Statistische analyse waterkwaliteit Dwarsdiep

Icastat
Statistisch Adviesbureau

december 2009

Statistische analyse waterkwaliteit Dwarsdiep

Opdrachtgever:
Waterschap Noorderzijlvest

Auteurs:
drs. Paul K. Baggelaar (Icastat)
ir. Eit C.J. van der Meulen (AMO, Adviesbureau Modellering en Optimalisatie)

december 2009

Icastat
Statistisch Adviesbureau

Niagara 18
1186 JP AMSTELVEEN
Tel.: 020 641 52 11
paul.baggelaar@planet.nl

INHOUD

SAMENVATTING **2**

1 INLEIDING **4**

1.1 DOELSTELLING VAN DEZE STUDIE 4
1.2 AANPAK 4
1.3 OVER DIT RAPPORT 4

2 KORTE GEBIEDSBESCHRIJVING **5**

2.1 ALGEMEEN 5
2.2 MEETLOCATIES OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT 6
2.3 DE AWZI EN DE RWZI BIJ MARUM EN DE RWZI BIJ LEEK 8

3 VOORBEWERKING ONTVANGEN MEETGEGEVENS **10**

3.1 OMVANG VAN HET ONTVANGEN MATERIAAL 10
3.2 ONGELIJKE MEETEENHEDEN 10
3.3 ONGELIJKE WAARDEN GEMETEN OP ZELFDE TIJDSTIP 10
3.4 AFRONDINGSFOUTEN 10
3.5 GECENSUREERDE WAARDEN 10
3.6 SAMENSTELLEN REEKSEN TOTAAL STIKSTOF 12
3.7 UITSCHIETERS 12
3.8 MEETDICHTHEID 12

4 INVLOEDEN OP WATERKWALITEIT **15**

4.1 MOGELIJKE INVLOEDEN OP OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT 15
4.2 GEVOLGDE AANPAK 15
4.3 BESCHRIJVENDE ANALYSE VAN CHLORIDE, TOTAAL-STIKSTOF EN TOTAAL-FOSFAAT 16
4.3.1 Beschrijvende analyse van chloride 16
4.3.2 Beschrijvende analyse van totaal-stikstof 19
4.3.3 Beschrijvende analyse van totaal-fosfaat 21
4.4 VERANDERING KWALITEIT HOOFDWATERLOOP STROOMAFWAARTS 24
4.4.1 Gebruikte statistische toetsen 24
4.4.2 Resultaten statistische toetsing 26
4.5 SAMENVATTENDE CONCLUSIES 30

5 LANGE-TERMIJN TRENDS WATERKWALITEIT **31**

5.1 GEVOLGDE AANPAK TRENDANALYSE 31
5.2 RESULTATEN TRENDANALYSE 32
5.3 SAMENVATTENDE CONCLUSIES 39

6 INFORMATIEOVERLAP MEETLOCATIES **40**

6.1 GEVOLGDE AANPAK 40
6.1.1 Overlap in informatie over de toestand 40
6.1.2 Overlap in informatie over het verloop in de tijd 41
6.1.3 Gecombineerde score 42
6.2 RESULTATEN 42
6.3 SAMENVATTENDE CONCLUSIES 44

GERAADPLEEGDE LITERATUUR **45**

BIJLAGE: BOXPLOTS MEETLOCATIES HOOFWATERLOOP VANAF 1990 ..... **46**

Samenvatting

Dit rapport beschrijft een statistische analyse van de oppervlaktewaterkwaliteit van het Dwarsdiep, die zich richtte op drie op drie vragen, namelijk: 1. in welke mate is de kwaliteit beïnvloed door verschillende invloedsfactoren? 2. zijn er trends opgetreden in de kwaliteit? en 3. wat is de informatieoverlap van de verschillende meetlocaties?

Korte gebiedsbeschrijving
Het Dwarsdiepgebied ligt in het Westerkwartier van de provincie Groningen. De belangrijkste waterloop stroomt van het zuidwesten naar het noordoosten en bestaat uit achtereenvolgens het Oude Diep, het Dwarsdiep, de Enumatilster Matsloot en het Hoendiep. De hoofdwaterloop wordt voor een groot deel omgeven door natuurgebied, verder komt er voornamelijk landbouwgebied voor en in mindere mate ook bebouwd gebied.
Bij Marum lozen een AWZI en een RWZI op de hoofdwaterloop. En bij Leek loost een RWZI op het Leeksterhoofddiep.
In het gebied liggen verschillende bemalen polders, die soms aan elkaar gekoppeld zijn tot peilgebieden. Enkele van deze polders zijn relatief laag, het betreft de polders De Dijken, Oude Riet en Tolberter Petten.
Het gebied ten zuiden van het Dwarsdiep wordt in de zomerperiode via het Leeksterhoofddiep en de Jonkersvaart voorzien van gebiedsvreemd water - afkomstig van het Leekstermeer - om de streefpeilen te kunnen handhaven.

Uitgangsmateriaal
Deze studie is uitgevoerd met meetreeksen van de oppervlaktewaterkwaliteit, zoals gemeten op 32 locaties in het Dwarsdiepgebied. Na voorbewerking resteerden 57509 meetwaarden, behorend tot 1465 meetreeksen, die maximaal de periode 1978 tot medio 2009 omvatten, waarbij de meetgegevens van 1980 ontbreken. De 1465 meetreeksen betreffen 271 verschillende parameters.

1. **Invloeden op waterkwaliteit**
In het Dwarsdiepgebied is in 2008 het percentage meetpunten met overschrijdingen van de MTR-norm min of meer vergelijkbaar voor totaal-stikstof en totaal-fosfaat, namelijk circa 70%. Maar bij totaal-fosfaat treden er meer grote normoverschrijdingen op dan bij totaal-stikstof. Voor wat betreft de nutriënten is de waterkwaliteit van Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart het slechtst. Dit zal samenhangen met de landbouw in deze omgeving en mogelijk ook met het ‘s zomers aangevoerde nutriëntrijke water uit het Leekstermeer.
We zijn met statistisch toetsen nagegaan welke veranderingen er in de hoofdwaterloop optreden in stroomafwaartse richting. Het blijkt dan dat de AWZI bij Marum een duidelijke kwaliteitverslechtering geeft voor totaal-stikstof, andere stikstof-parameters, fosfaat, chloride, kalium, zuurstofverzadiging en doorzicht. De lozing door de RWZI Marum in het daaropvolgende traject heeft echter weinig invloed op de meeste parameters, wat zal komen door de verdunnende werking van de afvoer van de westelijke en noordwestelijke deelstroomgebieden, die ook plaatsvindt in dit traject. Verder stroomafwaarts, tussen de meetlocaties 4109 en 4112, vindt voor veel parameters vooral verdunning plaats, door zoet kwelwater en afvoer uit het natuurgebied, zij het dat de concentraties chlorofyl-a en magnesium toenemen en de zuurstofverzadiging en het doorzicht afnemen. Tussen de meetlocaties 4112 en 4133 vindt voor meerdere parameters een verdere verdunning plaats, maar er zijn ook duidelijke toenames van de concentraties chloride, magnesium en sulfaat. Dit zal veroorzaakt zijn door de brakke kwelstromen in de polders De Dijken en Tolberter Petten, die lozen op het Dwarsdiep. Tussen de meetlocaties 4133 en 4113 treedt alleen verdunning op voor chloride en verbetert het doorzicht enigszins. De concentraties kalium,

stikstof en fosfaat nemen daarentegen weer toe, wat duidt op invloed van landbouwkundige activiteiten.
Resumerend kunnen we stellen dat de oppervlaktewaterkwaliteit in het Dwarsdiepgebied merkbaar wordt beïnvloed door landbouwkundige activiteiten, lozingen van zuiveringsinstallaties en opkwellend zoet en brak grondwater. Mogelijk speelt ook de zomerse aanvoer van gebiedsvreemd water uit het Leekstermeer een rol.

2. **Lange-termijn trends waterkwaliteit**
We zijn met trendanalyse nagegaan welke parameters er sinds 1990 statistisch significante verbeteringen of verslechteringen hebben vertoond. Van de 1465 meetreeksen bleken er 567 te voldoen aan de eisen voor trendanalyse, namelijk: (1) meetwaarden over minstens 4,5 jaar (periode tussen start en eind meetwaarden) en (2) minstens 5 meetwaarden, of anders minstens 3 verschillende jaarwaarden en (3) minder dan 80% gecensureerde meetwaarden.
Uit de trendanalyse blijkt dat er meer kwaliteitsverbeteringen zijn opgetreden dan verslechteringen. Voor bijna de helft van de meetreeksen is geen kwaliteitsverandering aangetoond.
De meeste verbeteringen treden op bij orthofosfaat, maar ook totaal-stikstof laat in het algemeen een verbetering zien. Deze verbeteringen kunnen worden toegeschreven aan de invoering van het mestbeleid in 1984, de invoering van fosfaatvrije wasmiddelen in 1990 en de invoering van verplichte mestinjectie in 1992. Mogelijk speelt ook een rol dat vanaf circa 1995 plaatselijk landbouwkundige activiteiten zijn verdwenen door het ontwikkelen van de Ecologische Hoofdstructuur en dat de efficiëntie van zuiveringsinstallaties van industrieel en stedelijk afvalwater zijn verbeterd.
De meeste verslechteringen treden op bij doorzicht. Mogelijk is dit veroorzaakt doordat er de laatste 5 jaar veel baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd, waarbij het doorzicht tijdelijk is verminderd. Ook bij chlorofyl-a treden relatief veel verslechteringen op.
Bij meetlocatie 4167 (afvoer van polder De Dijken naar het Dwarsdiep) treden de meeste verslechteringen op, namelijk bij 5 van de 22 parameters die voor die locatie op trend konden worden geanalyseerd. Vermoedelijk hangt dit samen met de rond 2005 in deze polder ingestelde peilverhoging. Deze peilverhoging verklaart vermoedelijk ook waarom op deze meetlocatie de concentratie chloride sterk is afgenomen. De peilverhoging zal namelijk tot een vermindering van de brakke kwelstroom hebben geleid.
Voor wat betreft de hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep) zijn er vooral verbeteringen voor de parameters totaal-stikstof, orthofosfaat, kalium en watertemperatuur. Verslechteringen zijn er op enkele locaties voor doorzicht, natrium, ijzer en mangaan.

3. **Informatieoverlap meetlocaties**
We zijn voor een aantal parameters van de waterkwaliteit nagegaan in welke mate meetlocaties informatieoverlap vertonen, zowel voor wat betreft de toestand als voor wat betreft het verloop in de tijd. Slechts in twee gevallen is er een grote mate van informatieoverlap voor een aantal relevante parameters geconstateerd tussen twee meetlocaties. Zo vertonen de meetlocaties 5106 (Leeksterhoofddiep, kade Leek) en 6172 (Leeksterhoofddiep, Leek), gelegen op 1,35 km van elkaar, veel informatieoverlap, evenals de meetlocaties 6109 (Jonkersvaart) en 6171 (Leeksterhoofddiep, wal Diepswal), gelegen op 2,58 km van elkaar.

1 Inleiding

Het waterschap Noorderzijlvest wil weten hoe de kwaliteit van het oppervlaktewater in het Dwarsdiep zich heeft ontwikkeld, welke invloeden daarbij een rol hebben gespeeld en in welke mate de meetreeksen van de verschillende meetlocaties gelijksoortige informatie geven. Dit rapport beschrijft de aanpak en de bevindingen van de studie die is uitgevoerd om deze vragen te kunnen beantwoorden.

1.1 Doelstelling van deze studie

Deze studie dient antwoorden te geven op de volgende drie vragen:

1. In welke mate is de oppervlaktewaterkwaliteit van het Dwarsdiep beïnvloed door verschillende invloedsfactoren?
2. Zijn er trends opgetreden in de oppervlaktewaterkwaliteit van het Dwarsdiep?
3. In welke mate vertonen de meetreeksen van de verschillende meetlocaties in het Dwarsdiep gelijksoortige informatie?

1.2 Aanpak

De studie is uitgevoerd met statistische analyse van gegevens van de oppervlaktewaterkwaliteit. De resultaten zijn op 30 september 2009 in een werksessie voorgelegd aan medewerkers van het waterschap[1]. Door deze bundeling van expertises konden betere verklaringen voor bepaalde resultaten worden geformuleerd.

