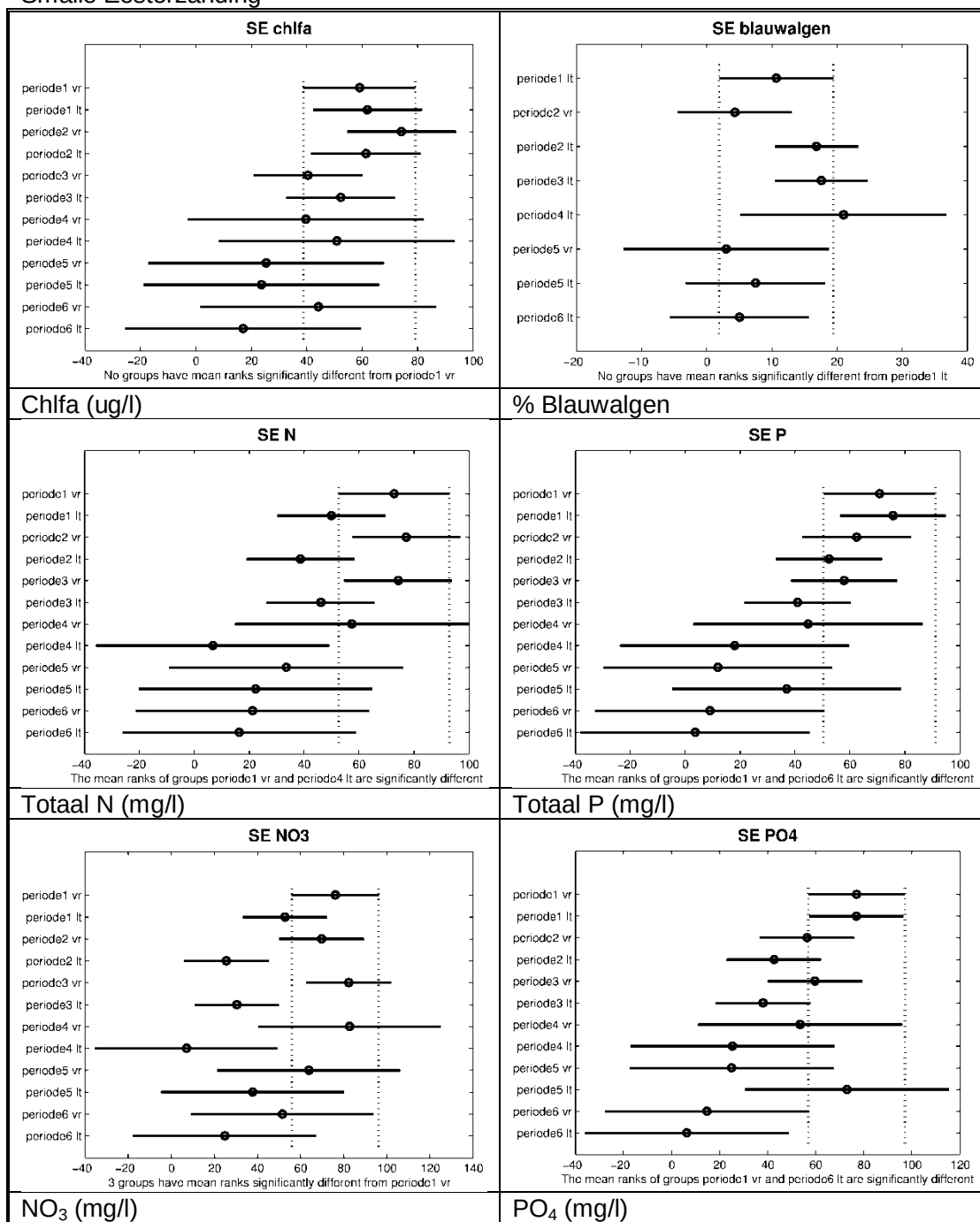
Pikmeer



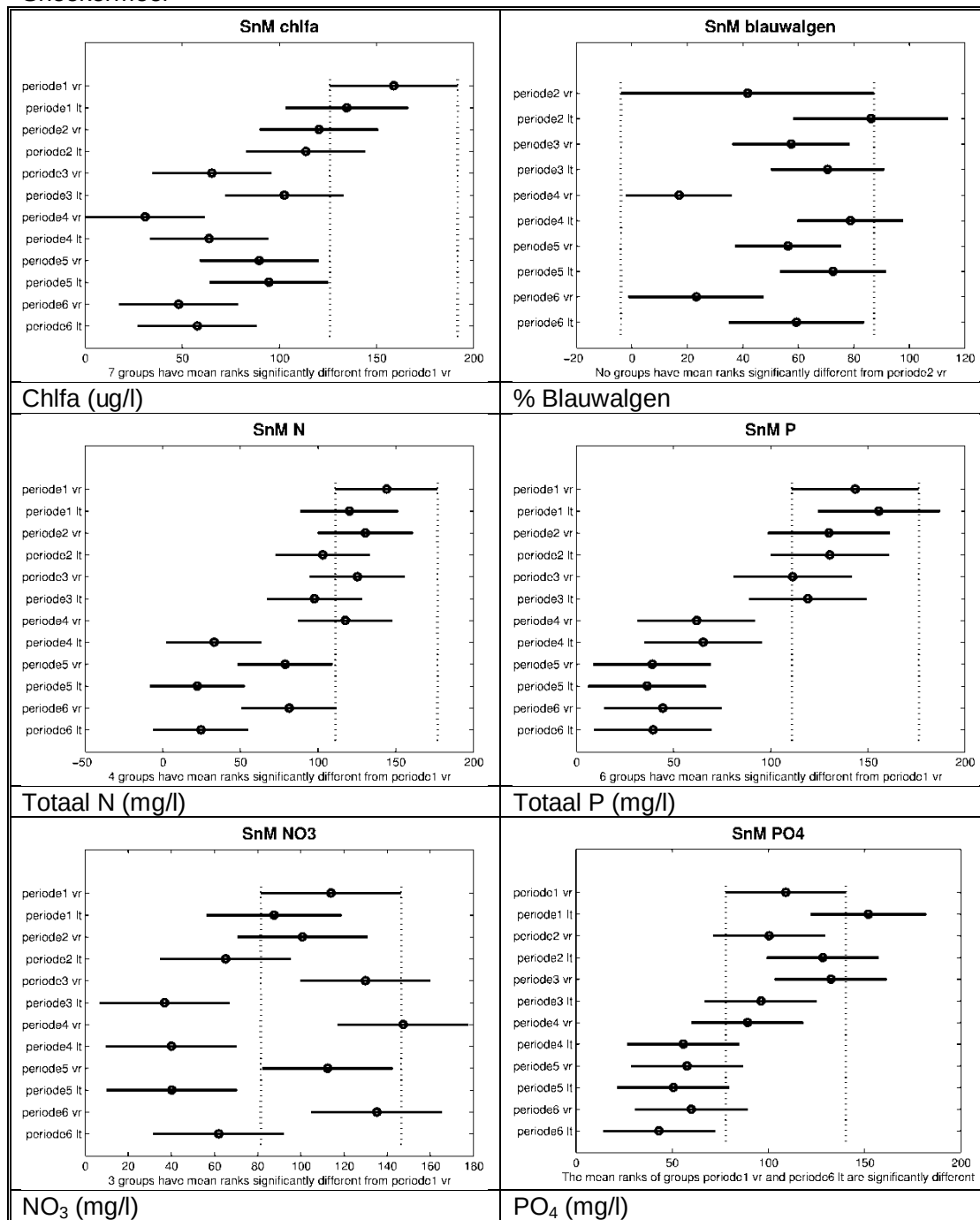
Slotermeer



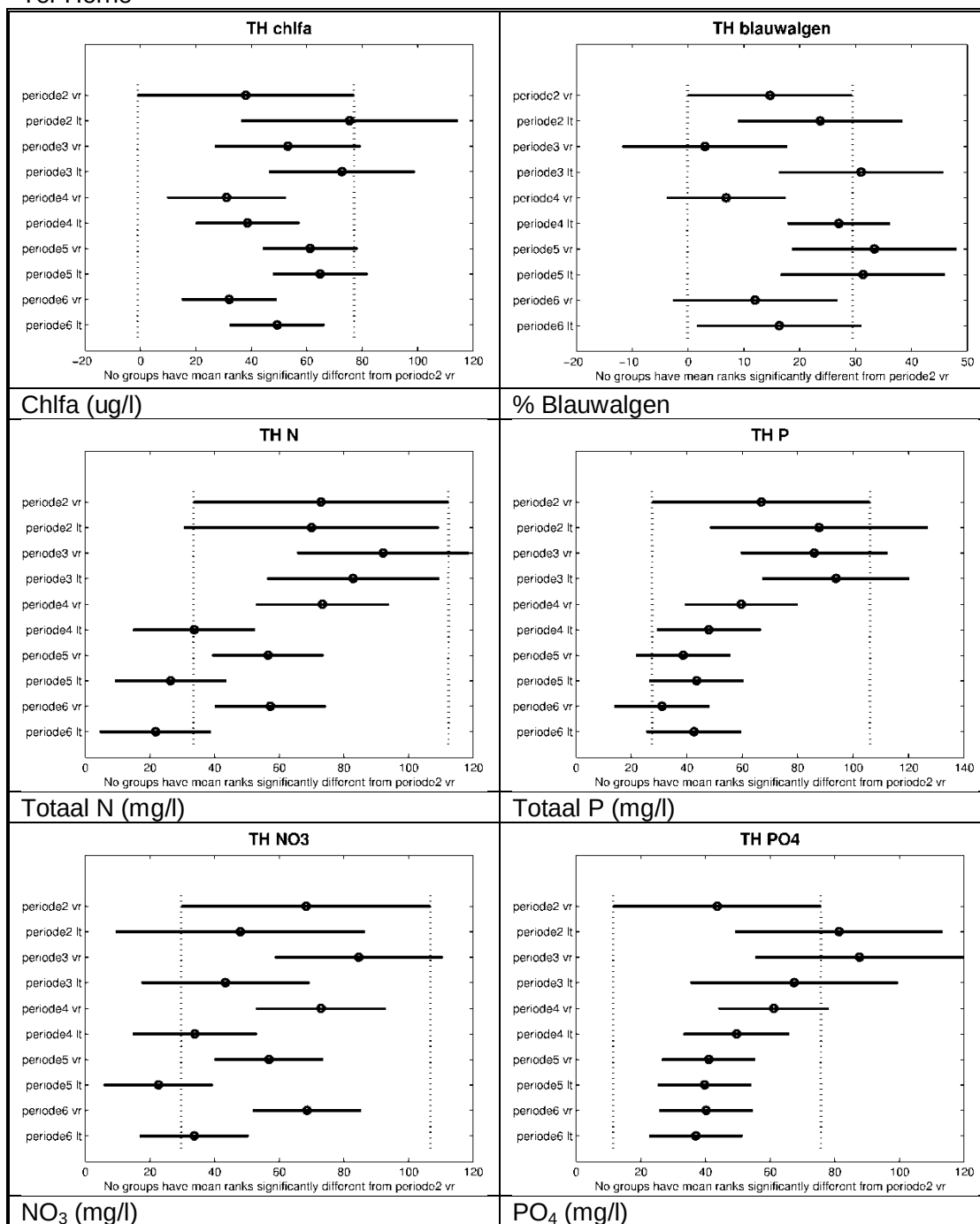
Smalle Eesterzanding



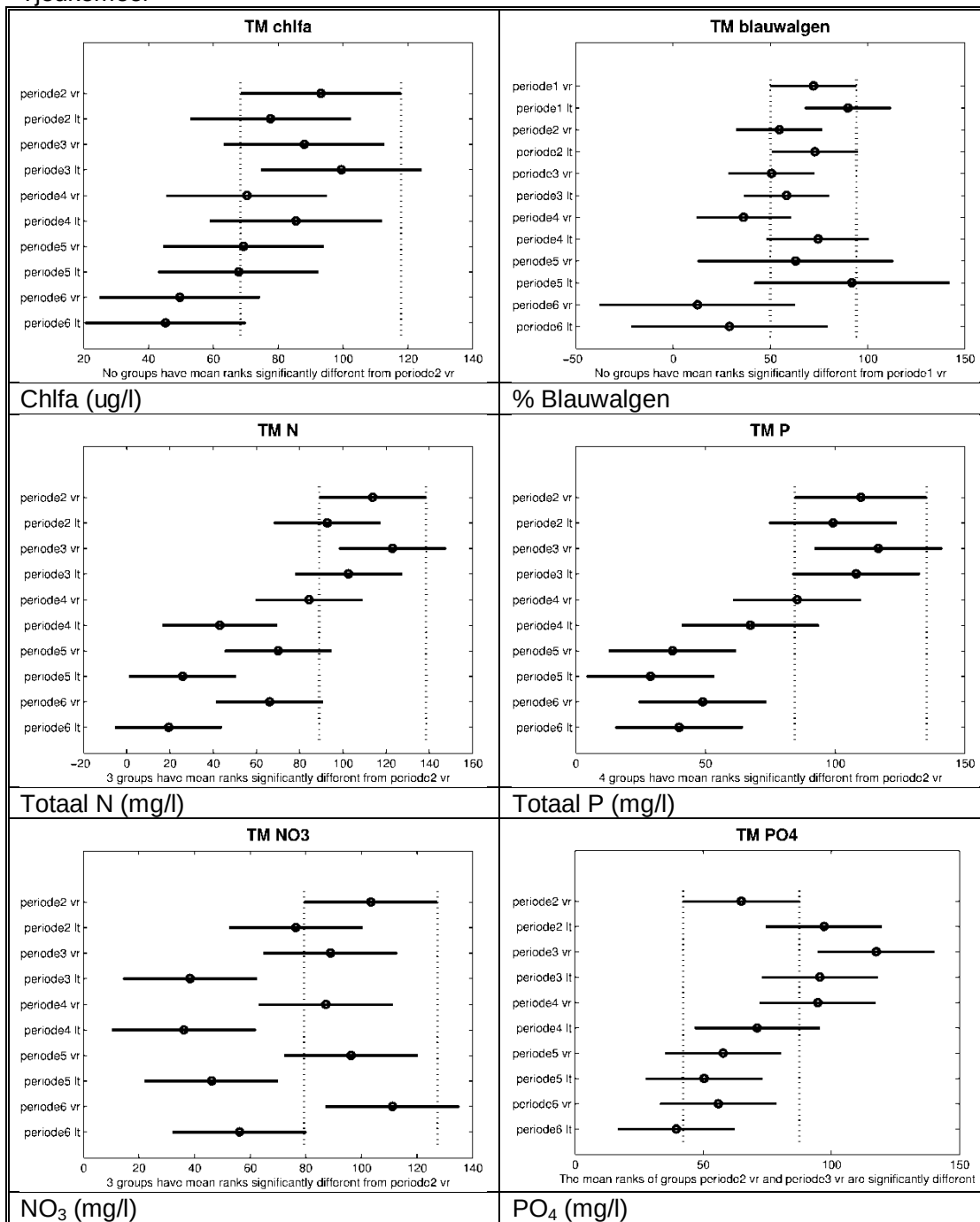
Sneekerveer