1.3 Over dit rapport

Na deze inleiding geeft hoofdstuk 2 een korte gebiedsbeschrijving. Hoofdstuk 3 beschrijft hoe we de ontvangen basisgegevens geschikt hebben gemaakt voor deze studie. In hoofdstuk 4 gaan we na welke in welke mate de oppervlaktewaterkwaliteit van het Dwarsdiepgebied is beïnvloed door verschillende invloedsfactoren. De trends in de oppervlaktewaterkwaliteit komen aan de orde in hoofdstuk 5. En hoofdstuk 6 bevat een beschouwing over de mate waarin de meetreeksen van de verschillende meetlocaties in het Dwarsdiep gelijksoortige informatie bevatten. Het hoofddeel van dit rapport sluit af met een alfabetisch gerangschikte lijst van de geraadpleegde literatuur.

De bijlage van dit rapport bevat voor een aantal parameters de boxplots van de meetwaarden van elk van de zes meetlocaties in de hoofwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot - Hoendiep).

Bij dit rapport hoort ook een digitale bijlage. Deze bevat de volgende bestanden:

- ✓ Meetdichtheidsmatrix Dwarsdiep.xls
- ✓ Trendplots_1990 Dwarsdiep.doc
- ✓ Trendpalet_1990 Dwarsdiep.xls
- ✓ Scores informatieoverlap Dwarsdiep.xls

[1] De betrokken medwerkers van het waterschap zijn Jeroen Huisman (aquatisch ecoloog), Grietje Kuiper (meetnetbeheerder en oppervlaktewatertechnoloog), Jan Gooijer (hydroloog) en Jannes Schenkel (cultuurtechnicus).

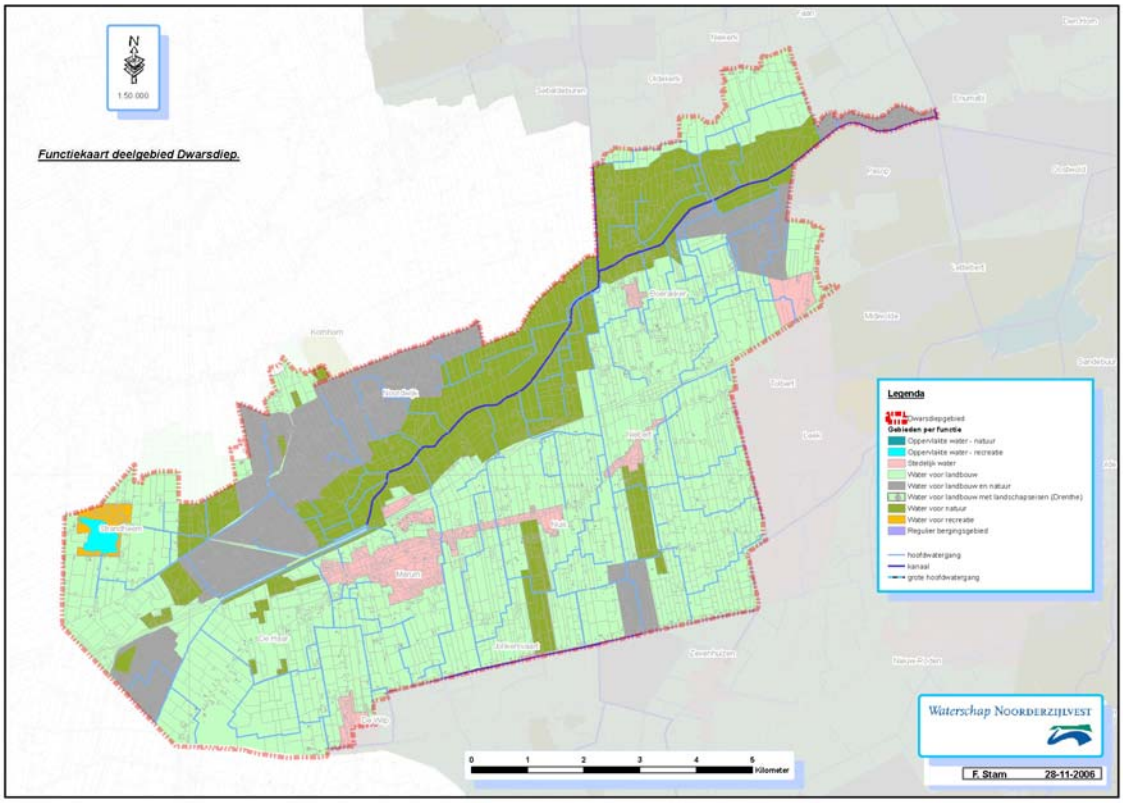
2 Korte gebiedsbeschrijving

2.1 Algemeen

Het in dit rapport beschouwde Dwarsdiepgebied ligt in het Westerkwartier van de provincie Groningen. Het omvat het KRW-waterlichaam Oude Diep-Dwarsdiep en in het noordoosten ook een deel van het KRW-waterlichaam Matsloot.
De belangrijkste waterloop stroomt van het zuidwesten naar het noordoosten en bestaat uit achtereenvolgens het Oude Diep, het Dwarsdiep, de Enumatilster Matsloot en het Hoendiep. Net ten noordwesten van Boerakker is er overigens een splitsing, waarbij een groot deel van het water van het Dwarsdiep noordwaarts stroomt via het Wolddiep. De rest stroomt af naar het noordoosten via de Enumatilster Matsloot en het Hoendiep. Er zijn dus twee punten waar het water van het Dwarsdiep het gebied uitstroomt.
De hoofdwaterloop maakt deel uit van de Electraboezem, waarin een constant waterpeil wordt gehanteerd van NAP –0,93 m.

De hoofdwaterloop wordt voor een groot deel omgeven door natuurgebied, verder komt er voornamelijk landbouwgebied voor en in mindere mate ook bebouwd gebied. De door het waterschap in het Beheerplan toegekende gebiedsfuncties zijn voornamelijk *water voor landbouw*, *water voor natuur* en *water voor landbouw en natuur* (deze laatste in het houtsingelgebied). Daarnaast komen ook delen stedelijk water voor en een klein deel water voor recreatie, bij de plas Strandheem (zie figuur 2.1).

Figuur 2.1: Functiekaart van het in dit rapport beschouwde gebied. Op deze kaart ontbreken echter de functies van het oostelijke deel rond Leek, Tolbert, Midwolde en Pasop.



Het grootste deel van het gebied met de functie landbouw is als grasland in gebruik. Verder is er plaatselijk akkerbouw. Ook het grootste deel van het gebied met de functie natuur is als grasland in gebruik.

Het gebied wordt gekenmerkt door relatief grote hoogteverschillen en watert af naar het noordoosten. Van zuidwest naar noordoost doorsnijdt het lager gelegen dal van de hoofdwaterloop het gebied. Het laagliggende dal heeft van oudsher een belangrijke afwaterende functie. De naastliggende hogere gebieden worden 'gasten' genoemd.
Het beekdal van het Dwarsdiep maakt onderdeel uit van de Ecologische Hoofdstructuur.

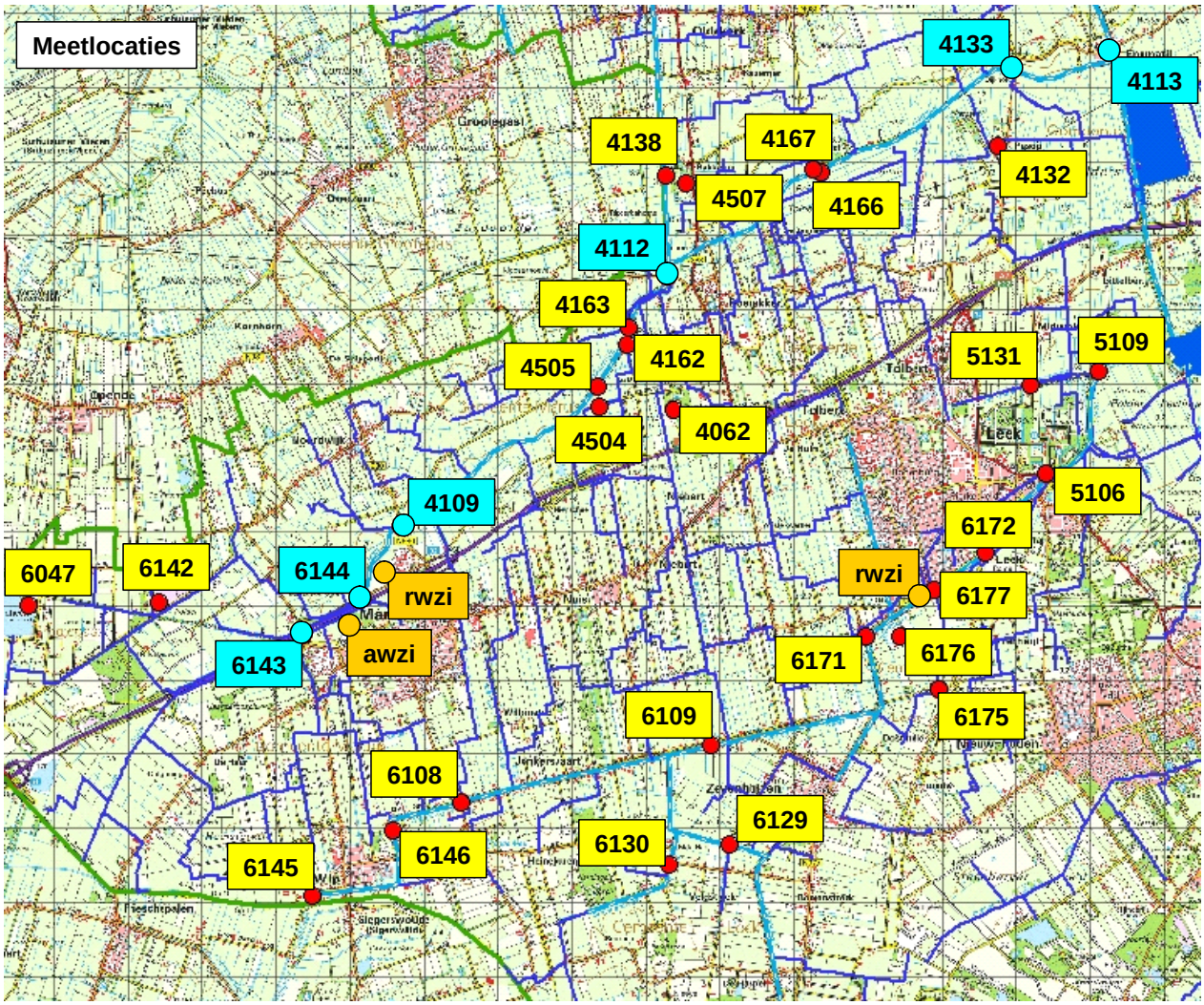
In het gebied liggen verschillende bemalen polders, die soms aan elkaar gekoppeld zijn tot peilgebieden. Enkele van deze polders zijn relatief laag, het betreft de polders De Dijken, Oude Riet en Tolberter Petten. De polder De Dijken, die vanuit het noorden afvoert op het Dwarsdiep, bevat brak kwelwater doordat daar tot circa de 14e eeuw invloed van de zee is geweest. Het betreft een laag gebied, dat wordt bemalen op circa 2 meter –NAP. Aangezien het op de noordflank van het Drents Plateau ligt is er een redelijk hoge kweldruk. Ook de ten zuidwesten daarvan gelegen polder Oude Riet is laag (bemaling op 1,6 meter –NAP) en wordt gekenmerkt door kwel vanaf het Drents Plateau, maar dit betreft zoete kwel. Verder is er nog de laaggelegen polder Tolberter Petten (bemaling 3 meter –NAP), ten zuidoosten van polder De Dijken.

Het gebied ten zuiden van het Dwarsdiep wordt in de zomerperiode via het Leeksterhoofddiep en de Jonkersvaart voorzien van gebiedsvreemd water - afkomstig van het Leekstermeer - om de streefpeilen te kunnen handhaven. Hierdoor zijn de waterpeilen in de zomer vaak hoger dan in de winter. In de zomer is de stroomrichting in Leeksterhoofddiep en Jonkersvaart naar het zuidwesten, terwijl deze in de winter de andere kant op is, naar het noordoosten, waar wordt afgewaterd in het Leekstermeer.
Voor wat betreft het waterlichaam Matsloot vindt wateraanvoer plaats vanuit de Friese boezem via de inlaat in het Van Starkenborghkanaal bij Gaarkeuken.