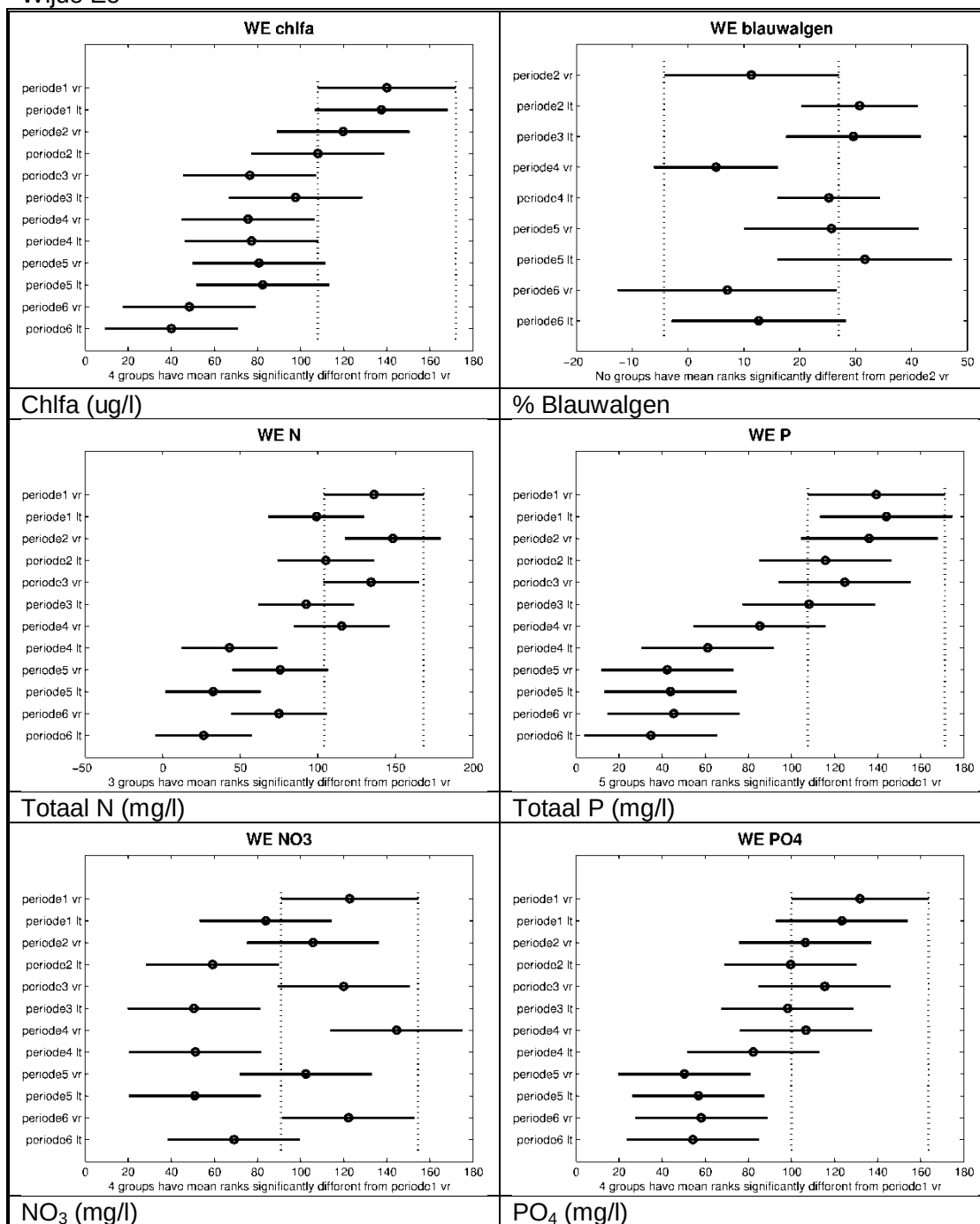
Ter Horne



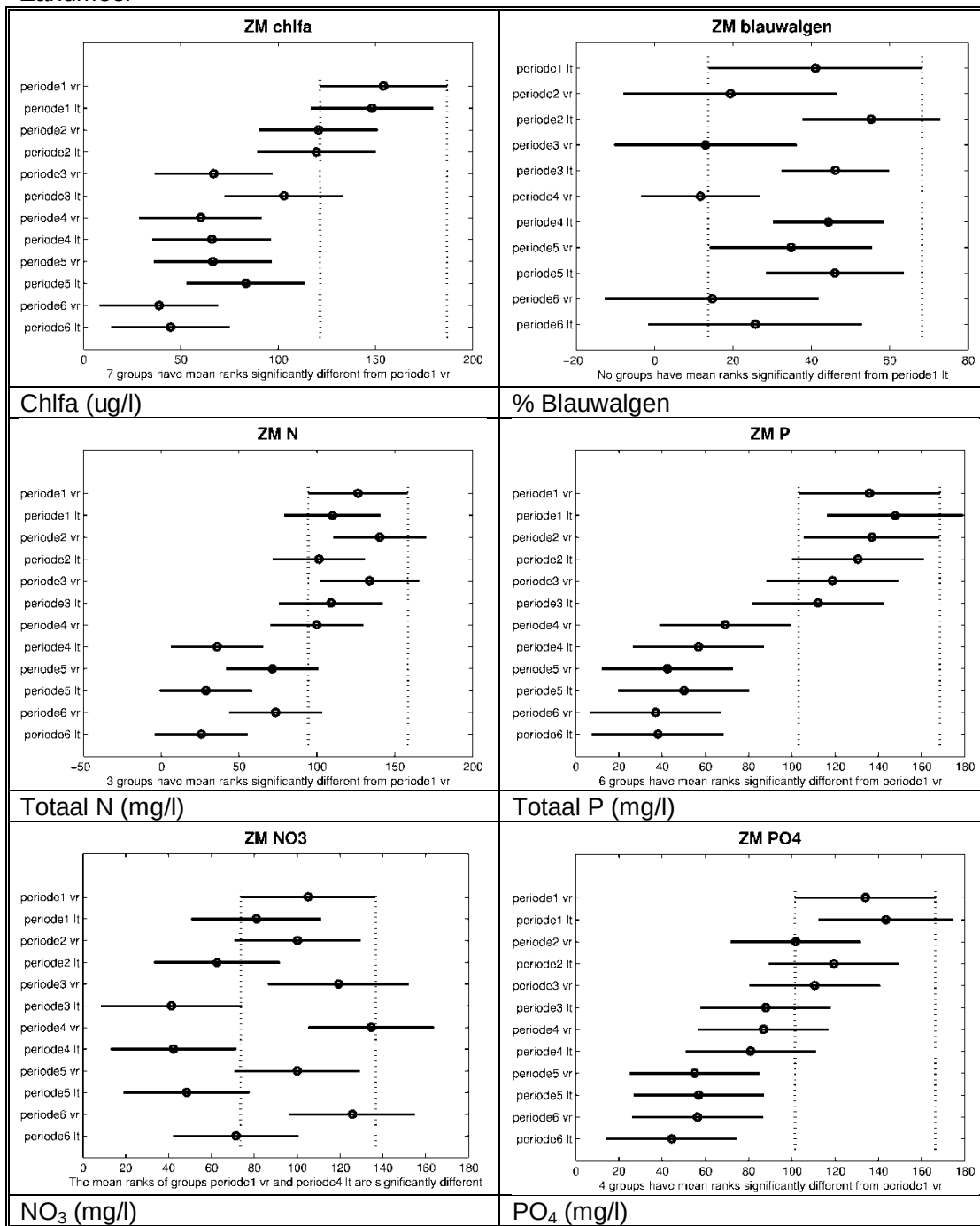
Tjeukemeer



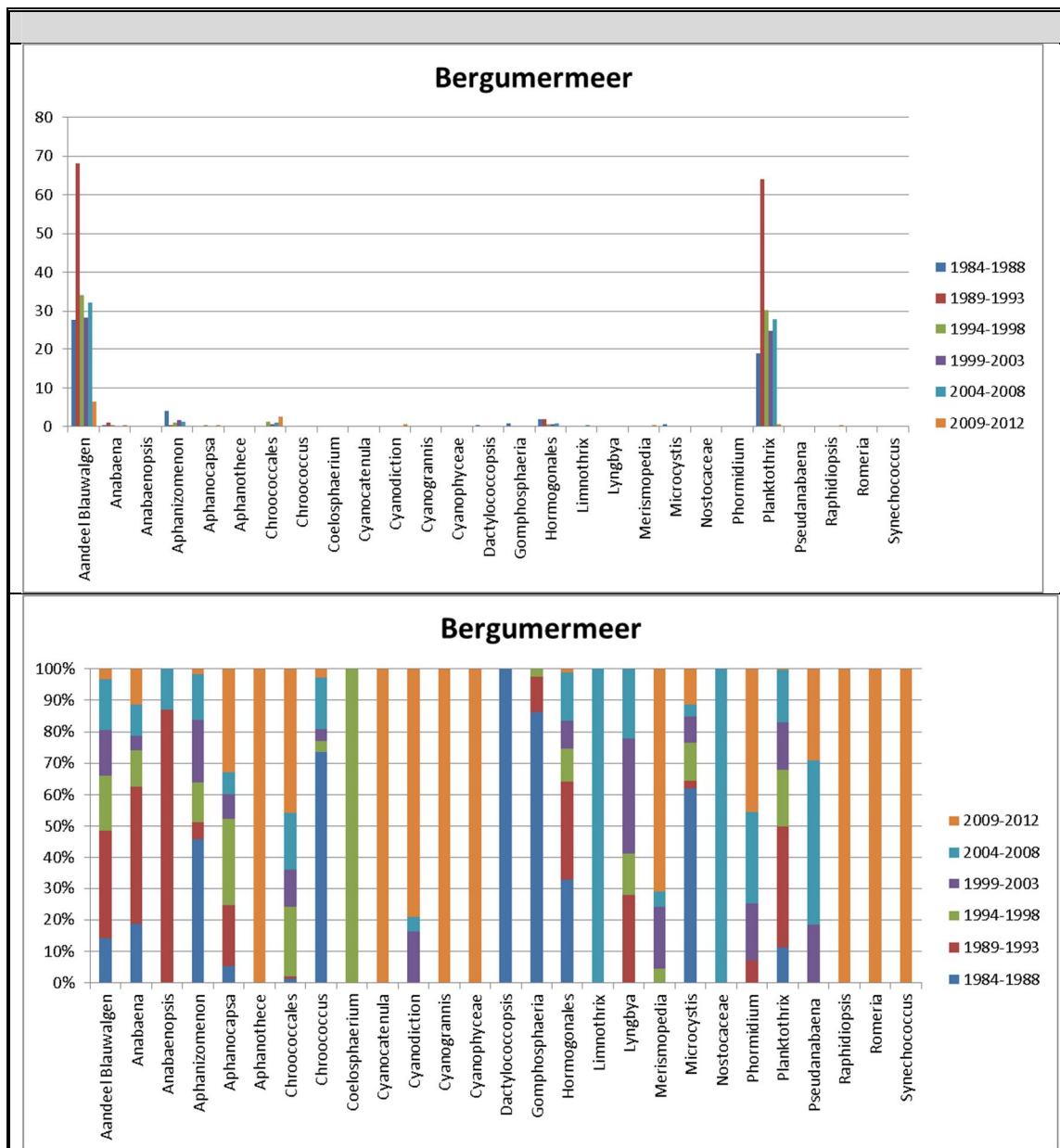
Wijde Ee

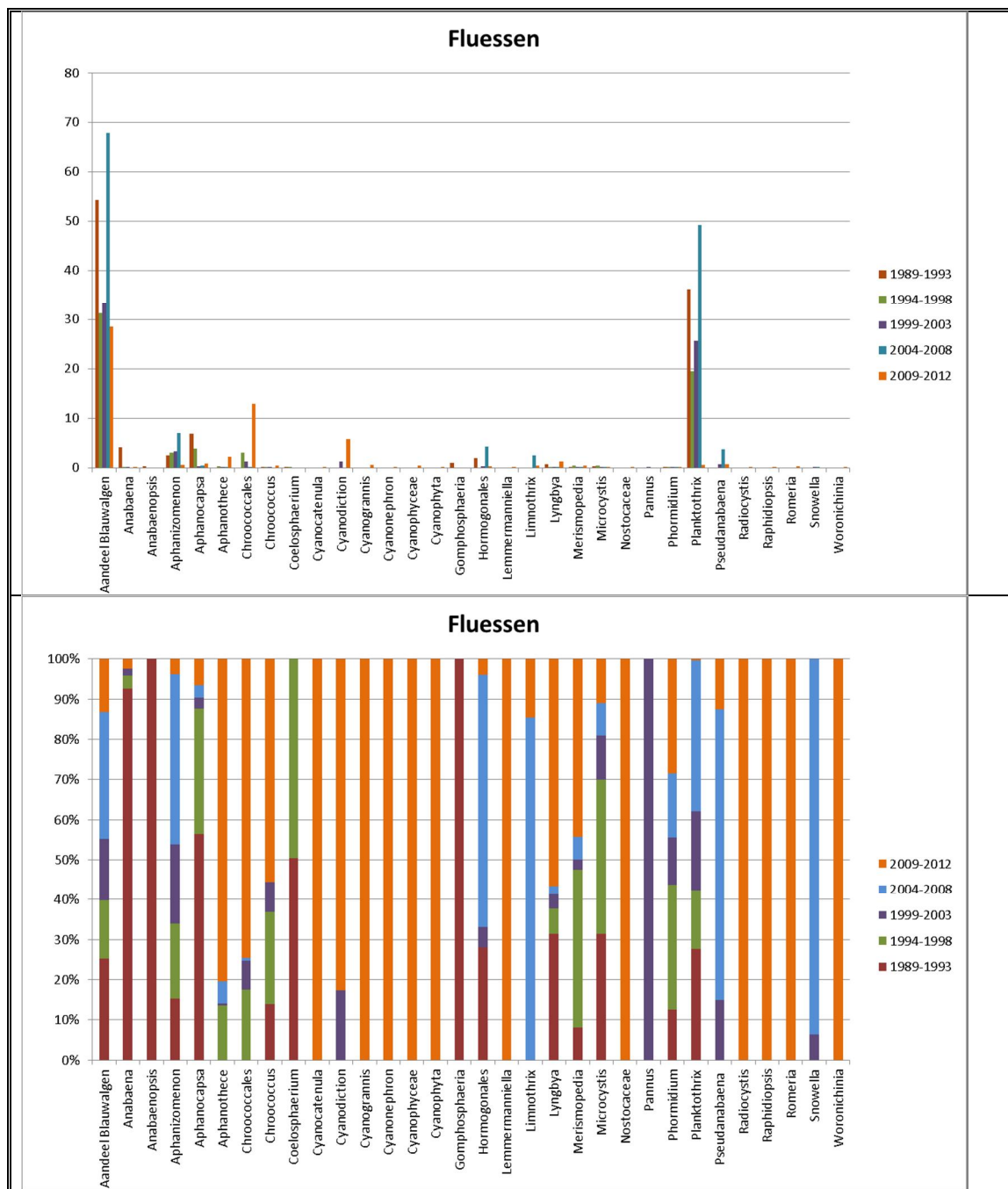
NO₃ (mg/l)PO₄ (mg/l)