2.2 Meetlocaties oppervlaktewaterkwaliteit

We ontvingen van het waterschap van 32 meetlocaties in het Dwarsdiepgebied meetwaarden van de oppervlaktewaterkwaliteit. De meetlocaties zijn weergegeven in figuur 2.2 en hun omschrijvingen en coördinaten zijn vermeld in tabel 2.1.

Figuur 2.2: De 32 in dit onderzoek beschouwde meetlocaties oppervlaktewaterkwaliteit in het Dwarsdiepgebied. De blauwe nummers betreffen de zes meetlocaties in de hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep). Tevens zijn de locaties van de AWZI en de RWZI bij Marum en de RWZI bij Leek weergegeven.



Tabel 2.1: Omschrijvingen en coördinaten van de 32 meetlocaties oppervlaktewaterkwaliteit in het Dwarsdiepgebied.

Meetlocatie	Omschrijving	X-coörd.	Y-coörd.
4062	Camping De Akkerhoeve Niebert	217,379	576,657
4109	Dwarsdiep, brug weg Marum - Noordwijk	213,676	575,088
4112	Dwarsdiep, brug Lukaswolde	217,297	578,447
4113	Hoendiep, brug Enumatil	223,289	581,519
4132	Petgaten, oostelijk van Pasop	221,743	580,214
4133	Enumatilster Matsloot, brug Pasop	221,950	581,250
4138	Petgat groot Bakkerom, Boerakker	217,260	579,811
4162	HWG polder Oude Riet, ZW van Boerakker	216,741	577,528
4163	HWG Wemerpolder, Lucaswolde	216,768	577,753
4166	HWG polder Tolberter Petten, Mensumaweg Tolbert	219,354	579,858
4167	Afv.WG polder de Dijken, ten W van 't Kret	219,260	579,891
4504	Brongertocht polder Oude Riet, N van A7 bij Oude Riet	216,360	576,693
4505	Sloot uitkijktoren, polder Oude Riet, N van A7	216,338	576,962
4507	Petgat oost, Bakkerom	217,547	579,698
5106	Leeksterhoofddiep, kade Leek	222,407	575,795
5109	Leeksterhoofddiep	223,112	577,180
5131	De Groeve, Nienoord	222,187	576,989
6047	Strandheem Opende, strand	208,650	574,000
6108	Wilpstervaart, brug Jonkersvaart	214,477	571,359
6109	Jonkersvaart	217,869	572,124
6129	Zandwijk, Zevenhuizen - Veldstreek	218,125	570,775
6130	Gravelandsewijk, W van Bolmeer	217,310	570,518
6142	Plas Jiltdijksheide, tussen Marum en Opende	210,420	574,050
6143	Oude Diepje, verlengde Wilpsterweg Marum	212,358	573,604
6144	Oude Diep, na duiker (ten N) van RW43 Marum	213,165	574,115
6145	Wilpstervaart, nabij 'oorsprong' De Wilp	212,500	570,100
6146	Wilpstervaart, na instroom J v Gosseswijk De Wilp	213,572	570,979
6171	Leeksterhoofddiep, wal Diepswal	219,981	573,600
6172	Leeksterhoofddiep, Leek	221,581	574,728
6175	Oost-Indie, Leek, inlaatpunt landbouwgebied	220,960	572,881
6176	Oost-Indie, Leek, Petgat	220,438	573,589
6177	Oost-Indie, Leek, uitlaat stroomgebied	220,901	574,224

2.3 De AWZI en de RWZI bij Marum en de RWZI bij Leek

AWZI bij Marum

Aan de noordwestrand van Marum bevindt zich een kaasfabriek van Friesland Foods, die proceswater en koelwater loost op het Oude Diep. Het bedrijf is in 1916 opgericht en de kaasproductie en het lozen is in 1918 begonnen. Het proceswater wordt gezuiverd in een AWZI. De lozing van gemiddeld 1450 m^3/d wordt gekenmerkt door zeer hoge concentraties chloride - gemiddeld ruim 1100 mg/l - afkomstig van het kaaspekelbad. Verder komen er hoge concentraties voor van totaal-stikstof en totaal-fosfaat (zie tabel 2.2).

Tabel 2.2: Jaargemiddelde concentraties en vrachten van totaal-stikstof, totaal-fosfaat en chloride in het effluent van de AWZI van Friesland Foods van 2001 t/m 2009, voorzover over die periode meetgegevens beschikbaar zijn.

AWZI Marum							
	Stikstof	Fosfaat	Chloride	Debiet	Stikstof	Fosfaat	Chloride
Jaar	Concentratie [mg/l]			[m^3/d]	Vracht [kg/d]		
2001			950	968			938
2002			698	1036			723
2003		12.2	1142	1484		18.0	1693
2004		9.2	973	2591		23.8	2478
2005	14.5	8.4	1214	1724	28.8	14.7	2132
2006	7.5	9.4	1472	1341	9.9	12.9	1943
2007	11.0	7.0	1443	1568	17.5	11.0	2255
2008	11.8	4.9	1100	1079	13.5	5.1	1160
2009	30.8	5.9	1027	1222	33.3	7.8	1353

RWZI bij Marum

Even verder stroomafwaarts naar het noordoosten wordt ook op het Oude Diep geloosd door de RWZI Marum. Deze is in 1979 in werking getreden. Het debiet van het effluent bedraagt gemiddeld ruim 2100 m^3/d en wordt gekenmerkt door hoge concentraties totaal-stikstof, al zijn deze sinds 2004 ongeveer gehalveerd door een aanpassing aan de zuivering (zie tabel 2.3). Ook de concentraties totaal-fosfaat zijn sinds 2004 fors afgenomen. De concentraties chloride zijn beduidend lager – circa een factor 10 - dan die van de AWZI van Friesland Foods, maar nog steeds relatief hoog.

Tabel 2.3: Jaargemiddelde concentraties en vrachten van totaal-stikstof, totaal-fosfaat en chloride in het effluent van de RWZI Marum van 2001 t/m 2009.

RWZI Marum							
	Stikstof	Fosfaat	Chloride	Debiet	Stikstof	Fosfaat	Chloride
Jaar	Concentratie [mg/l]			[m^3/d]	Vracht [kg/d]		
2001	14.8	2.0	89	2284	32.3	4.5	191
2002	17.2	2.8	94	3147	53.6	8.8	287
2003	17.5	4.0	108	1899	32.2	7.0	194
2004	9.2	0.9	93	1892	16.8	1.9	164
2005	5.6	0.6	118	1694	9.8	1.1	199
2006	7.4	0.7	103	1950	14.3	1.3	187
2007	6.0	0.7	108	2177	13.0	1.5	210
2008	7.0	0.9	103	2026	14.0	1.6	191
2009	9.9	0.9	119	2255	22.5	2.1	242

Als we de vrachtcijfers van de tabellen 2.2 en 2.3 vergelijken zien we dat de AWZI van Friesland Foods beduidend meer fosfaat en chloride loost dan de RWZI Marum. Voor wat betreft totaal-stikstof is er gemiddeld geen prominent verschil.

RWZI bij Leek

Tenslotte bevindt zich ook bij Leek nog een RWZI, die loost op het Leeksterhoofddiep. Deze is in 1973 in bedrijf genomen voor het verwerken van afvalwater uit de kern Leek en een aantal omliggende kernen. Ook het afvalwater dat voorheen door RWZI De Wilp werd gezuiverd wordt sinds 2004 op de RWZI Leek verwerkt.

3 Voorbewerking ontvangen meetgegevens

3.1 Omvang van het ontvangen materiaal

We ontvingen van het waterschap een aantal spreadsheetbestanden met in totaal 62855 regels. Na toepassing van de in dit hoofdstuk beschreven voorbewerkingen resteerden 57509 meetwaarden, afkomstig van de 32 meetlocaties in het Dwarsdiepgebied. De meetwaarden vertegenwoordigen 1465 meetreeksen, die maximaal de periode 1978 tot medio 2009 omvatten, waarbij de meetgegevens van 1980 ontbreken. De 1465 meetreeksen betreffen 271 verschillende parameters.

3.2 Ongelijke meeteenheden

In twee gevallen bleek een parameter twee meeteenheden te hebben. Het betrof E. Coli dat was uitgedrukt in n/dl of n/ml en doorzicht dat was uitgedrukt in m of cm. De meetreeksen van E. Coli waren echter te kort voor statistische analyse, zodat er geen correctie van de meeteenheid nodig was. Voor wat betreft doorzicht zijn de meetwaarden uitgedrukt in m omgezet naar meetwaarden uitgedrukt in cm, door ze te vermenigvuldigen met 100.

3.3 Ongelijke waarden gemeten op zelfde tijdstip

In 194 gevallen bleek er in een meetreeks sprake van twee ongelijke waarden op hetzelfde tijdstip. Als beide waarden gecensureerd waren, hebben we gekozen we voor degene met de kleinste rapportagegrens, aangezien die dan blijkbaar de grootste precisie heeft. In de overige gevallen hebben we de twee waarden gemiddeld. Er waren geen gevallen van meer dan twee ongelijke waarden op hetzelfde tijdstip.

3.4 Afrondingsfouten

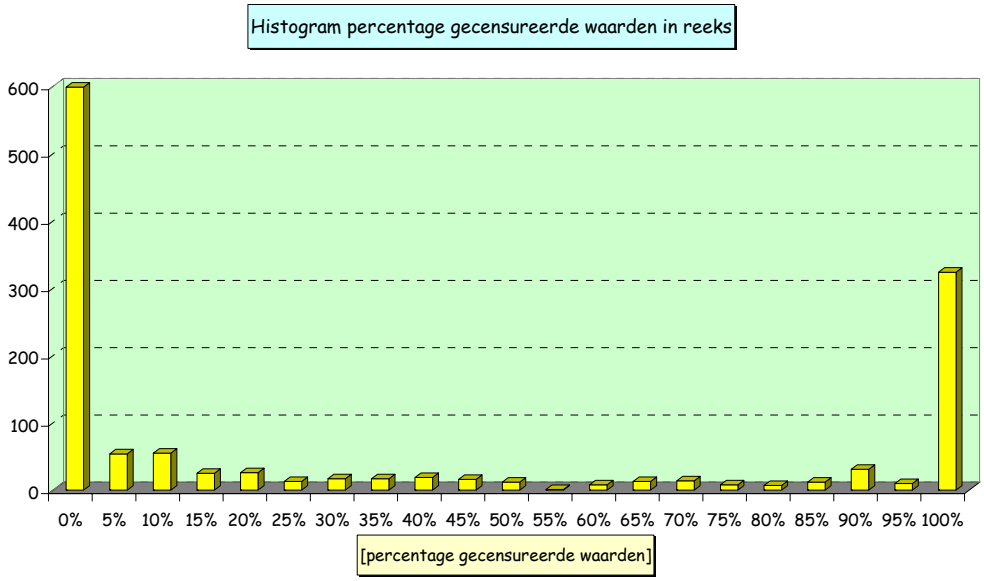
In een aantal gevallen bevatte de kolom *meetwaarde(n)* een meer afgeronde waarde dan de kolom *meetwaarde(a).* De waarde in de kolom *meetwaarde(n)* hebben we in deze gevallen vervangen door de waarde in de kolom *meetwaarde(a).*

3.5 Gecensureerde waarden

Van de 57509 meetwaarden zijn er 9318 gecensureerd, dat wil zeggen gerapporteerd als 'kleiner dan' een bepaalde rapportagegrens (zoals < 1 µg/l). Dit is ruim 16% van de meetwaarden.

Er zijn 1281 meetreeksen die minstens 5 meetwaarden bevatten. Slechts 599 van deze meetreeksen bevatten geen gecensureerde waarden (zie figuur 3.1). Meer dan de helft van de meetreeksen (682) met minstens 5 meetwaarden bevat gecensureerde waarden. Daarvan zijn er 324 die meer dan 95% gecensureerde meetwaarden bevatten. Er zijn zelfs 302 meetreeksen met minstens 5 meetwaarden die alleen maar gecensureerde meetwaarden bevatten.