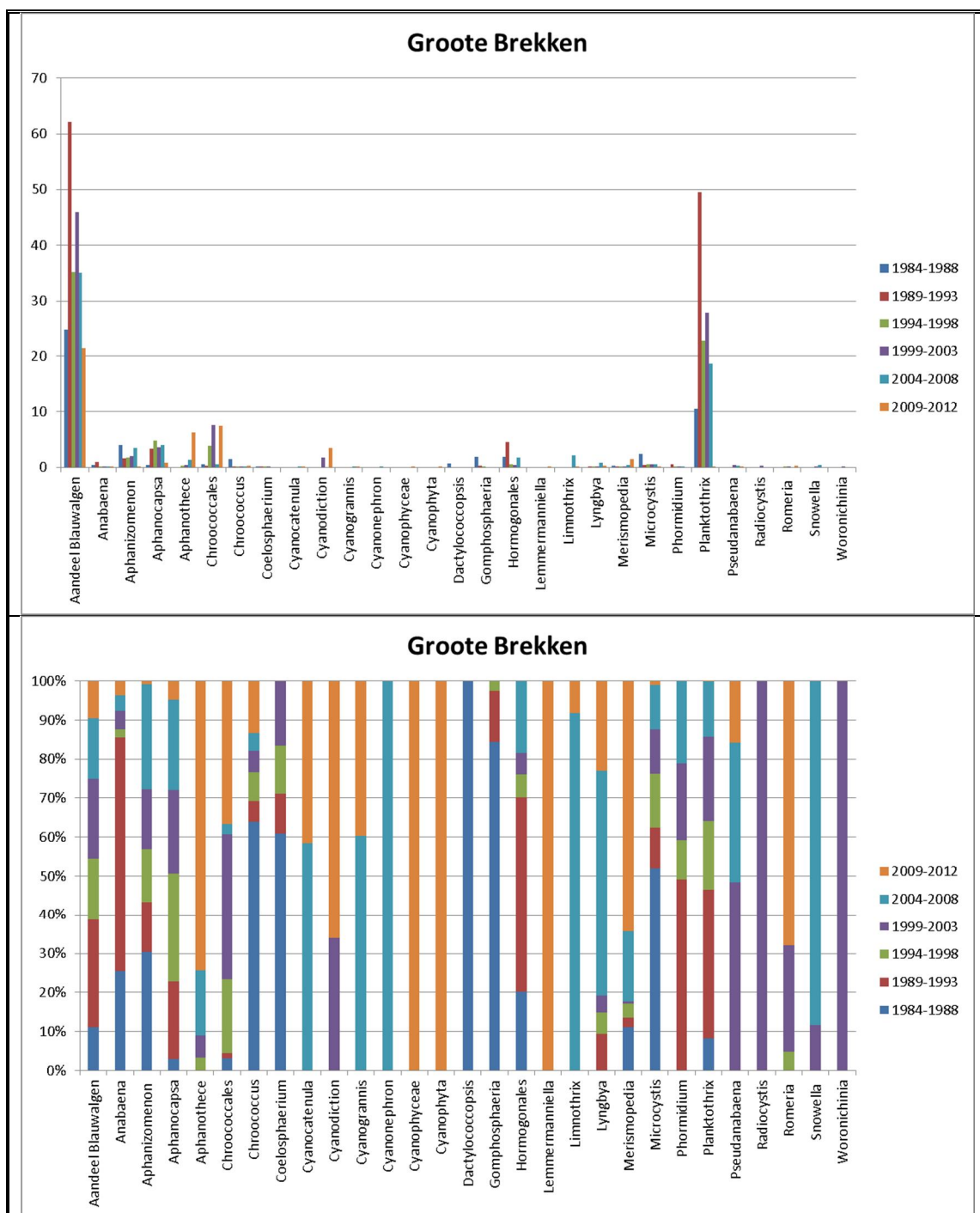
Zandmeer

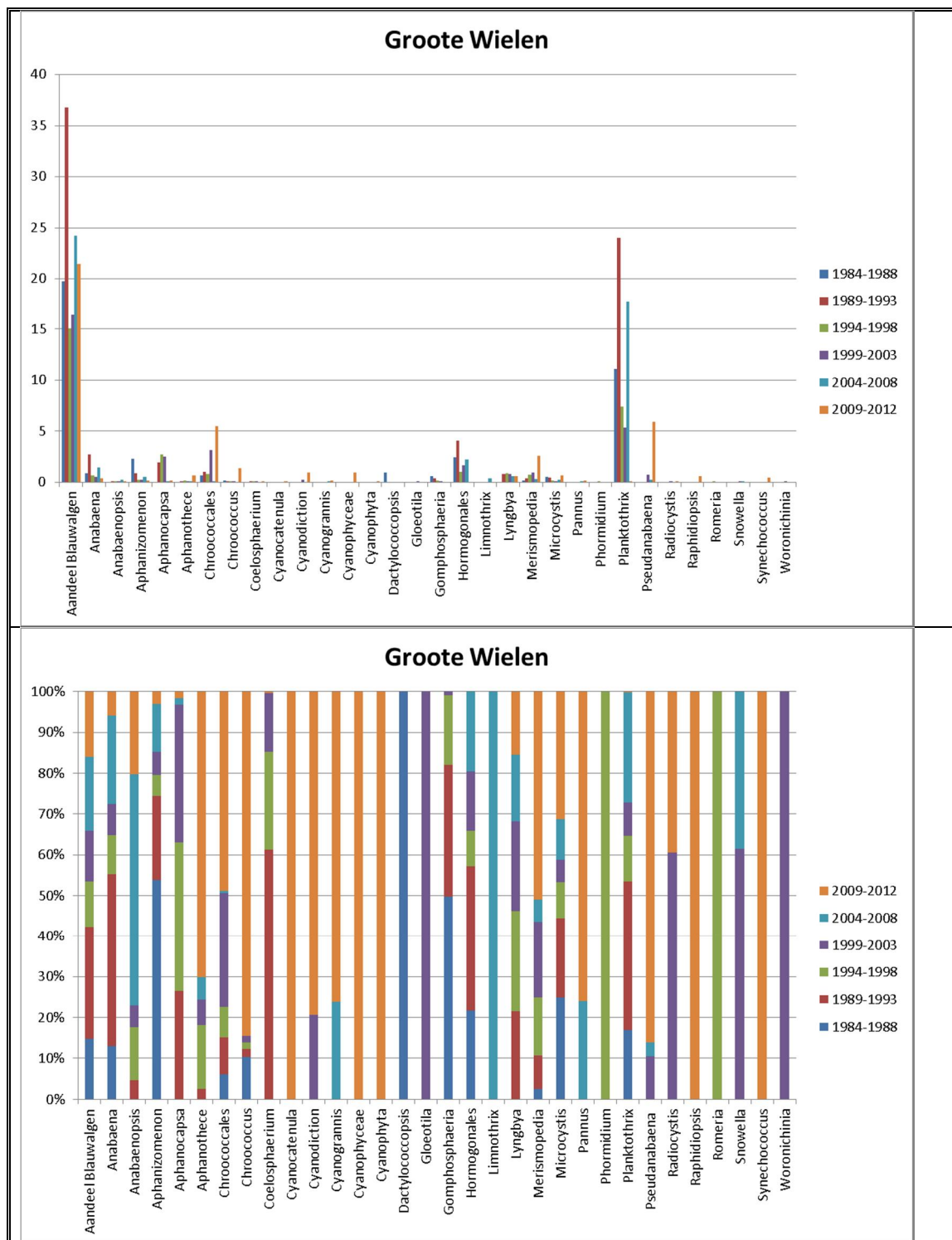


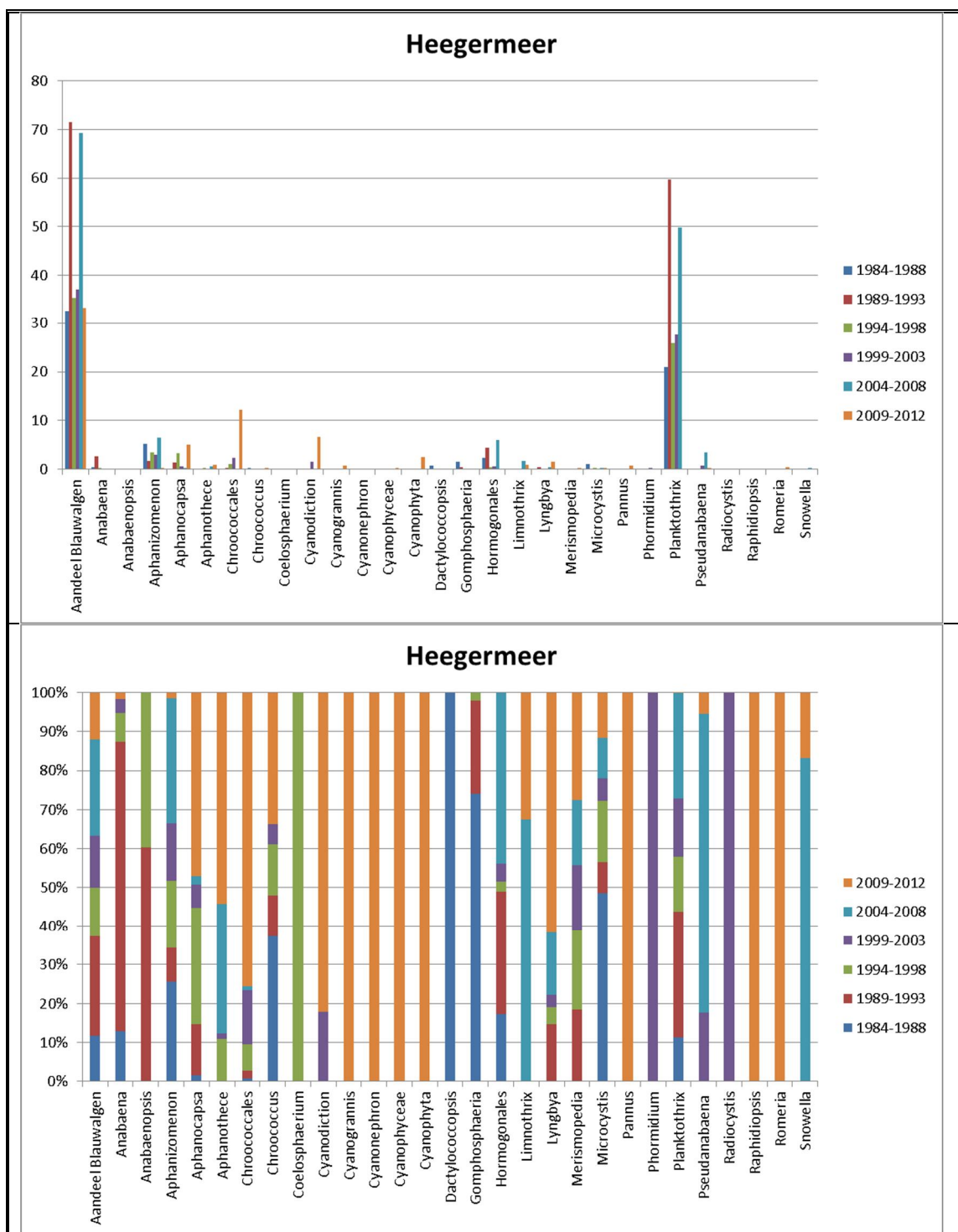
C Aandeel blauwalgen per meer

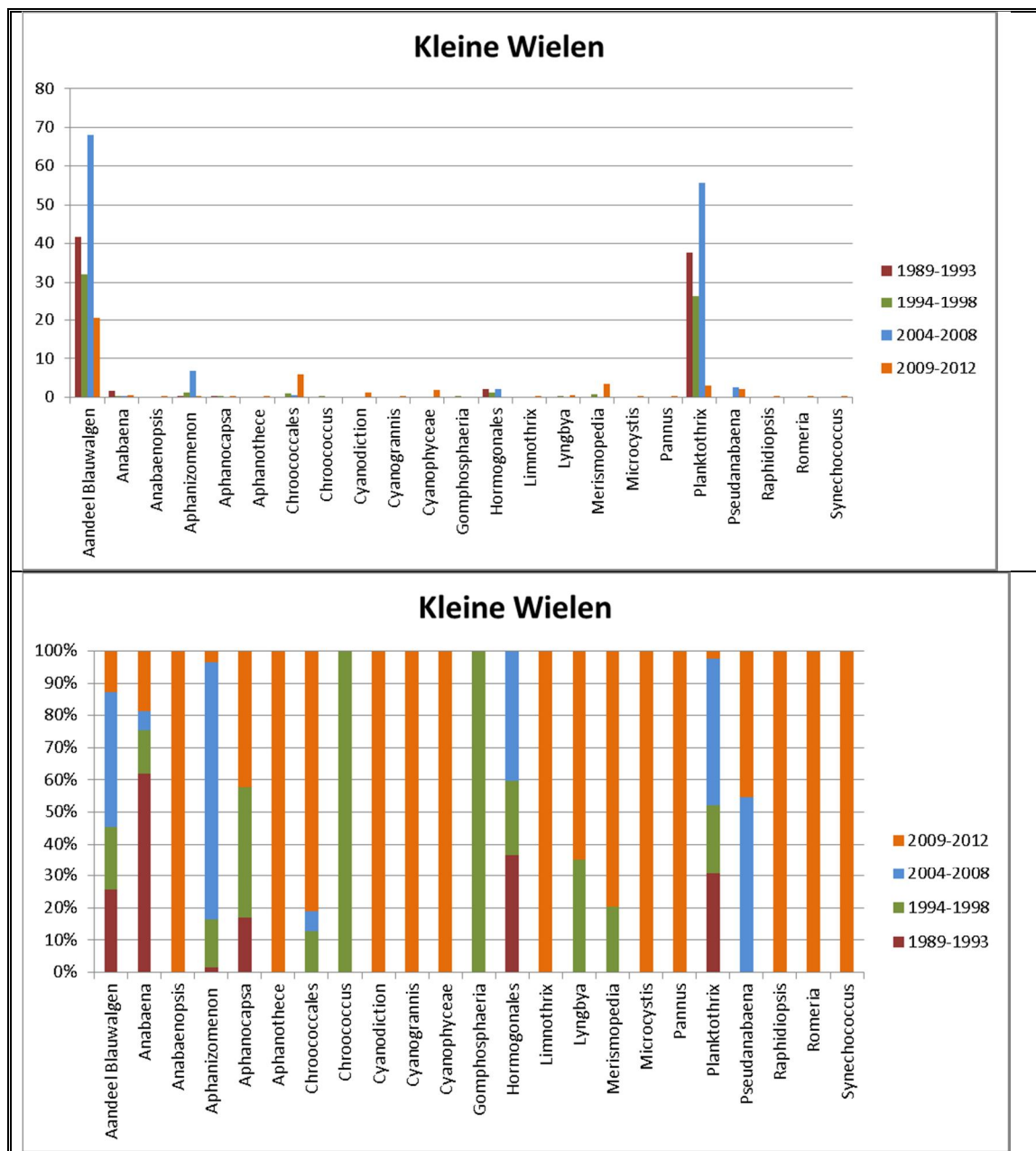


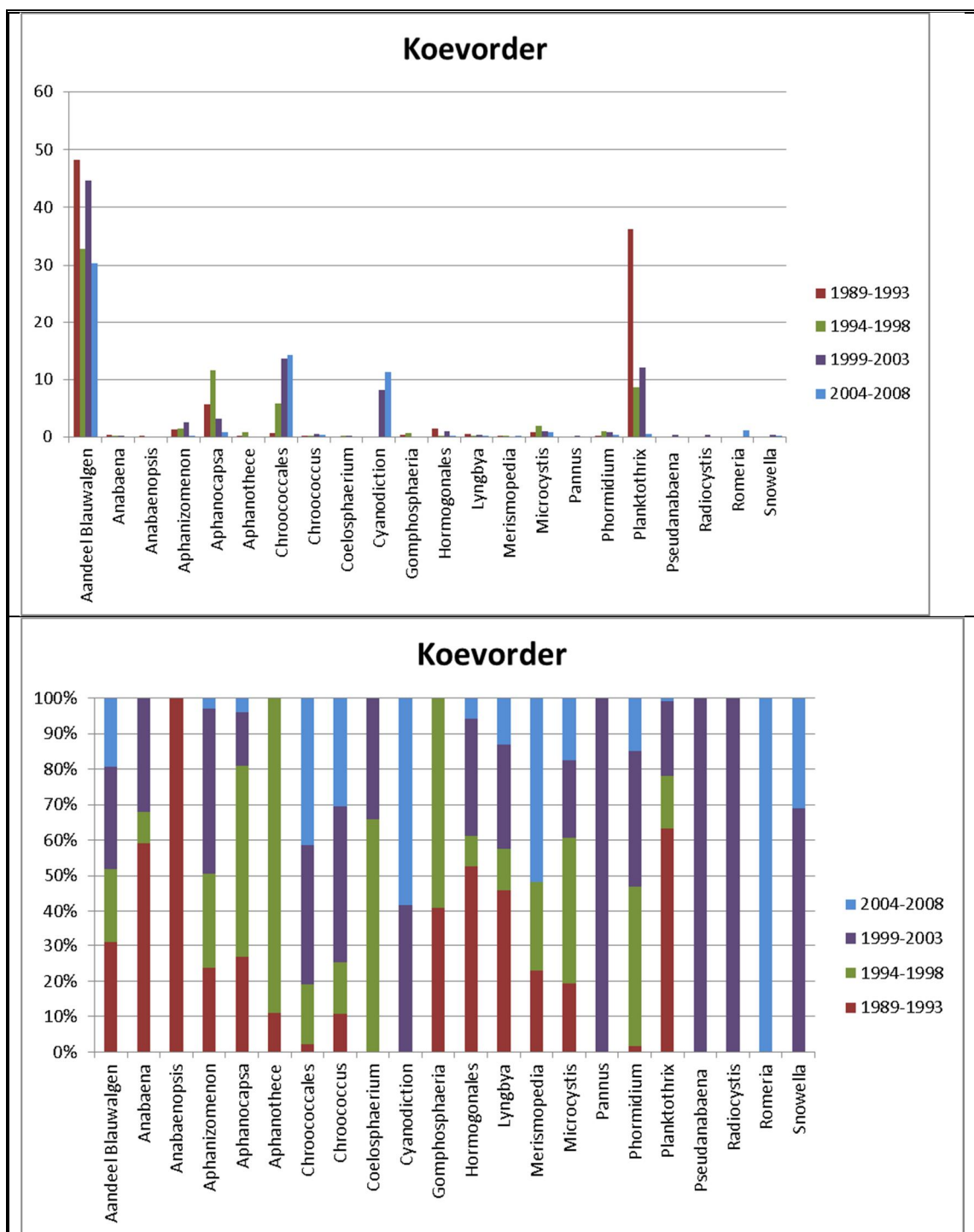


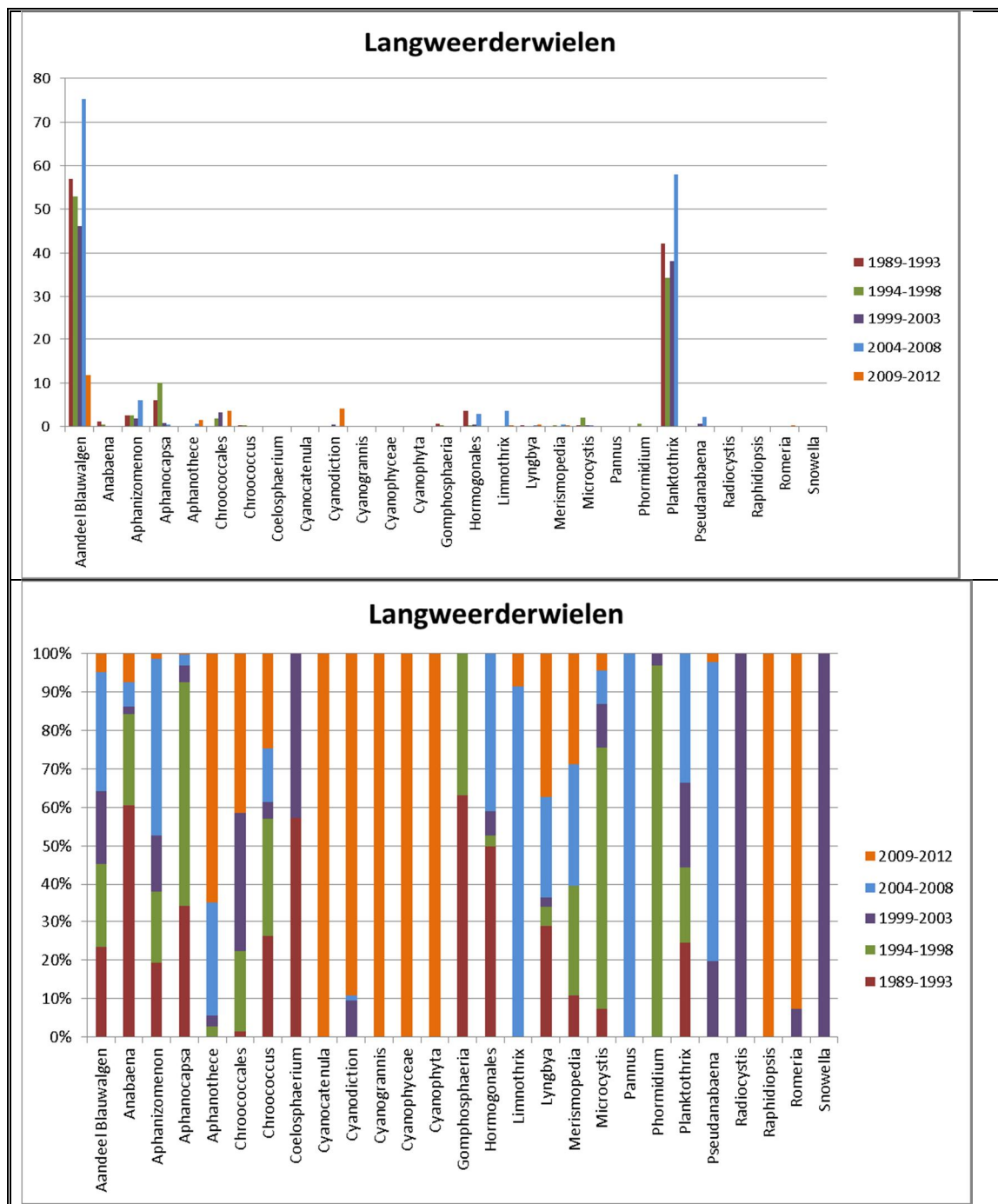


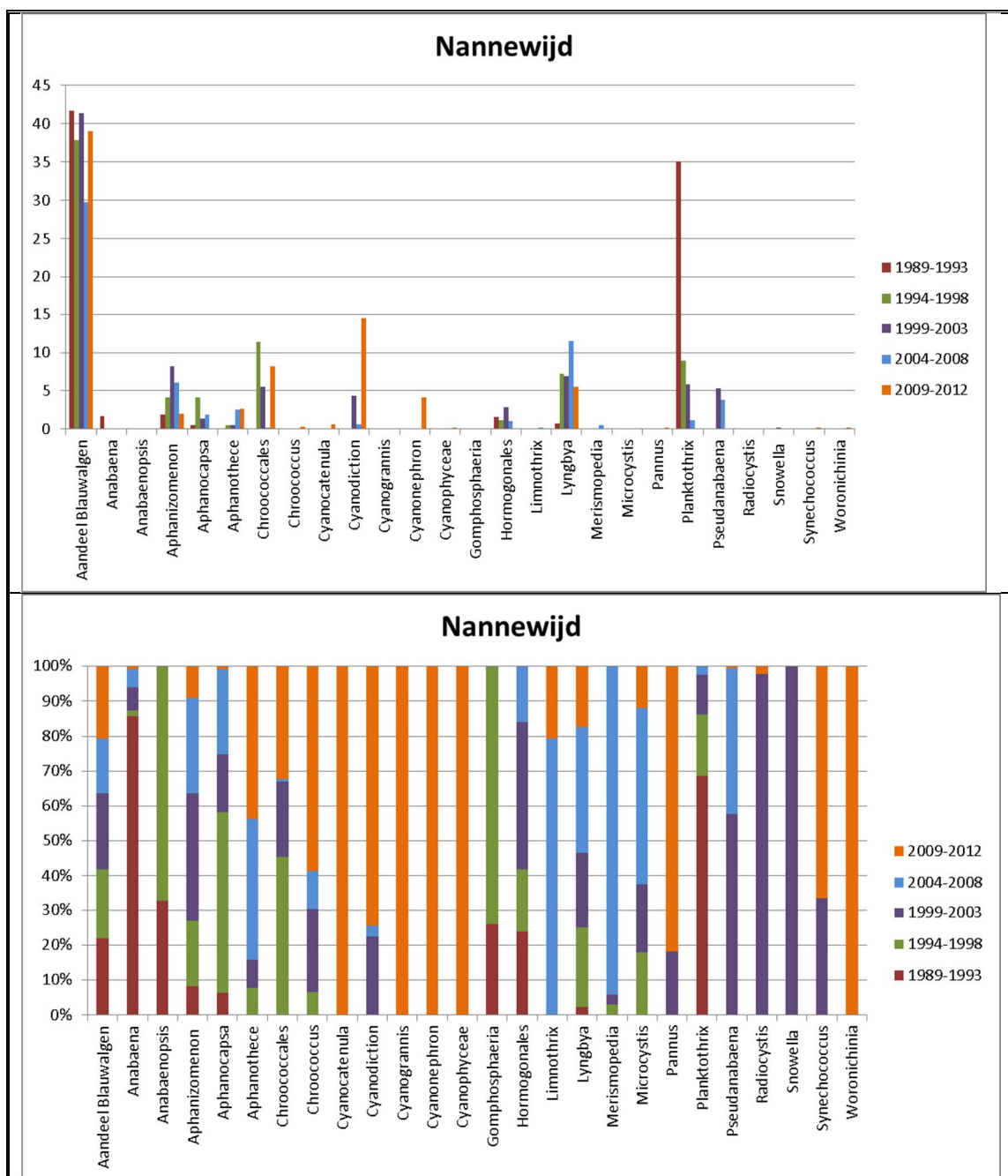


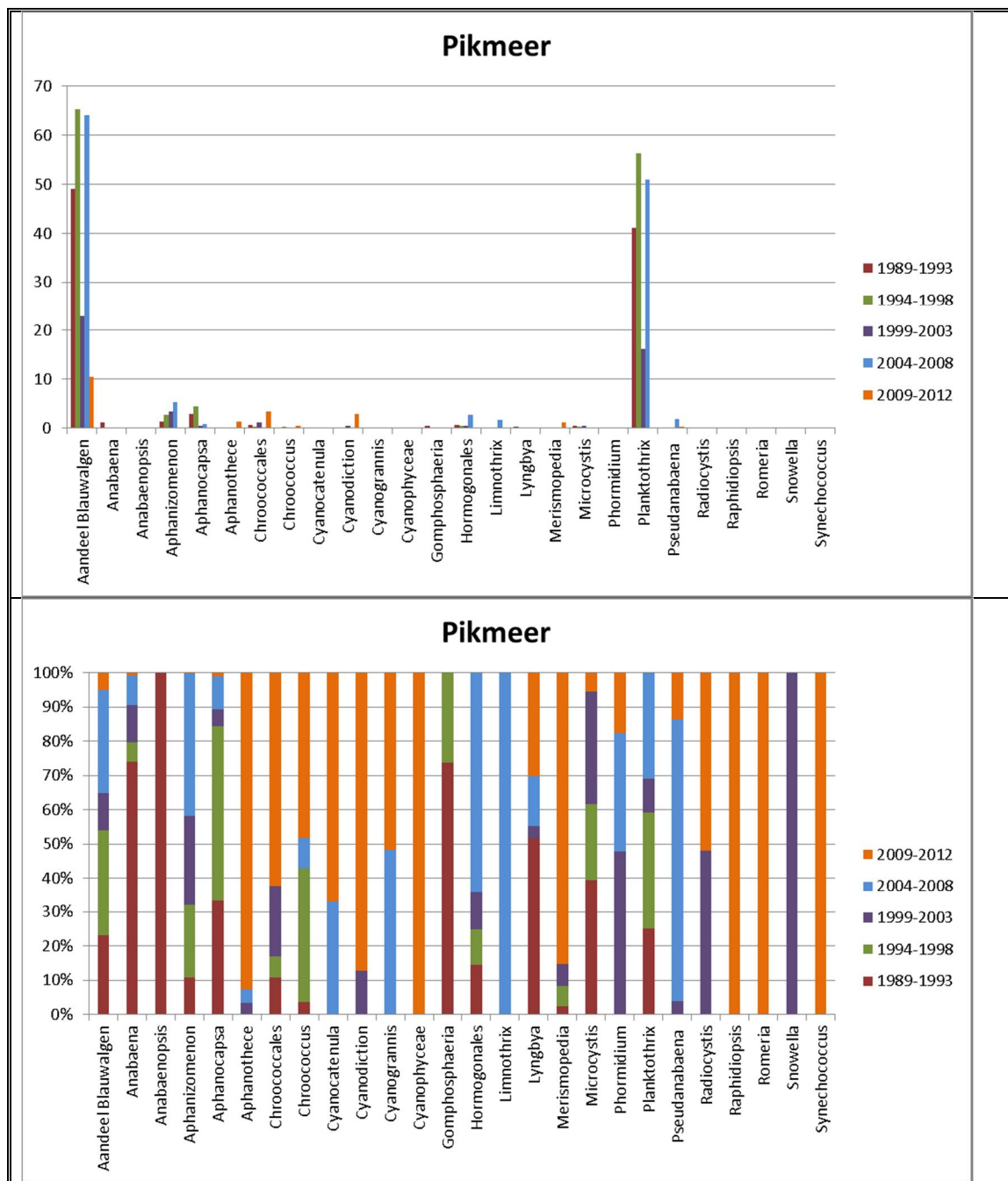


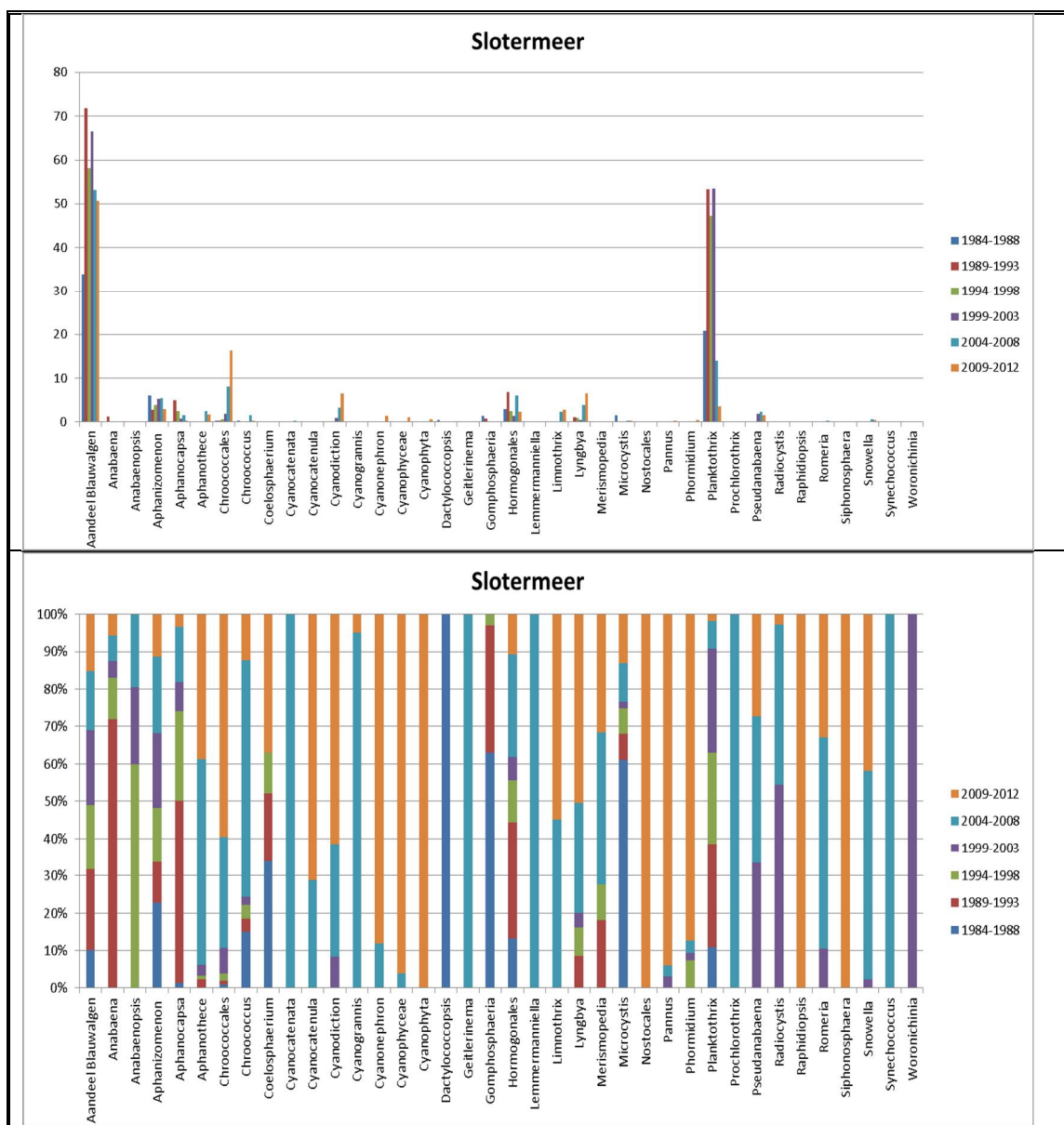


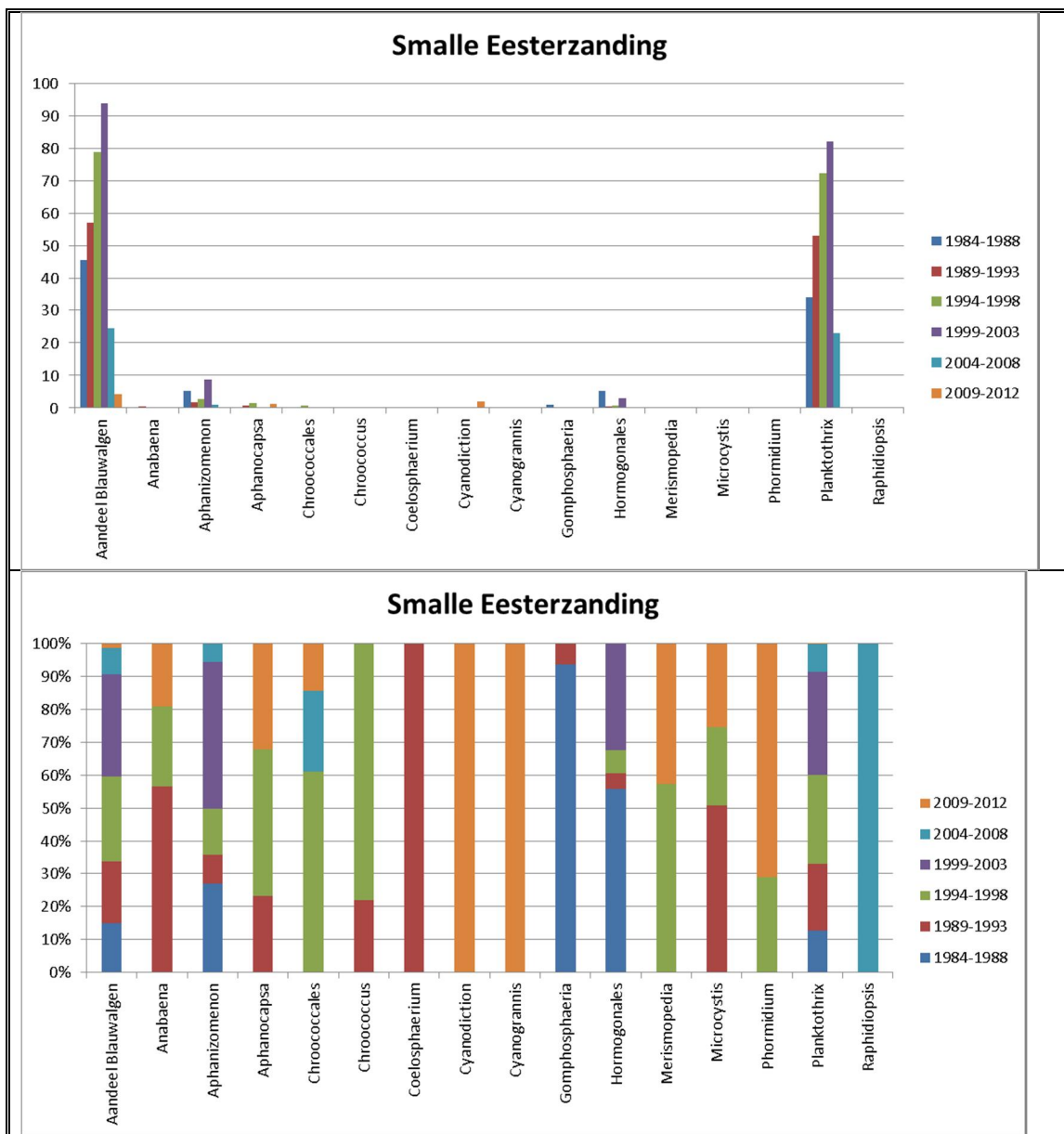


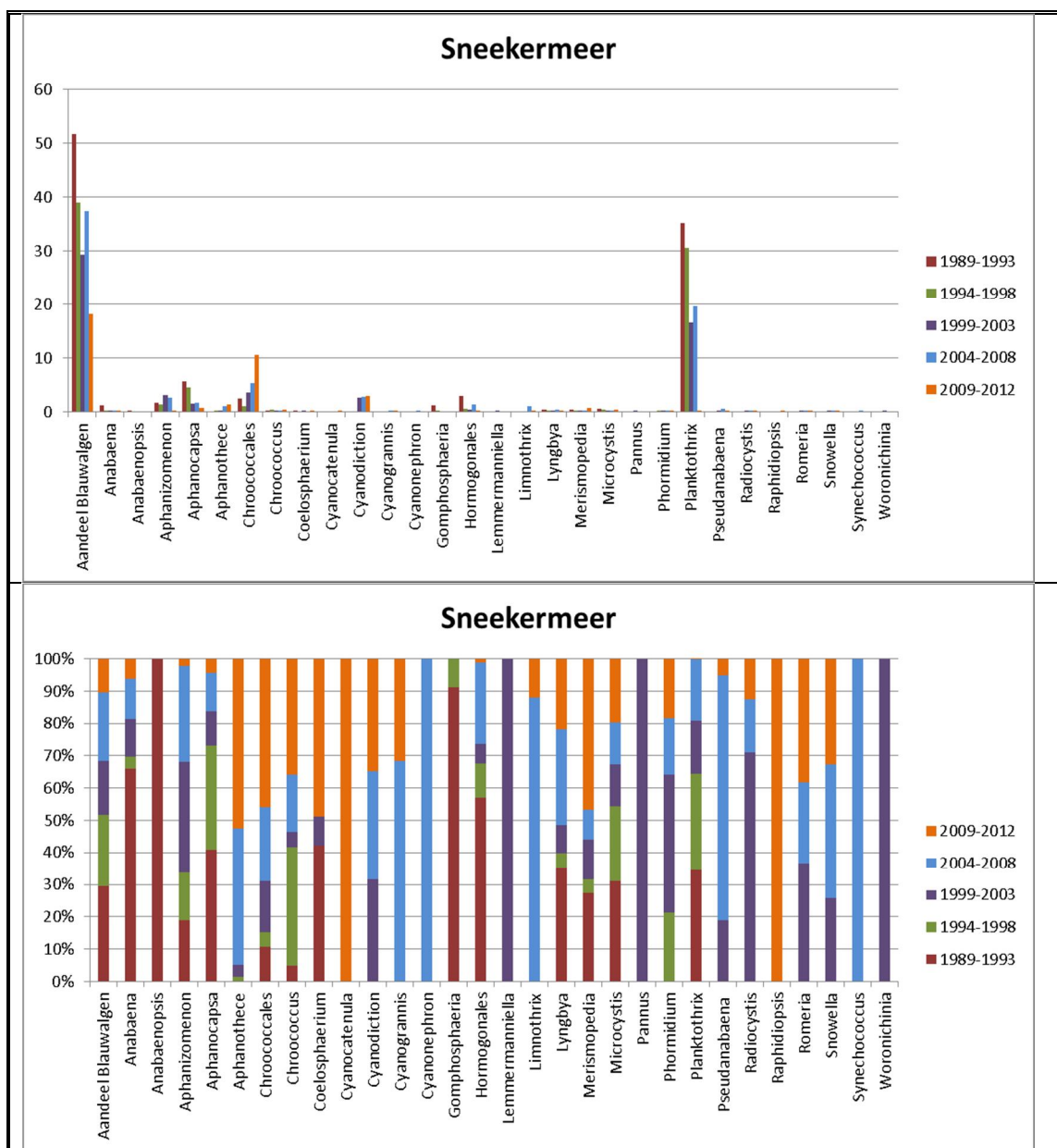


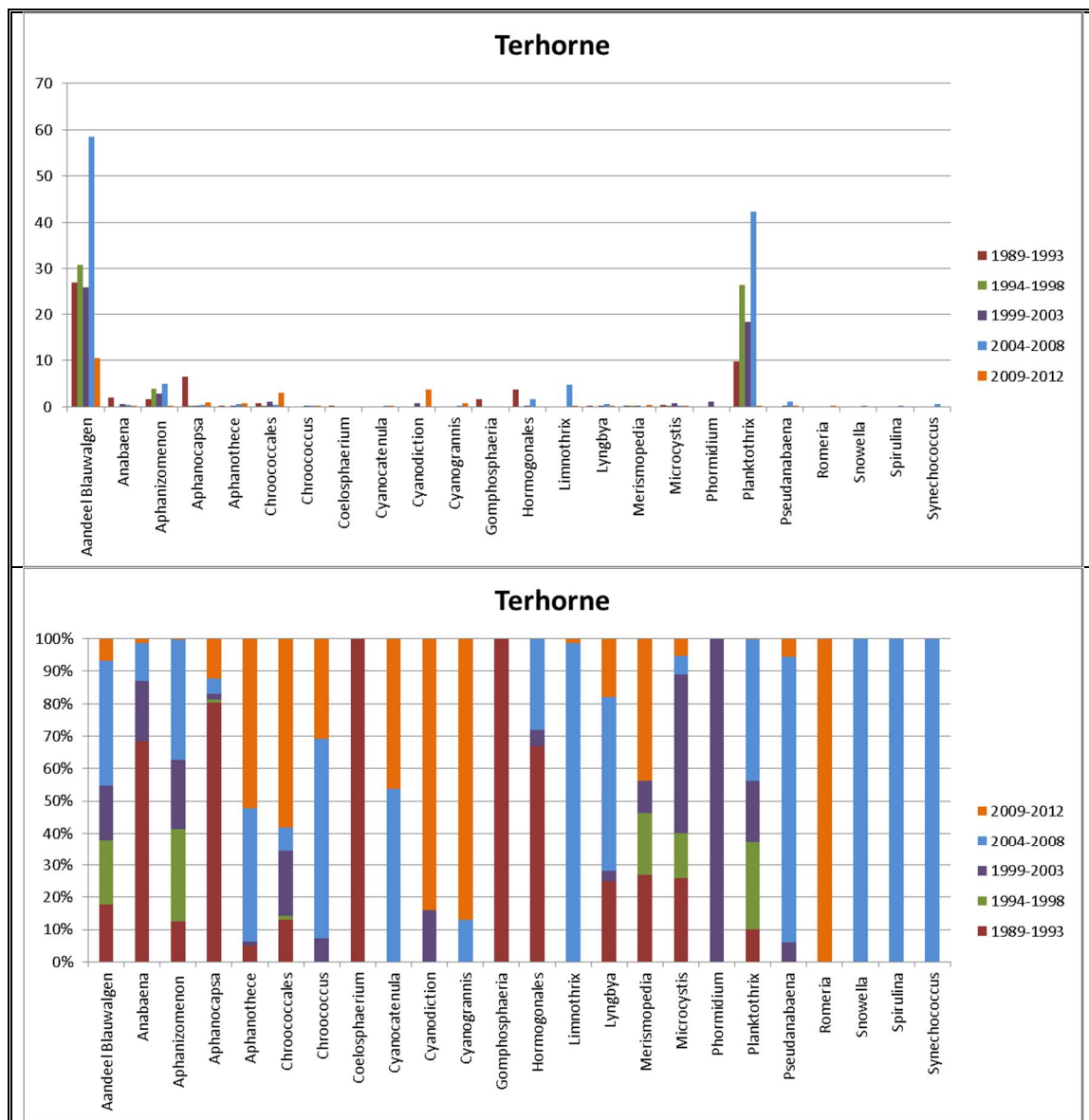


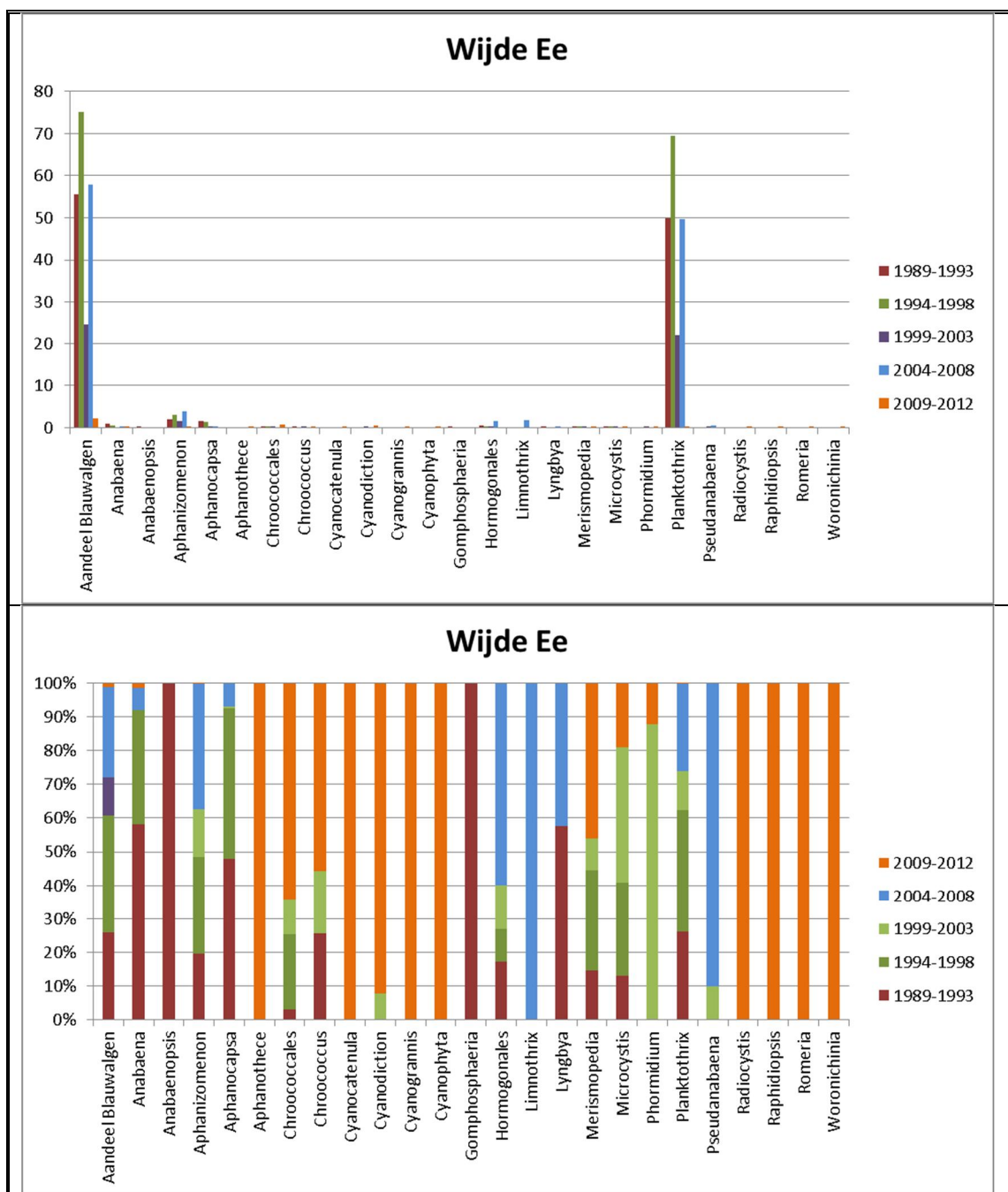


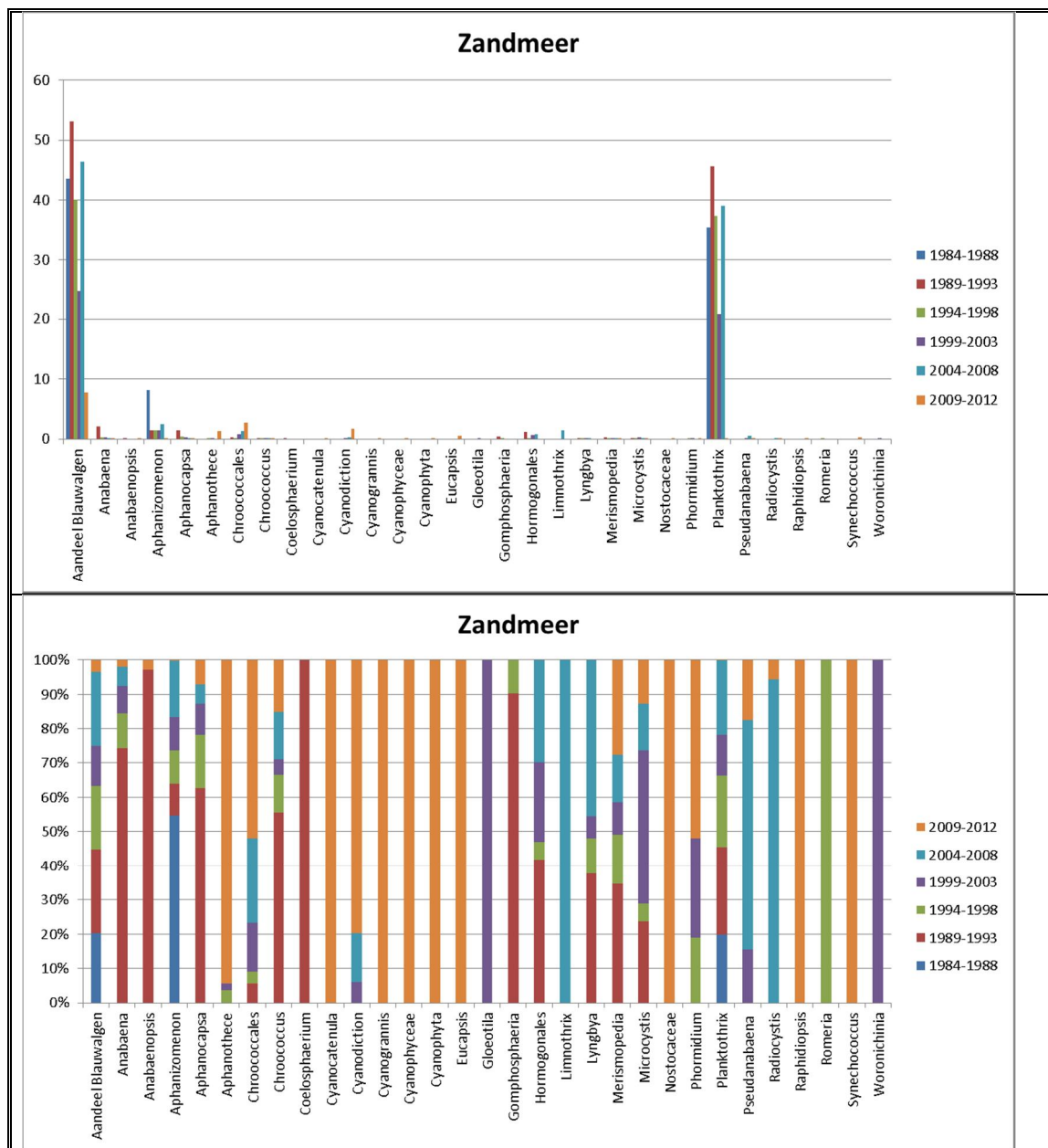




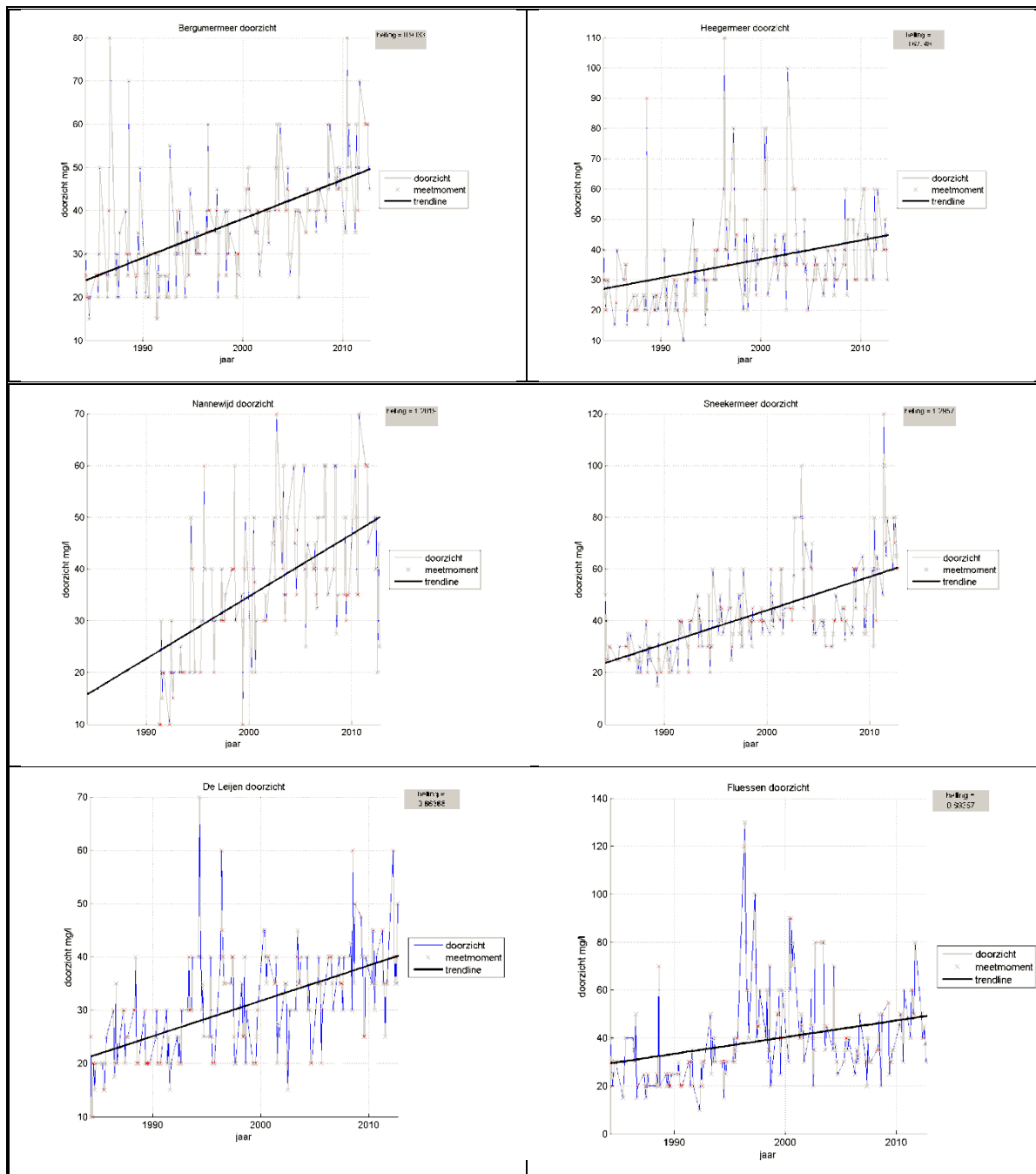


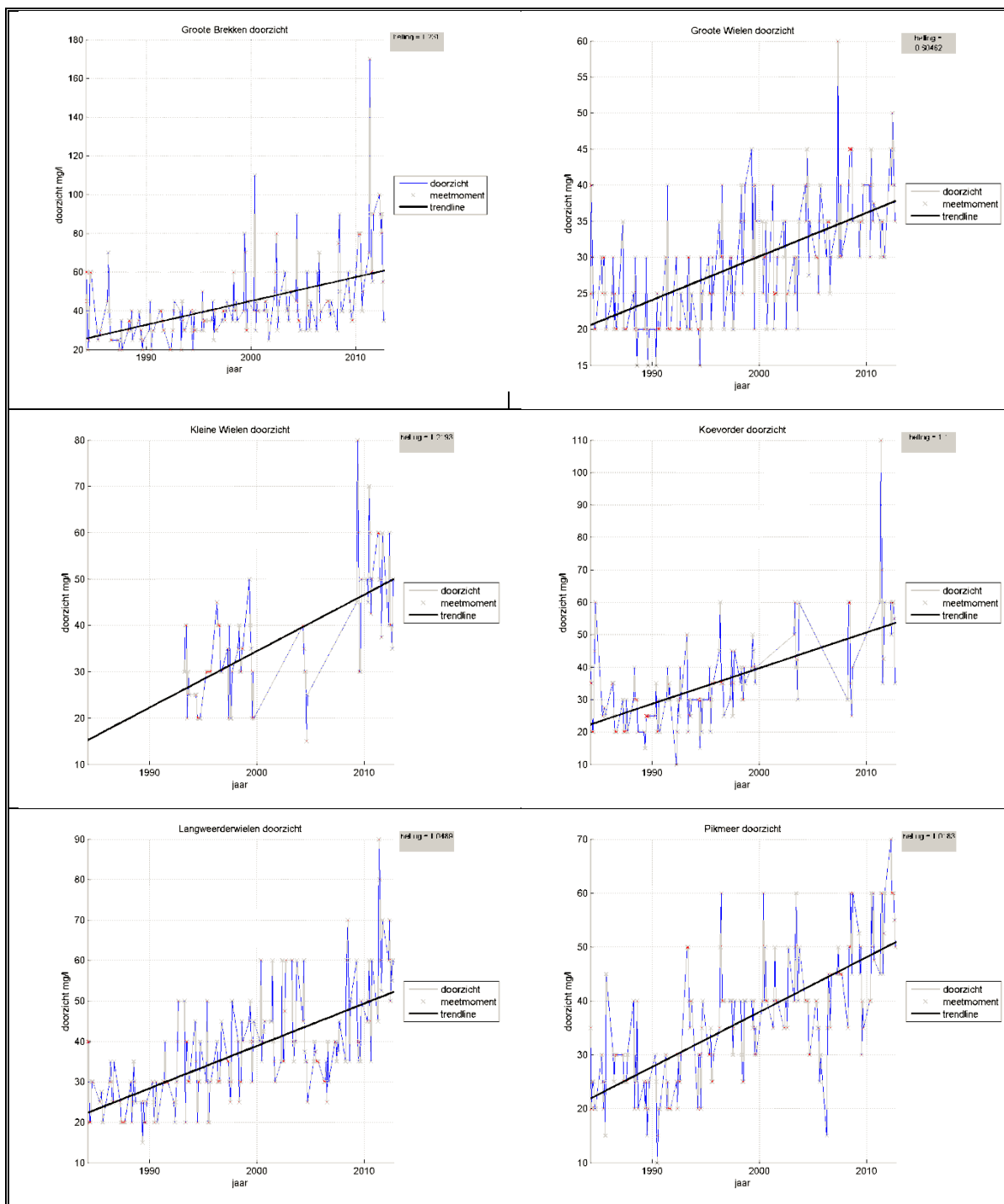


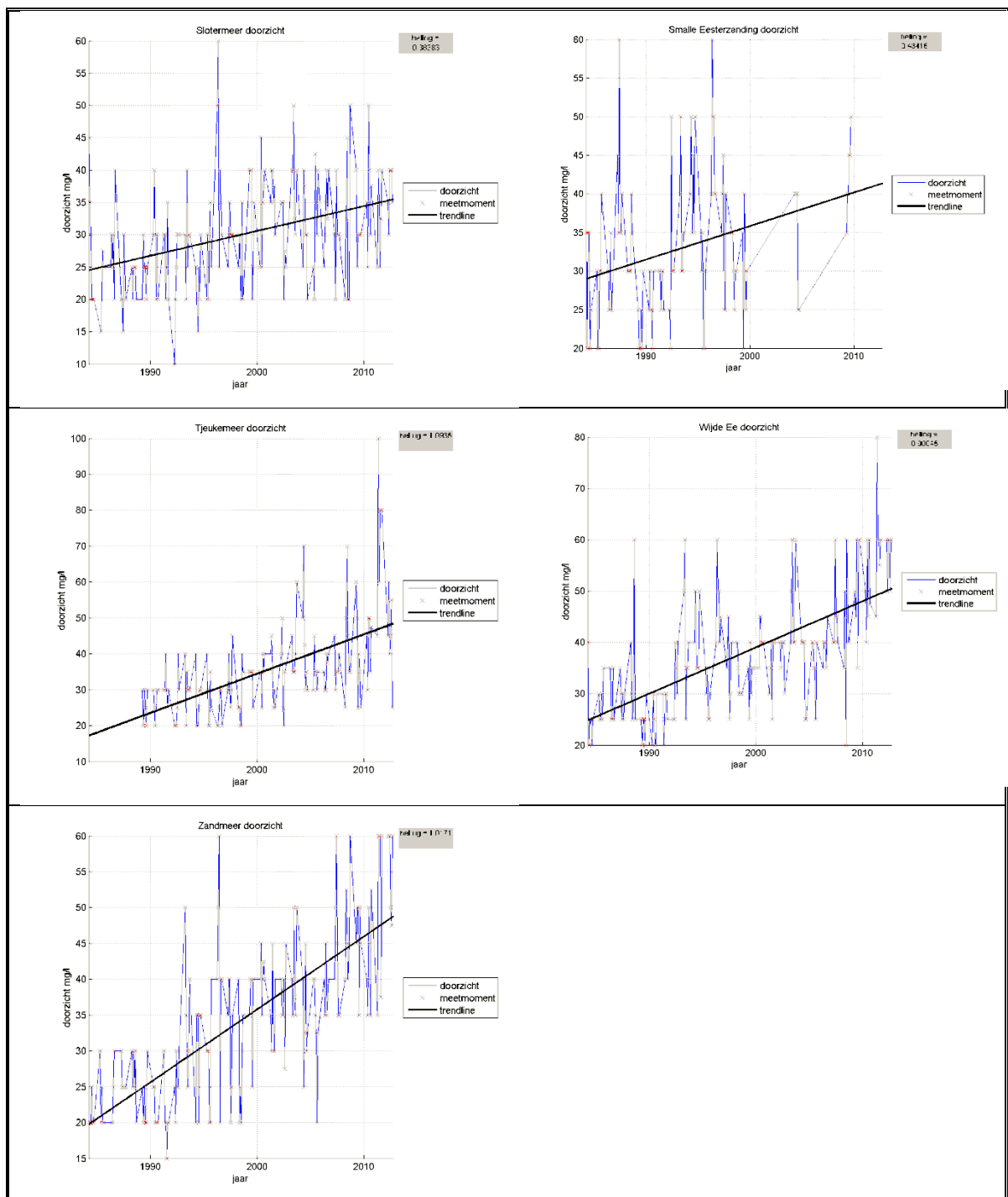




C.1 Doorzicht







C.2 Correlatie analyse

	Chlfa	N	NO3	P	PO4	Temp
BERGUMERMEER						
1984-1988	0.60	-0.15	-0.55	0.26	0.46	0.48
1989-1993	0.18	-0.11	-0.57	0.58	0.48	0.38
1994-1998	0.25	-0.45	-0.49	0.02	0.33	0.20
1999-2003	0.27	-0.68	-0.67	0.13	-0.01	0.50
2004-2008	0.30	-0.47	-0.51	0.32	0.17	0.34
2009-2012	0.52	-0.39	-0.43	-0.65	-0.35	-0.04
1984-2012	0.26	-0.07	-0.48	0.12	0.23	0.32
2004-2012	0.31	-0.31	-0.51	0.19	0.04	0.26
de LEIJEN						
1984-1988	0.59	-0.14	-0.54	0.26	0.38	0.45