Figuur 3.1: Histogram van het percentage gecensureerde waarden in een reeks. Hiervoor zijn alleen de 1281 meetreeksen beschouwd die minstens 5 meetwaarden bevatten.



Hoe omgaan met gcensureerde waarden?
Er zijn verschillende procedures mogelijk om het schadelijke effect van gecensureerde waarden op de resultaten van statistische analyses enigszins te verzachten. Maar de geschiktheid van een dergelijke procedure zal variëren, afhankelijk van het soort statistische analyse, het aantal meetwaarden, het percentage gecensureerde waarden, het aantal rapportagegrenzen, de relatieve hoogtes van die rapportagegrenzen ten opzichte van de meetwaarden boven de rapportagegrenzen en het soort kansverdeling waar de meetwaarden uit afkomstig zijn (zie bijvoorbeeld [Helsel and Hirsch, 1992]).
De enige procedure die bevredigende resultaten oplevert bij álle soorten statistische analyses en álle soorten gecensureerde datasets, is het opheffen van de censuur, wat betekent dat alle gecensureerde waarden worden vervangen door de ongecensureerde meetwaarden. Maar die laatste zijn hier helaas niet beschikbaar. Uit praktische overwegingen hebben wij bij dit onderzoek daarom gekozen voor de volgende tweeledige aanpak:

1. Elke gecensureerde waarde is vervangen door de helft van de rapportagegrens. Deze substitutiemethode is internationaal gezien vermoedelijk de meest gebruikte voorbewerking van gecensureerde gegevens, aangezien die bij elke soort statistische analyse kan worden gebruikt. Deze benadering heeft ook geen nadelige invloed op de precisie van de robuuste statistische kengetallen waarmee we de meetreeksen van meetlocaties vergelijken (zie hoofdstuk 6). Uit simulatiestudies is wel gebleken dat er procedures zijn waarmee soms betere schattingen van het gemiddelde en de standaardafwijking kunnen worden verkregen dan met deze substitutiemethode, zoals extrapolatie van de niet-gecensureerde data, of het gebruik van maximale aannemelijkheidsschatters, maar in deze studie gebruiken we het gemiddelde en de standaardafwijking niet om de meetreeksen te vergelijken, aangezien dat geen robuuste kengetallen zijn.
2. Voor het statistische toetsen op een verschil tussen de meetreeksen van twee meetlocaties is een verdelingsvrije methode gehanteerd. Dergelijke methoden zijn zeer robuust te achten tegen gecensureerde waarden.

In de database van Noorderzijlvest hebben gecensureerde waarden in het veld *Meetwaarde(n)* een waarde gelijk aan de helft van de betreffende rapportagegrens, die is vermeld in het veld *Meetwaarde(a)*. Maar bij de overdracht van de gegevens zijn er afrondingsfouten geïntroduceerd, waarbij in 9369 gevallen gecensureerde waarden in het veld *Meetwaarde(n)*

niet meer werden weergegeven als de helft van de rapportagegrens, maar als nul, als de rapportagegrens, of zelfs als een waarde boven de rapportagegrens.
In overleg met het waterschap hebben wij voor alle gevallen dat er duidelijk sprake was van censuur – dit is op te maken uit het vermelden van een rapportagegrens in het veld *Meetwaarde(a)* – de waarde in het veld *Meetwaarde(n)* gesteld op de helft van de rapportagegrens.

In 3090 gevallen was er sprake van een meetwaarde gelijk aan nul in de kolom *meetwaarde(n)*, zonder dat in de kolom *meetwaarde(a)* is vermeld dat het een gecensureerde waarde betrof. In een aantal van deze gevallen bevatte de kolom *meetwaarde(a)* echter een waarde groter dan nul, zodat we de nulwaarde in de kolom *meetwaarde(n)* konden vervangen met de waarde in de kolom *meetwaarde(a)*. Voor wat betreft de overige gevallen hebben wij indien mogelijk de nulwaarde op de helft gezet van de maximale rapportagegrens van de betreffende meetreeks. Dit bleek mogelijk in 2293 gevallen. In de overige gevallen bevatte de betreffende meetreeks geen rapportagegrens en hebben we de nulwaarde intact moeten laten.

3.6 Samenstellen reeksen totaal stikstof

De ons geleverde meetreeksen van totaal-stikstof (N) bleken korter te zijn dan de meetreeksen van nitraat, nitriet en Kjeldahl-stikstof, de parameters waaruit totaal-stikstof wordt berekend. Daarom hebben we zelf meetreeksen van totaal-stikstof berekend als de som van nitraat, nitriet en Kjeldahl-stikstof. De zo berekende waarden bleken een grotere precisie te hebben dan de ons geleverde waarden, doordat die laatste blijkbaar afgerond waren. We hebben vervolgens alle geleverde meetreeksen van totaal-stikstof vervangen door de langere, zelf berekende meetreeksen.

3.7 Uitschieters

Uitschieters zijn meetwaarden die duidelijk afwijken van de andere meetwaarden. Ze kunnen zijn veroorzaakt door:

1. bemonsterings- of meetfouten en/of transcriptiefouten (fouten bij het schrijven en/of typen), of
2. een extreme situatie.

Bij voorkeur dienen meetwaarden veroorzaakt door fouten uiteraard niet meegenomen te worden bij statistische analyses. Maar het vergt detailkennis van alle handelingen die tot een meetwaarde hebben geleid om objectief vast te kunnen stellen of er sprake is van een foute meetwaarde of van een meetwaarde die een extreme situatie weergeeft. Bij het ontbreken van deze detailkennis – en dit zal meer regel dan uitzondering zijn - is er dan ook geen enkele objectieve rechtvaardiging voor het verwijderen van uitschieters en moet dit achterwege blijven.

Wij hebben getracht het mogelijk schadelijke effect van uitschieters op onze bevindingen zoveel mogelijk te verzachten, door waar mogelijk gebruik te maken van kengetallen en statistische toetsen die robuust zijn tegen uitschieters.

3.8 Meetdichtheid

Om de informatieinhoud van het beschikbaar gestelde materiaal duidelijk zichtbaar te maken hebben we een meetdichtheidsmatrix vervaardigd, die per combinatie van meetlocatie, parameter en jaar het aantal meetwaarden geeft. Onderstaande tabel 3.1 toont een

deel van deze matrix. De gehele matrix is te groot voor weergave en is daarom opgenomen in de digitale bijlage van dit rapport.

Tabel 3.1: Deel van de meetdichtheidsmatrix. Per cel is het aantal meetwaarden van dat jaar vermeld. Als dat aantal meer dan nul is, is de cel gekleurd (geel bij 1 t/m 6/jaar, groen bij 7 t/m 15/jaar en blauw bij > 15/jaar).

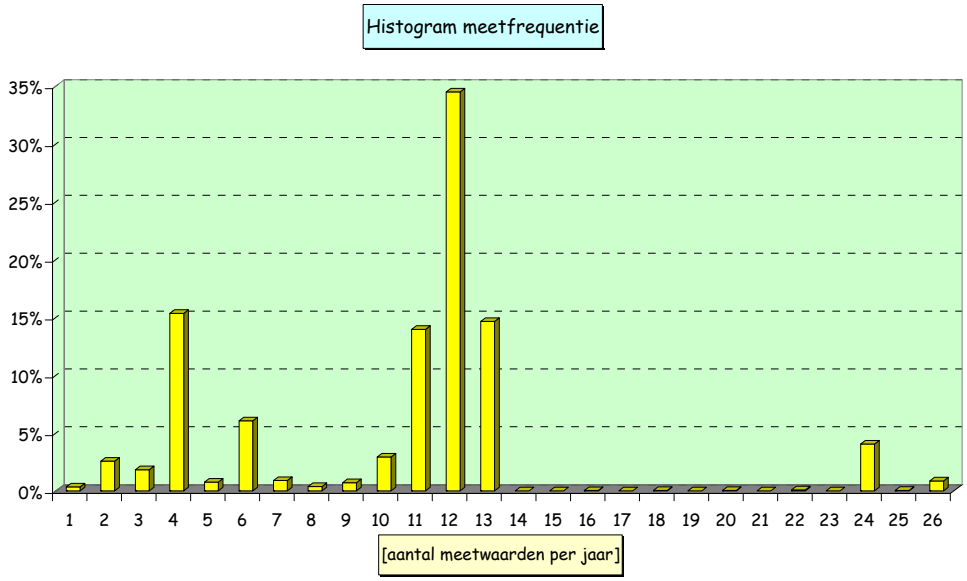
Meetlocatie	Parameter	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4109	Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4109	N	4	11	0	12	12	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	26	0	0	0	24	0	0	24	0	0	12	24	24	0	24	12
4109	Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
4109	NH3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	NH4	4	11	0	13	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	NKj	4	11	0	13	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	NO2	4	11	0	12	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	NO3	4	11	0	12	12	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	O2*	4	11	0	13	13	13	13	11	11	0	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	10	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	P	4	11	0	13	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	pH	4	11	0	13	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	11	0	0	0	11	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	PO4	4	11	0	12	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	SO4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
4109	T	4	11	0	13	13	13	13	12	11	0	0	0	7	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4109	ZICHT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	6	12	12	0	12	6
4112	Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4112	BZV5	4	11	0	13	13	12	13	9	11	0	0	0	6	0	0	0	12	0	0	0	12	0	0	12	0	0	0	12	0	0	12	6
4112	Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	2
4112	CHLFa	4	10	0	11	12	12	11	7	6	0	0	0	3	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	6	0	0	0	6	0	0	6	3
4112	Cl	4	11	0	13	13	12	13	9	11	0	0	0	6	0	0	0	13	0	0	0	12	0	0	12	0	0	0	12	0	0	12	6

De belangrijkste conclusies die we uit de meetdichtheidsmatrix kunnen trekken zijn de volgende:

- Alleen meetlocatie 5106 (Leeksterhoofddiep, kade van Leek) is vrijwel ononderbroken bemeten over lange perioden, soms zelfs vanaf 1978 en vaak vanaf 1986. Dit was tot 2006 het enige hoofdmeetpunt in het Dwarsdiepgebied, daarna zijn de meetpunten 4113 (Hoendiep) en 4133 (Enumatilster Matsloot) ook hoofdmeetpunten geworden. Op de hoofdmeetpunten wordt gemeten op een zeer breed parameterpakket.
- De meetlocaties 4062 (camping De Akkerhoeve te Niebert) en 6047 (Strandheem Opende) zijn vanaf 2000 vrijwel ononderbroken bemeten. Het betreft zwemwaterlocaties, met een specifiek daarop gericht parameterpakket.
- Ook enkele andere meetlocaties zijn vrijwel ononderbroken bemeten, maar dan over relatief korte perioden, zoals vijf of zes jaar.
- De overige meetlocaties – nog steeds het merendeel - zijn over tenminste delen van de periode alternerend bemeten, waarbij een jaar met metingen wordt gevolgd door twee of drie jaar zonder metingen. Deze maken blijkbaar deel uit van een roulerend meetnet.
- De meest gehanteerde meetfrequentie is eens per maand (of daaromtrent[2]), namelijk 66% (zie figuur 3.2). Daarop volgen eens per kwartaal (15%), eens per twee maanden (6%), eens per halve maand (4%) en eens per half jaar (3%). De hoogste meetfrequentie bedroeg eens per twee weken, maar deze is slechts in 1% van de gevallen toegepast.

[2] 10, 11, 12 of 13 metingen per jaar.

Figuur 3.2: Histogram van de jaarlijkse meetfrequentie over alle bemeten jaren vanaf 1978 voor de 32 meetlocaties in het Dwarsdiepgebied.



4 Invloeden op waterkwaliteit

Dit hoofdstuk beschouwt in welke mate de oppervlaktewaterkwaliteit van het Dwarsdiep beïnvloed is door verschillende invloedsfactoren. De analyse beperkt zich tot stikstof, fosfaat, chloride en enkele andere voldoende bemeten parameters.