1989-1993	0.13	-0.08	-0.60	0.51	0.46	0.37
1994-1998	0.39	0.05	-0.45	0.42	0.46	0.40
1999-2003	0.02	-0.31	-0.45	0.49	0.39	0.53
2004-2008	0.30	-0.40	-0.49	0.60	0.41	0.36
2009-2012	0.39	-0.34	-0.51	-0.19	-0.23	0.10
1984-2012	0.32	0.00	-0.50	0.35	0.23	0.38
2004-2012	0.24	-0.11	-0.47	0.34	0.26	0.34
FLUESSEN						
1984-1988	0.53	0.05	-0.23	0.26	0.64	0.45
1989-1993	0.32	0.07	-0.47	0.53	0.43	0.41
1994-1998	0.34	-0.11	-0.19	-0.06	-0.19	0.01
1999-2003	0.34	-0.49	-0.54	0.22	-0.11	0.48
2004-2008	0.58	-0.33	-0.54	0.08	-0.25	0.31
2009-2012	0.42	-0.49	-0.60	-0.36	-0.33	0.27
1984-2012	0.39	-0.22	-0.46	0.16	0.04	0.31
2004-2012	0.45	-0.33	-0.49	0.00	-0.18	0.27
GROOTE BREKKEN						
1984-1988	0.45	0.04	-0.29	0.12	0.32	0.07
1989-1993	0.36	-0.18	-0.45	0.35	-0.18	0.19
1994-1998	0.43	0.10	-0.38	0.33	-0.01	-0.14
1999-2003	0.45	-0.49	-0.63	-0.12	0.05	0.48
2004-2008	0.07	-0.35	-0.57	-0.11	0.09	0.26
2009-2012	0.17	-0.45	-0.64	-0.11	0.00	0.28
1984-2012	0.16	-0.30	-0.44	-0.08	-0.14	0.18
2004-2012	0.30	-0.38	-0.53	-0.13	-0.17	0.22
GROOTE WIELEN						
1984-1988	-0.24	-0.46	-0.69	0.23	-0.28	0.54

	Chlfa	N	NO3	P	PO4	Temp
1989-1993	0.30	0.21	-0.28	0.02	0.00	-0.04
1994-1998	-0.11	-0.34	-0.27	-0.46	0.04	0.21
1999-2003	-0.08	0.78	-0.20	0.57	-0.12	-0.16
2004-2008	0.11	-0.33	-0.34	-0.30	-0.11	0.24
2009-2012	-0.14	-0.45	-0.40	-0.48	0.09	0.37
1984-2012	0.34	0.03	-0.21	0.30	-0.07	0.16
2004-2012	-0.02	-0.45	-0.28	-0.43	-0.09	0.17
HEEGERMEER						
1984-1988	0.28	-0.08	-0.47	0.09	0.34	0.09
1989-1993	0.04	0.16	-0.30	0.48	0.20	0.16
1994-1998	0.47	0.01	-0.39	0.12	-0.21	0.36
1999-2003	0.50	-0.56	-0.66	0.35	-0.12	0.65
2004-2008	0.59	-0.37	-0.56	0.08	-0.26	0.31
2009-2012	0.42	-0.46	-0.58	-0.34	-0.32	0.21
1984-2012	0.27	0.03	-0.40	0.04	0.04	0.24
2004-2012	0.47	-0.29	-0.50	0.01	-0.16	0.31
KLEINE WIELEN						
1984-1988	0.45	0.04	-0.29	0.12	0.32	0.07
1989-1993	-0.11	-0.51	-0.24	-0.48	0.13	0.05
1994-1998	0.53	0.15	-0.44	-0.10	-0.21	0.35
1999-2003	-0.17	-0.10	-0.05	-0.11	0.24	0.39
2004-2008	-0.09	-0.46	-0.37	0.00	0.10	0.31
2009-2012	0.21	-0.20	-0.29	-0.29	0.00	0.18
1984-2012	0.24	-0.26	-0.34	-0.18	-0.12	0.32
2004-2012	0.19	-0.16	-0.23	-0.14	0.04	0.27
KOEVORDER						
1984-1988	0.28	-0.08	-0.47	0.09	0.34	0.09
1989-1993	0.17	0.07	-0.43	0.53	0.23	0.14
1994-1998	0.40	0.07	-0.30	0.08	-0.26	0.18
1999-2003	0.51	-0.53	-0.63	0.35	-0.18	0.60
2004-2008	0.69	-0.38	-0.56	0.11	-0.24	0.31
2009-2012	0.46	-0.47	-0.59	-0.25	-0.32	0.25
1984-2012	0.42	0.10	-0.40	0.07	0.13	0.23