4.1 Mogelijke invloeden op oppervlaktewaterkwaliteit

Uit de gebiedsbeschrijving (zie hoofdstuk 2) volgen minstens de volgende mogelijke invloeden op de oppervlaktewaterkwaliteit van het Dwarsdiepgebied:

1. Diffuse bronnen die samenhangen met landbouw en leiden tot een belasting met nutriënten en bestrijdingsmiddelen.
2. Lozingen van industrieel afvalwater en rioolwater (zie ook § 2.3). Bij Marum lozen zowel een AWZI als een RWZI op het Oude Diep. Verder loost er bij Leek een RWZI op het Leeksterhoofddiep.
3. Brak kwelwater in polder De Dijken.
4. Zoet kwelwater in polder Oude Riet.
5. Zomerse aanvoer van gebiedsvreemd water om de waterpeilen te kunnen handhaven.
6. Overstorten en oppervlakkige afspoeling in bebouwde gebieden, met lokaal en tijdelijk een beperkte belasting van nutriënten, zware metalen en bestrijdingsmiddelen.

4.2 Gevolgde aanpak

Een handzame manier om objectief vast te kunnen stellen of en in hoeverre de concentratie van een bepaalde parameter op een bepaalde meetlocatie gerelateerd is aan een bepaalde invloedsfactor, is het toepassen van tijdreeksanalyse. Maar om daarbij tot bruikbare conclusies te kunnen komen, dient te worden voldaan aan de volgende voorwaarden:

1. De betreffende concentratie is voldoende frequent bemeten over een voldoende lange periode. De ervaring heeft ons geleerd dat in het geval van oppervlaktewaterkwaliteit de meetfrequentie minstens maandelijks dient te zijn en de meetreeks minstens 5 jaar lang en ononderbroken dient te zijn.
2. Van de invloedsfactor is een meetreeks beschikbaar met minimaal dezelfde meetfrequentie en lengte als de meetreeks van de concentratie. Als de invloedsfactor niet is bemeten, kan nog worden overwogen of deze bij de tijdreeksanalyse kan worden betrokken als een zogenaamde [0,1]-variabele (ook wel aangeduid als dummy-variabele), die de waarde nul heeft als de invloedsfactor niet werkzaam is en de waarde 1 als deze wél werkzaam is.
3. De invloedsfactor heeft over de beschouwde periode een verandering ondergaan, zodat bij de tijdreeksanalyse kan worden nagegaan of deze verandering al of niet is terug te vinden in de meetreeks van de concentratie.

Voor wat betreft de zes meetlocaties in de hoofdwaterloop (6143, 6144, 4109, 4112, 4133 en 4113) zijn slechts in enkele gevallen aaneengesloten meetreeksen van minstens vijf jaar op minstens maandbasis beschikbaar. Het betreft dan echter de periode van 1981 t/m 1986, die niet meer representatief kan worden geacht voor de huidige situatie. Bovendien zijn er over die periode geen meetreeksen beschikbaar van de mogelijke invloedsfactoren en hebben deze voorzover bekend ook geen veranderingen ondergaan, zodat ze niet zijn te generaliseren tot [0,1]-variabelen. Wij constateren daarom dat de beschikbaarheid en de kwaliteit van de betreffende meetreeksen van de oppervlaktewaterkwaliteit en de mogelijke invloedsfactoren niet voldoen aan de eisen voor een verantwoorde tijdreeksanalyse.
In plaats daarvan hebben we een alternatieve, deels beschrijvende en deels toetsende gegevensanalyse uitgevoerd, om vast te kunnen stellen in welke mate de oppervlaktewater-

kwaliteit van het Dwarsdiep beïnvloed is door verschillende invloedsfactoren. Deze gegevensanalyse omvatte de volgende onderdelen:

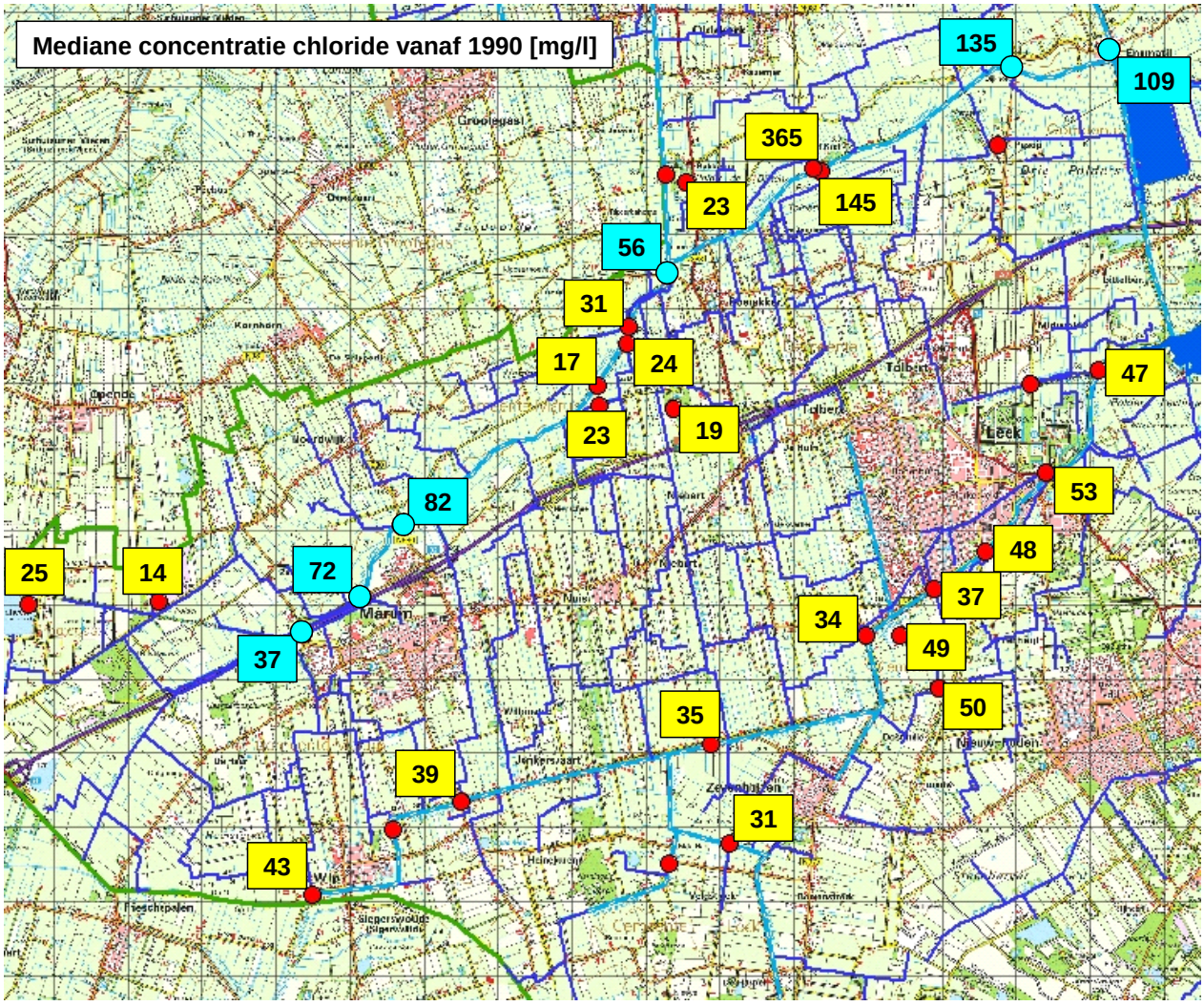
- ✓ beschrijvende analyse van chloride, totaal-stikstof en totaal-fosfaat (§ 4.3)
- ✓ statistische toetsing om objectief na te gaan of en hoe de waterkwaliteit van de hoofdwaterloop stroomafwaarts verandert (§ 4.4)

4.3 Beschrijvende analyse van chloride, totaal-stikstof en totaal-fosfaat

4.3.1 Beschrijvende analyse van chloride

Om een indruk te kunnen krijgen van de ruimtelijke verdeling van chloride, hebben we op een kaart per meetpunt de mediane chlorideconcentratie van de periode 1990 t/m medio 2009 vermeld (zie figuur 4.1).

Figuur 4.1: Kaart van de mediane concentratie chloride van de periode 1990 t/m medio 2009 (in mg/l). De resultaten voor de hoofdwaterloop zijn blauw gekleurd.



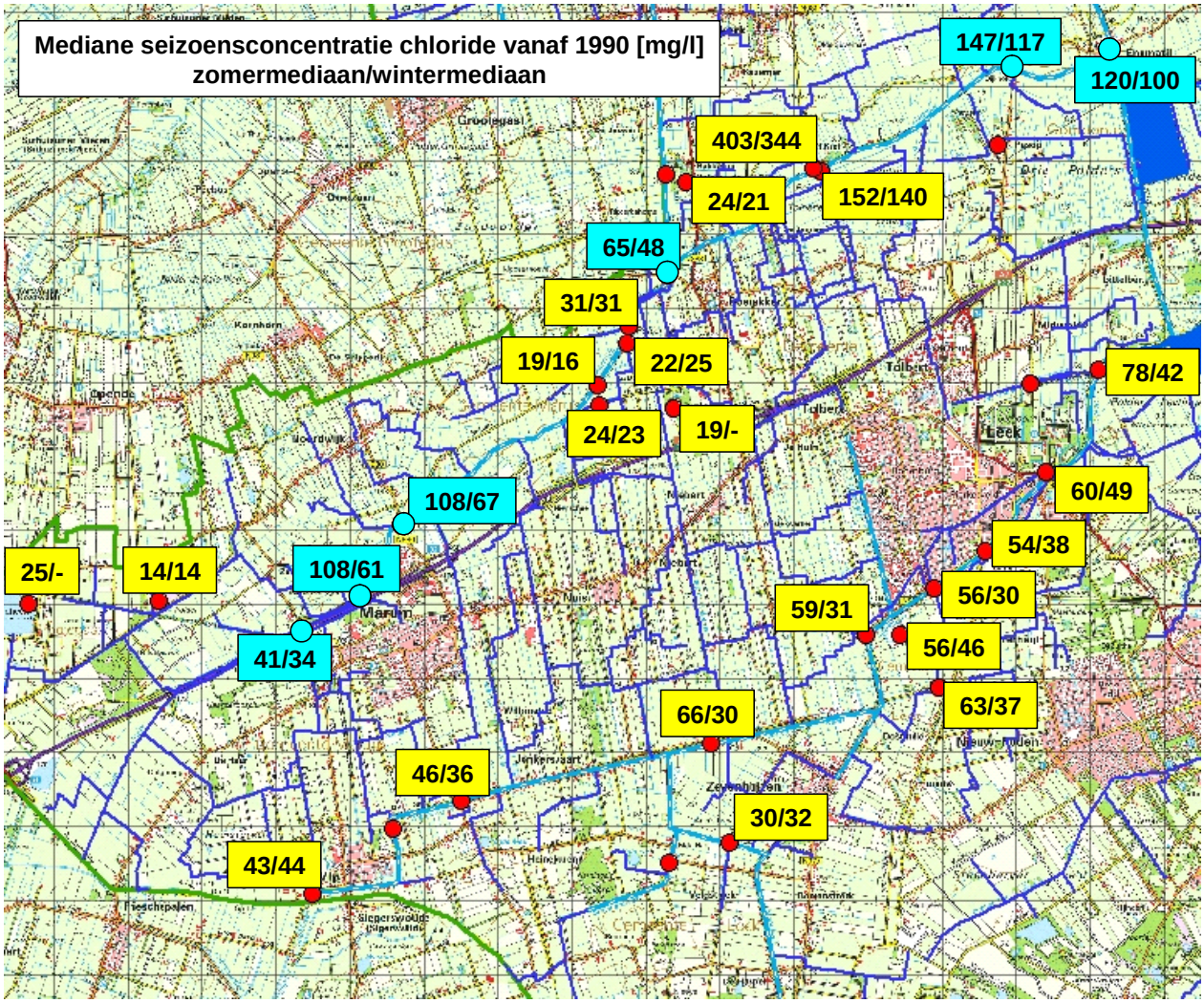
Op basis van figuur 4.1 kunnen we het volgende constateren over de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater in het Dwarsdiepgebied:

- o De mediane chlorideconcentratie van de min of meer geïsoleerde locaties bedraagt hooguit 25 mg/l.
- o De mediane chlorideconcentratie van de polder Oude Riet, waar zoete kwel optreedt, bedraagt circa 25 mg/l.