2004-2012	0.48	-0.30	-0.50	0.03	-0.20	0.30
LANGWEERDERWIELEN						
1984-1988	0.28	-0.08	-0.47	0.09	0.34	0.09
1989-1993	0.16	0.17	-0.34	0.40	0.18	0.20
1994-1998	0.44	0.05	-0.35	0.13	-0.26	0.27
1999-2003	0.49	-0.61	-0.67	0.23	-0.31	0.63
2004-2008	0.57	-0.49	-0.63	0.08	-0.29	0.33

	Chlfa	N	NO3	P	PO4	Temp
2009-2012	0.50	-0.46	-0.57	-0.41	-0.27	0.32
1984-2012	0.42	-0.13	-0.45	0.17	0.02	0.34
2004-2012	0.49	-0.42	-0.56	0.05	-0.21	0.35
NANNEWIJD						
1984-1988	0.45	0.04	-0.29	0.12	0.32	0.07
1989-1993	-0.12	-0.45	-0.13	-0.47	0.09	-0.14
1994-1998	0.08	0.14	-0.26	-0.17	-0.24	0.23
1999-2003	-0.17	-0.10	-0.05	-0.11	0.24	0.39
2004-2008	-0.07	-0.42	-0.28	-0.28	0.09	0.32
2009-2012	0.00	0.05	-0.43	-0.12	0.00	0.30
1984-2012	0.07	-0.24	-0.32	-0.14	-0.24	0.23
2004-2012	-0.05	-0.23	-0.16	-0.14	-0.14	0.23
PIKMEER						
1984-1988	0.47	-0.17	-0.59	0.20	0.25	0.51
1989-1993	0.29	-0.03	-0.52	0.61	0.50	0.48
1994-1998	0.41	-0.36	-0.58	0.20	0.18	0.39
1999-2003	0.32	-0.61	-0.63	0.13	-0.08	0.57
2004-2008	0.35	-0.49	-0.55	0.43	0.18	0.41
2009-2012	0.54	-0.41	-0.49	-0.58	-0.34	0.04
1984-2012	0.47	-0.33	-0.58	0.31	0.04	0.43
2004-2012	0.43	-0.47	-0.57	0.14	-0.12	0.37
SLOTERMEER						
1984-1988	0.25	0.17	-0.30	0.24	-0.19	0.19
1989-1993	0.26	0.20	-0.22	0.16	-0.33	0.27