- De mediane chlorideconcentratie van Leeksterhoofddiep, Jonkervaart en Wilpstervaart is relatief hoog, met waarden tussen 35 en 55 mg/l.
- De mediane chlorideconcentratie van polder De Dijken, waar brakke kwel optreedt, is zeer hoog, meer dan 350 mg/l.
- Ook in de polder Tolberter Petten, net ten zuidoosten van polder De Dijken, treedt een hoge mediane chlorideconcentratie op (145 mg/l). Vermoedelijk is daar ook nog enige sprake van brakke kwel.
- De hoofdwaterloop begint in het zuidwesten met een mediane concentratie van 37 mg/l. Bij Marum neemt de mediane concentratie toe tot 82 mg/l door de lozingen van de AWZI en de RWZI. In het traject daarna is er eerst nog een afname tot 56 mg/l door aanvoer van water met veel lagere chlorideconcentraties, maar verder naar het noordoosten is er een flinke stijging tot 135 mg/l. Deze zal worden veroorzaakt door de brakke afvoer van de polders De Dijken en Tolberter Petten. In het laatste stuk is er tenslotte nog een geringe afname tot 109 mg/l.

Om na te kunnen gaan of er nog duidelijke seizoenseffecten zijn op de concentratie chloride, hebben we op een kaart per meetpunt de zomermediane en wintermediane chlorideconcentratie van de periode 1990 t/m medio 2009 vermeld (zie figuur 4.2).

Figuur 4.2: Kaart van de zomermediane en wintermediane chlorideconcentratie van de periode 1990 t/m medio 2009 (in mg/l). De resultaten voor de hoofdwaterloop zijn blauw gekleurd.



Uit figuur 4.2 blijkt dat er duidelijke seizoenseffecten zijn op de concentratie chloride van de hoofdwaterloop, het Leeksterhoofddiep en de Jonkersvaart en op de concentratie chloride van de afvoeren van de polders De Dijken en Tolberter Petten, waarbij de mediane zomerconcentratie duidelijk hoger is dan de mediane winterconcentratie. Waarschijnlijk speelt daarbij een belangrijke rol dat er 's zomers minder afvoer is, doordat er minder neerslagoverschot is door de toegenomen verdamping. Bij min of meer gelijkblijvende chloridebelasting zal de concentratie dan afnemen. Voor wat betreft het Leeksterhoofddiep en de Jonkersvaart is het echter ook mogelijk dat de mediane zomerconcentratie hoger is doordat er dan aanvoer is van water uit het Leekstermeer, waar de concentratie chloride soms tot zelfs circa 125 mg/l kan oplopen.

4.3.2 *Beschrijvende analyse van totaal-stikstof*

Om een indruk te kunnen krijgen van de ruimtelijke en temporele verdeling van totaal-stikstof, hebben we in tabel 4.1 voor elk meetpunt de zomergemiddelde concentratie vermeld voor elk jaar vanaf 1990.

Tabel 4.1: Zomergemiddelde (april t/m september) concentratie totaal-stikstof (in mg/l) vanaf 1990.

Meetlocatie	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
6143	2.97				4.44				6.05		2.88	3.19			2.37			2.88	2.07
6144	7.57				5.07				7.53		4.64	5.22			10.07			4.08	2.93
4109	4.70				5.97				7.45			6.57			7.51	3.95	4.05		2.82
4112	4.76				5.23				6.03			4.34				2.99			2.31
4133	2.70				3.67				4.88			3.06				3.03		2.45	1.98
4113	2.94				3.93				4.98			3.38				2.62	2.99	3.33	2.25
4163					2.30				3.87			3.14				1.94			1.86
4138												3.05							
4507												3.34				7.24			
4167					2.11				2.77			1.89				2.88		2.84	
4166					1.94				3.39			1.49				2.05			
4132	3.79																		
6145	5.71				6.28				9.73		5.26				4.06				
6146	6.01																		
6108	2.85				6.28				5.44		4.86				4.07			4.45	
6109																	4.54	5.09	4.49
6171									8.07		7.37				4.13			6.05	4.31
6175															2.64	3.00	4.89	3.21	2.44
6172									15.66		7.71				4.71			5.64	3.02
5106	3.55	8.34	4.17	5.19	4.47	6.52	5.11	6.91	7.33	4.66	5.48	5.33	6.28	4.72	3.93	3.59	4.40	4.11	3.47
5109																			2.94
4504												1.25				0.78			
4162					1.08				1.58			1.07				1.37			1.06
6047											2.32	2.31	2.27	2.16	2.38	2.46	2.59	2.34	2.41
6142	8.20				2.63				2.84			1.20				1.17			
4505												1.96				1.52			
4062											1.32	1.39	1.19	1.10	1.29	1.27	1.69	0.99	1.16
6130	4.31																		
6129	3.59				5.31				7.58		3.39				3.92			3.63	
6176															11.11	4.87	2.93	2.73	2.24
6177															3.91	3.21	5.72	3.47	3.96
5131	3.40																		

De kleuren in de tabel geven aan of het zomergemiddelde al of niet voldoet aan de MTR-norm van 2,2 mg/l:
groen: voldoet aan norm
geel: boven norm maar onder tweemaal de norm
oranje: boven tweemaal de norm

Om de ruimtelijke interpretatie te vergemakkelijken, zijn de meetlocaties in bovenstaande tabel via kleuren ingedeeld in de volgende 5 groepen:
blauw: hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep)
lichtgroen: afvoer naar hoofdwaterloop
lichtgeel: meetlocaties in Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart
lichtblauw: afvoer polder Oude Riet naar hoofdwaterloop
grijs: overige meetlocaties, soms enigszins geïsoleerd

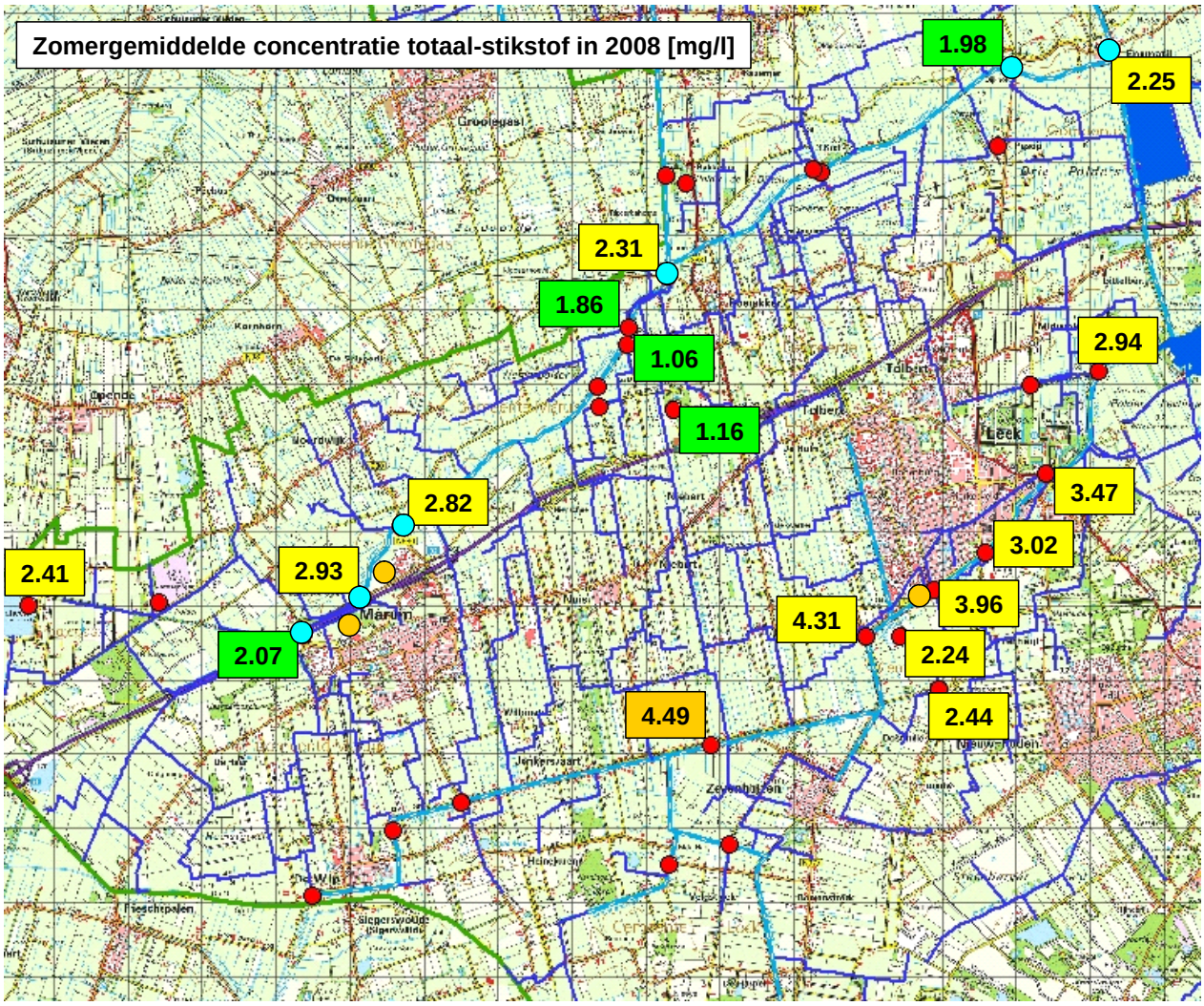
De volgende hoofdlijnen komen naar voren uit tabel 4.1:

- Op een aantal punten is de waterkwaliteit voor wat betreft totaal-stikstof verbeterd (zie hiervoor verder hoofdstuk 5).

- In de hoofdwaterloop is de invloed van de lozing van de AWZI bij Marum – tussen de meetpunten 6143 en 6144 – duidelijk waar te nemen.
- Dit geldt echter niet voor de lozing van de RWZI bij Marum, tussen de meetpunten 6144 en 4109 (zie ook § 4.4.2).
- Na 2004 komen er in de hoofdwaterloop geen overschrijdingen meer voor van tweemaal de MTR-norm, terwijl deze eerder nog regelmatig optraden.
- De waterkwaliteit van Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart is slecht voor wat betreft totaal-stikstof, met altijd overschrijdingen van de MTR-norm en regelmatig zelfs overschrijdingen van tweemaal de MTR-norm. Dit zal samenhangen met de landbouw in deze omgeving, maar mogelijk speelt ook een rol dat het hier 's zomers aangevoerde water uit het Leekstermeer veel nutriënten bevat.
- De waterkwaliteit van polder Oude Riet is goed voor wat betreft totaal-stikstof. Er treden geen overschrijdingen op van de MTR-norm. Blijkbaar is het daar opkwellende grondwater niet belast met stikstof.

Het ruimtelijk beeld voor het jaar 2008 is apart weergegeven in figuur 4.3.

Figuur 4.3: Kaart van zomergemiddelde concentratie totaal-stikstof in 2008 (in mg/l). Groen: voldoet aan MTR-norm, geel: boven MTR-norm maar onder tweemaal de MTR-norm, oranje: boven tweemaal de MTR-norm.



In 2008 is op 18 meetlocaties totaal-stikstof gemeten. Op 5 meetlocaties (27,8%) vertoont de zomergemiddelde concentratie geen overschrijding van de MTR-norm, maar op de overi-

ge 13 meetlocaties (72,2%) wordt de norm wél overschreden. Op 12 meetlocaties (66,7%) bedraagt de overschrijding niet meer dan tweemaal de MTR-norm, terwijl deze op 1 meetlocatie (5,6%) meer dan tweemaal de MTR-norm bedraagt. Dit laatste betreft de meetlocatie 6109, in de Jonkersvaart.

4.3.3 *Beschrijvende analyse van totaal-fosfaat*

Om ook een indruk te kunnen krijgen van de ruimtelijke en temporele verdeling van totaal-fosfaat, hebben we in tabel 4.2 voor elk meetpunt de zomergemiddelde concentratie vermeld voor elk jaar vanaf 1990.

Tabel 4.2: Zomergemiddelde (april t/m september) concentratie totaal-fosfaat (in mg/l) vanaf 1990.