1994-1998	0.29	0.34	-0.37	0.29	-0.12	0.26
1999-2003	-0.08	-0.48	-0.42	-0.06	0.11	0.58
2004-2008	-0.34	-0.35	-0.37	-0.21	-0.19	0.50
2009-2012	-0.19	-0.30	-0.46	-0.31	0.00	0.20
1984-2012	-0.12	-0.18	-0.34	-0.06	-0.18	0.30
2004-2012	-0.15	-0.12	-0.34	-0.06	-0.11	0.33
SMALLE EESTERZANDING						
1984-1988	0.53	0.05	-0.23	0.26	0.64	0.45
1989-1993	0.20	-0.22	-0.61	0.49	0.37	0.47
1994-1998	0.38	-0.27	-0.57	0.21	0.19	0.44
1999-2003	0.32	-0.55	-0.66	0.11	-0.08	0.50
2004-2008	0.36	-0.55	-0.60	0.21	-0.03	0.48
2009-2012	0.58	-0.34	-0.42	-0.58	-0.36	-0.11
1984-2012	0.44	-0.19	-0.52	0.25	0.07	0.40
2004-2012	0.43	-0.37	-0.55	0.14	-0.09	0.34
SNEEKERMEER						

	Chlfa	N	NO3	P	PO4	Temp
1984-1988	0.53	0.05	-0.23	0.26	0.64	0.45
1989-1993	0.30	0.08	-0.47	0.55	0.45	0.39
1994-1998	0.63	-0.18	-0.41	0.16	-0.12	0.14
1999-2003	0.49	-0.74	-0.74	-0.01	-0.38	0.60
2004-2008	0.57	-0.48	-0.56	-0.19	-0.27	0.30
2009-2012	0.51	-0.45	-0.57	-0.40	-0.33	0.30
1984-2012	0.45	-0.26	-0.50	0.27	0.08	0.31
2004-2012	0.53	-0.40	-0.55	0.01	-0.17	0.28
TERHORNE						
1984-1988	0.45	0.04	-0.29	0.12	0.32	0.07
1989-1993	0.04	-0.22	-0.26	-0.23	0.17	0.14
1994-1998	0.62	-0.07	-0.34	0.01	-0.44	0.41
1999-2003	0.57	-0.44	-0.49	-0.33	-0.16	0.31
2004-2008	-0.29	-0.39	-0.46	-0.25	-0.01	0.46