Meetlocatie	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
6143	0.28				0.21				0.53		0.15	0.16			0.17			0.21	0.11
6144	2.17				0.64				0.73		0.89	0.52			0.83			0.78	0.47
4109	1.97				0.62				0.82			0.83			0.71	0.62	0.63		0.52
4112	0.72				0.41				0.64			0.34				0.34			0.26
4133	0.21				0.17				0.33			0.17				0.21		0.19	0.13
4113	0.26				0.23				0.35			0.19				0.21	0.24	0.23	0.16
4163					0.11				0.29			0.21				0.15			0.15
4138												0.30							
4507												0.20				0.43			
4167					0.10				0.18			0.08				0.20		0.21	
4166					0.17				0.38			0.09				0.15			
4132	0.40																		
6145	1.17				0.87				1.20		0.44				0.68				
6146	1.17																		
6108	0.53				0.57				0.66		0.36				0.50			0.41	
6109																	0.37	0.34	0.28
6171									0.80		0.61				0.41			0.52	0.35
6175															0.47	0.40	0.52	0.54	0.32
6172									5.55		0.52				0.51			0.69	0.24
5106	0.46	0.53	0.62	0.43	0.39	0.33	0.40	0.39	0.73	0.60	0.38	0.52	0.64	0.56	0.44	0.34	0.35	0.35	0.25
5109																			0.23
4504												0.10				0.06			
4162					0.11				0.13			0.08				0.17			0.12
6047											0.07	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.05	0.04
6142	1.27				0.12				0.16			0.03				0.08			
4505												0.61				0.27			
4062											0.08	0.04	0.05	0.03	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04
6130	0.49																		
6129	0.39				0.35				0.51		0.34				0.25			0.32	
6176															1.76	0.67	0.21	0.26	0.15
6177															0.33	0.48	0.49	0.19	0.37
5131	0.28																		

De kleuren in de tabel geven aan of het zomergemiddelde al of niet voldoet aan de MTR-norm van 0,15 mg/l:
groen: onder norm
geel: boven norm maar onder tweemaal de norm
oranje: boven tweemaal de norm

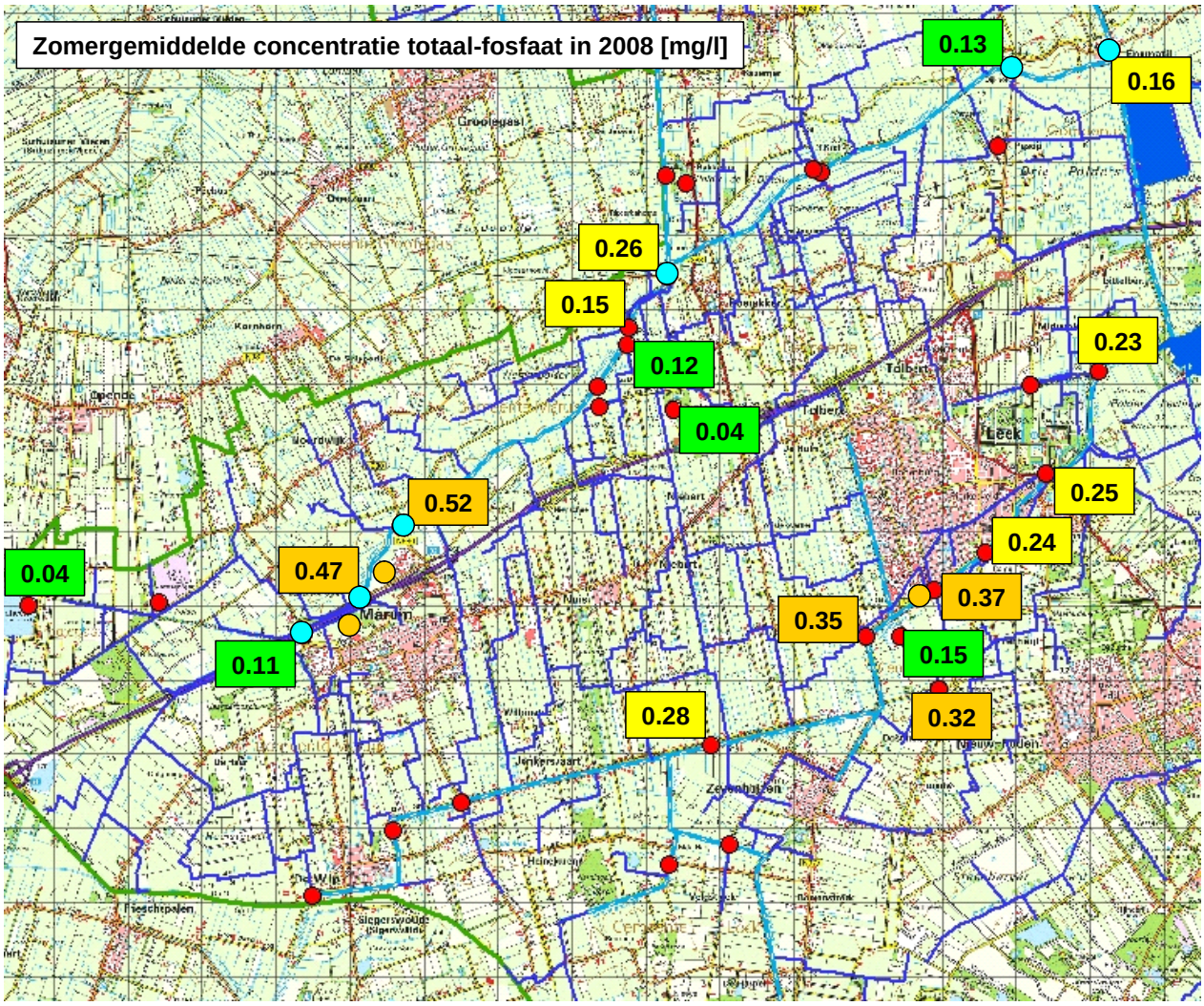
Om de ruimtelijke interpretatie te vergemakkelijken, zijn de meetlocaties in bovenstaande tabel via kleuren ingedeeld in de volgende 5 groepen:
blauw: hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep)
lichtgroen: afvoer naar hoofdwaterloop
lichtgeel: meetlocaties in Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart
lichtblauw: afvoer polder Oude Riet naar hoofdwaterloop
grijs: overige meetlocaties, soms enigszins geïsoleerd

De hoofdlijnen die naar voren komen uit tabel 4.2 lijken op wat we in § 4.3.2 al constateerden voor totaal-stikstof:

- Op een aantal punten is de waterkwaliteit voor wat betreft totaal-fosfaat verbeterd (zie hiervoor verder hoofdstuk 5)
- In de hoofdwaterloop is de invloed van de lozing van de AWZI bij Marum – tussen de meetpunten 6143 en 6144 – duidelijk waar te nemen.
- Dit geldt echter nauwelijks voor de lozing van de RWZI bij Marum, tussen de meetpunten 6144 en 4109 (zie ook § 4.4.2).
- De waterkwaliteit van Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart is slecht voor wat betreft totaal-fosfaat, met meestal overschrijdingen van tweemaal de MTR-norm. Dit zal samenhangen met de landbouw in deze omgeving en mogelijk ook met het 's zomers aangevoerde nutriëntrijke water uit het Leekstermeer.
- De waterkwaliteit van polder Oude Riet is redelijk tot goed voor wat betreft totaal-fosfaat. Er treden meestal geen overschrijdingen op van de MTR-norm.

Het ruimtelijk beeld voor het jaar 2008 is apart weergegeven in figuur 4.4.

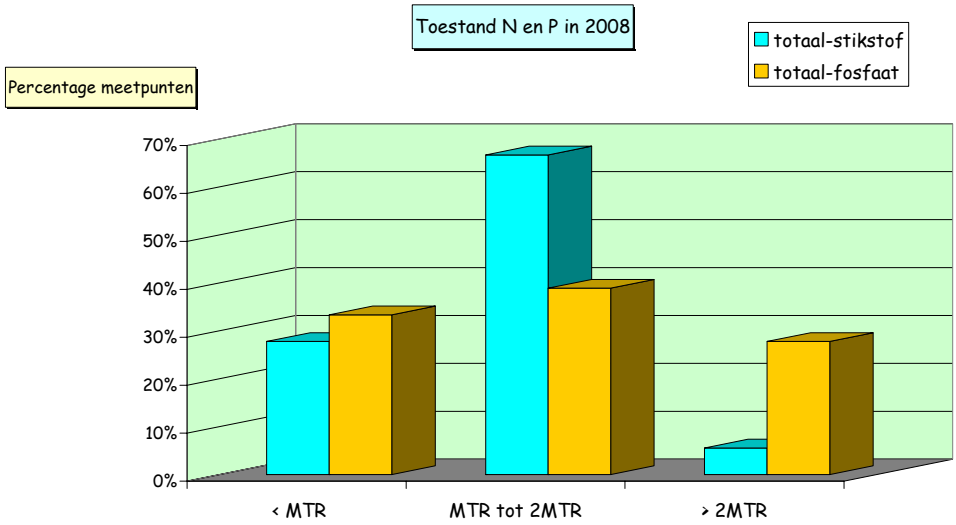
Figuur 4.4: Kaart van de zomergemiddelde concentratie totaal-fosfaat in 2008 (in mg/l). Groen: voldoet aan MTR-norm, geel: boven MTR-norm maar onder tweemaal de MTR-norm, oranje: boven tweemaal de MTR-norm.



In 2008 is op 18 meetlocaties totaal-fosfaat gemeten. Op 6 meetlocaties (33,3%) vertoont de zomergemiddelde concentratie geen overschrijding van de MTR-norm, maar op de overige 12 meetlocaties (66,7%) wordt de norm wél overschreden. Op 7 meetlocaties (38,9%) bedraagt de overschrijding niet meer dan tweemaal de MTR-norm, terwijl deze op 5 meetlocaties (27,8%) meer dan tweemaal de MTR-norm bedraagt. Op 3 van deze 5 meetlocaties zal dit vooral veroorzaakt zijn door de lozing van AWZI en/of RWZI, namelijk de meetlocaties 6144 (Oude Diep), 4109 (Dwarsdiep) en 6171 (Leeksterhoofddiep, wal Diepswal).

Figuur 4.5 toont een histogram van de toestand in 2008 ten opzichte van de MTR-norm, zowel voor totaal-stikstof als voor totaal-fosfaat.

Figuur 4.5: Histogram van percentage meetlocaties met zomergemiddelde concentratie in 2008 onder de MTR-norm, tussen één- en tweemaal de MTR-norm en meer dan tweemaal de MTR-norm, zowel voor totaal-stikstof als voor totaal-fosfaat.



We zien in figuur 4.5 dat het percentage meetpunten met overschrijdingen van de MTR-norm voor totaal-stikstof en totaal-fosfaat min of meer vergelijkbaar is. Maar bij totaal-fosfaat treden er meer grote normoverschrijdingen op dan bij totaal-stikstof.

4.4 Verandering kwaliteit hoofdwaterloop stroomafwaarts

Om objectief na te gaan of en hoe de waterkwaliteit van de hoofdwaterloop stroomafwaarts verandert, hebben we voor een aantal parameters statistische variantie-analyse toegepast, zonodig aangevuld met het paarsgewijs toetsen van opeenvolgende meetlocaties. In beide gevallen hebben we daarbij gekozen voor verdelingsvrije toetsen (zie onderstaand tekstkader voor onze argumenten daarvoor).

4.4.1 Gebruikte statistische toetsen

Om te toetsen of de concentratie van een bepaalde parameter in de lengterichting van de hoofdwaterloop verandert, hebben we de Friedman-toets gehanteerd. Deze toets is het verdelingsvrije equivalent van variantie-analyse met twee factoren. De eerste factor – de te toetsen factor - is in ons geval de meetlocatie en de tweede – de blokfactor - het meettijdstip. Door de blokfactor is het een gepaarde toets, die alleen de concentraties van de meetlocaties van hetzelfde meettijdstip vergelijkt. Deze paring vergroot het onderscheidend vermogen[3]. Aangezien de toets er van uitgaat dat de gehanteerde waarden van een meetlocatie geen autocorrelatie[4] vertonen, zijn wij uitgegaan van de kwartaalmedianen van de meetwaarden. We mogen er namelijk van uitgaan dat er op kwartaalbasis geen sprake meer is van autocorrelatie.