2009-2012	0.28	-0.27	-0.49	-0.19	0.00	0.12
1984-2012	0.32	-0.31	-0.43	-0.21	-0.25	0.27
2004-2012	0.33	-0.29	-0.41	-0.20	-0.19	0.22
TJEUKEMEER						
1984-1988	0.45	0.04	-0.29	0.12	0.32	0.07
1989-1993	0.28	-0.37	-0.70	0.00	0.00	0.63
1994-1998	0.36	-0.33	-0.85	0.19	-0.54	0.65
1999-2003	0.29	-0.67	-0.67	-0.31	-0.39	0.76
2004-2008	-0.30	-0.40	-0.47	-0.22	-0.01	0.50
2009-2012	0.03	-0.36	-0.46	-0.42	-0.22	0.20
1984-2012	0.29	-0.10	-0.58	0.13	-0.08	0.46
2004-2012	0.10	-0.23	-0.52	-0.03	-0.18	0.47
WIJDE EE						
1984-1988	0.47	-0.17	-0.59	0.20	0.25	0.51
1989-1993	0.28	-0.06	-0.54	0.45	0.40	0.48
1994-1998	0.37	-0.34	-0.56	0.18	0.15	0.42
1999-2003	0.29	-0.56	-0.66	0.07	-0.11	0.51
2004-2008	0.26	-0.48	-0.58	0.50	0.17	0.44
2009-2012	0.57	-0.39	-0.44	-0.57	-0.34	-0.05
1984-2012	0.45	-0.26	-0.57	0.29	-0.01	0.40
2004-2012	0.41	-0.41	-0.56	0.17	-0.09	0.34
ZANDMEER						
1984-1988	0.47	-0.17	-0.59	0.20	0.25	0.51
1989-1993	0.31	0.01	-0.49	0.50	0.43	0.46
1994-1998	0.45	-0.39	-0.61	0.19	0.17	0.43
1999-2003	0.30	-0.65	-0.61	0.21	0.13	0.49

	Chlfa	N	NO3	P	PO4	Temp
2004-2008	0.34	-0.51	-0.56	0.34	0.14	0.44
2009-2012	0.55	-0.37	-0.46	-0.60	-0.35	0.01
1984-2012	0.45	-0.26	-0.56	0.28	0.09	0.41
2004-2012	0.42	-0.41	-0.54	0.13	-0.04	0.35