Verdelingsvrij of parametrisch toetsen?

Een verdelingsvrije toets kan worden toegepast ongeacht het soort kansverdeling waar de meetwaarden uit afkomstig zijn. Dit in tegenstelling tot de zogenaamde parametrische toetsen, zoals de t-toets, of de F-toets, die er van uitgaan dat de meetwaarden afkomstig zijn uit een specifiek soort kansverdeling (voor deze twee toetsen is dat bijvoorbeeld de normale kansverdeling).
Onze keuze om hier verdelingsvrije toetsen toe te passen is vooral ingegeven door de constatering dat de meetwaarden van de waterkwaliteit in veel gevallen afkomstig bleken uit scheve kansverdelingen. Een logaritmische transformatie kan soms bewerkstelligen dat de getransformeerde meetwaarden wél afkomstig zijn uit een normale kansverdeling, maar dat zal zeker niet voor alle betrokken meetreeksen gelden. We zouden alle meetreeksen eerst moeten toetsen op normaliteit (eventueel ook na logaritmische transformatie), om vervolgens parametrische toetsen te kunnen hanteren voor de gevallen dat de betrokken meetreeksen voldoen aan normaliteit en verdelingsvrije toetsen voor de overige gevallen. Aangezien dat een onevenredig grote inspanning zou vergen, die bovendien nauwelijks of geen extra rendement oplevert (zie hieronder), hebben wij ervoor gekozen in alle gevallen verdelingsvrij te toetsen.

Er leeft een hardnekkig misverstand dat een verdelingsvrije toets altijd minder onderscheidend vermogen oplevert dan een parametrische toets. Dit is namelijk alleen het geval als de meetwaarden afkomstig zijn uit het soort kansverdeling waar de parametrische toets van uitgaat. Het gebruik van de kennis over de achterliggende kansverdeling levert de parametrische toets dan immers voordeel op ten opzichte van de verdelingsvrije toets. Dit gaat echter niet meer op als de meetwaarden afkomstig zijn uit een anderssoortige kansverdeling dan verondersteld. Zo kunnen verdelingsvrije toetsen beduidend meer onderscheidend vermogen opleveren dan parametrische toetsen bij afwijkingen van normaliteit (zie bijvoorbeeld [Bradley, 1968], [Helsel and Hirsch, 1988] en [Helsel and Hirsch, 1992]). Zelfs al bij geringe afwijkingen van normaliteit zullen verdelingsvrije toetsen net zo goed of zelfs beter presteren dan parametrische toetsen, zoals ook aangetoond in simulatiestudies [Hirsch et al., 1991]. Maar kleine afwijkingen van normaliteit zijn slechts te detecteren met grote steekproeven, die zelden beschikbaar zijn. Deze overwegingen hebben er toe geleid dat het in het milieuonderzoek – waar veel scheve kansverdelingen voorkomen - al enige tijd zeer gebruikelijk is om verdelingsvrije statistische methoden te hanteren (zie bijvoorbeeld [Gilbert, 1987] en [Helsel and Hirsch, 1992]).

[3] Het onderscheidend vermogen van een statistische toets is de kans om met die toets de nulhypothese te verwerpen als de nulhypothese ook inderdaad niet geldt.
[4] Autocorrelatie is het verschijnsel dat opeenvolgende waarden in een tijdreeks doorgaans minder van elkaar verschillen dan waarden die op grotere tijdsintervallen van elkaar liggen.

We hebben met de Friedman-toets per parameter de nulhypothese getoetst dat de mediane concentraties van de zes meetlocaties van de hoofdwaterloop gelijk zijn, tegen de alternatieve hypothese dat de mediane concentraties van minstens twee meetlocaties verschillend zijn. Daarbij is het toetsrisico op 5% gesteld (de betrouwbaarheid van het toetsen is dan 95%).
Alleen als de nulhypothese van de Friedman-toets werd verworpen, hebben we aansluitend voor elk paar opeenvolgende meetlocaties getoetst op een verschil in concentratie. Door deze conditionele aanpak bleef het toetsrisico op het onterecht detecteren van een verandering in de lengterichting beperkt tot 5%. Want als de Friedman-toets geen verandering in de lengterichting aangeeft en we toch alle opeenvolgende meetlocaties paarsgewijs zouden toetsen, zou het risico op het onterecht detecteren van een verschil oplopen met het aantal toetsen (zie het onderstaand tekstkader).

Verhoogd toetsrisico bij meervoudig toetsen

Bij het uitvoeren van een statistische toets speelt α (alpha), het nog geaccepteerde risico op het onterecht verwerpen van de nulhypothese, een belangrijke rol. Dit risico wordt aangeduid als het significantieniveau van de toets (of ook wel het risico van de 1e soort) en de waarde 1-α wordt aangeduid als de betrouwbaarheid van de toets. Doorgaans wordt α ingesteld op 0,05 (5%), waarbij de betrouwbaarheid van de toets dus 0,95 (95%) bedraagt. Als de *p*-waarde van de toets kleiner is dan α, spreekt men van een statistisch significant toetsresultaat. Maar als er in dezelfde context meerdere toetsen worden uitgevoerd, elk met bijvoorbeeld α = 0,05, dan neemt het totale risico op onterechte significantie (α_{totaal}) toe, volgens:

$$\alpha_{totaal} = 1 - (1 - 0{,}05)^n$$

met *n* het aantal uitgevoerde toetsen. Als er bijvoorbeeld vier toetsen in dezelfde context worden uitgevoerd, dan bedraagt het totale risico op onterechte significantie 0,185 (18,5%).
Het is overigens niet zo dat het meervoudig toetsen de betrouwbaarheid van de individuele toetsen aantast. Het leidt er alleen toe dat over alle toetsen samen het risico op een onterechte significantie (dat wil zeggen één of meer) toeneemt.
Er zijn wel correcties beschikbaar, waarmee het totale toetsrisico kan worden gereduceerd tot het geaccepteerde niveau α. Een voorbeeld is de Bonferroni-correctie, deze houdt in dat bij elk van de *n* individuele toetsen het significantieniveau op α/n wordt ingesteld. Dit leidt ertoe dat α_{totaal} ongeveer gelijk wordt aan α. Dus als er vier toetsen in dezelfde context worden uitgevoerd, dan zal α_{totaal} ongeveer 0,05 bedragen, als bij elk van de vier toetsen het significantieniveau op 0,05/4 = 0,0125 wordt ingesteld.

Het corrigeren voor meervoudig toetsen is een controversieel onderwerp, aangezien het bij ongebreidelde toepassing kan leiden tot een zeer groot verlies aan onderscheidend vermogen. Er zijn bovendien geen eenduidige regels voor hoe ver men moet gaan met het corrigeren voor meervoudig toetsen. Er bestaan dan ook meerdere stromingen, met als extremen degenen die nooit corrigeren en degenen die een simultane correctie uitvoeren voor álle bij een onderzoek uitgevoerde toetsen, met doorgaans als consequentie een enorm verlies aan onderscheidend vermogen. Het niet corrigeren voor meervoudig toetsen is verdedigbaar als het effect van enkele onterechte significanties op de overkoepelende conclusies van het onderzoek verwaarloosbaar kan worden geacht. In principe zijn zelfs allerlei invullingen verdedigbaar, mits het aan de gebruiker van de informatie maar altijd duidelijk is welke toetsrisico's er spelen.

Om nog enig onderscheidend vermogen over te houden hanteren we bij dit onderdeel geen correctie voor het meervoudig toetsen (het paarsgewijs toetsen van de opeenvolgende meetlocaties).
Dit achten wij verdedigbaar, aangezien we het effect van enkele onterechte significante verschillen tussen meetlocaties op de algemene conclusies van dit onderdeel klein achten. Temeer daar we al een extra veiligheid hebben ingebouwd door alleen paarsgewijs te toetsen als de Friedman-toets heeft aangegeven dat de concentratie in de lengterichting verandert.

Om voor elke combinatie van opeenvolgende meetlocaties te toetsen op een verschil in concentratie hebben we de Wilcoxon-rangtekentoets gebruikt. Deze is op te vatten als het verdelingsvrije equivalent van de gepaarde t-toets (zie onderstaand tekstkader).

Toelichting op Wilcoxon-rangtekentoets

De Wilcoxon-rangtekentoets is verdelingsvrij en gaat dus niet uit van de vooronderstelling dat de waarden afkomstig zijn uit een normale kansverdeling. Bij gegevens over de oppervlaktewaterkwaliteit is er namelijk meestal geen sprake van normaliteit. Verder zal deze toets zelfs al bij geringe afwijkingen van normaliteit meer onderscheidend vermogen geven dan de gepaarde t-toets, die wél uitgaat van normaliteit. Een ander voordeel van het gebruiken van een verdelingsvrije toets is dat deze minder last heeft van gecensureerde waarden.

De toets veronderstelt daarentegen wél dat de verschilwaarden geen seizoenseffecten en/of autocorrelatie vertonen. Bij verschilreeksen zal dat eerder opgaan dan bij de daaraan ten grondslag liggende meetreeksen, doordat kleinschalige en grootschalige schommelingen en seizoenseffecten die eventueel aanwezig zijn in de twee meetreeksen, grotendeels zullen verdwijnen door het nemen van hun verschillen. Om de kans op autocorrelatie te minimaliseren, zijn we uitgegaan van de kwartaalmedianen van de meetwaarden, waarna per kwartaal het verschil tussen de twee kwartaalmedianen van de twee meetlocaties is berekend.

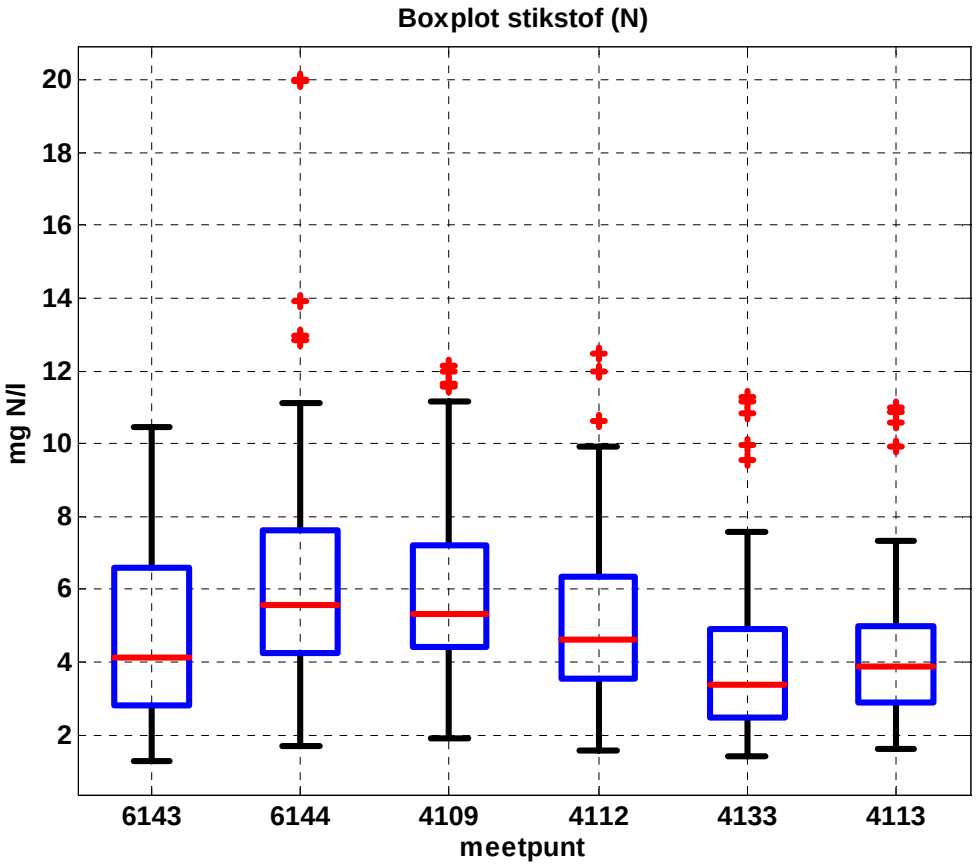
We hebben met de Wilcoxon-rangtekentoets de nulhypothese getoetst dat het mediane verschil van de twee meetlocaties nul is, tegen de alternatieve hypothese dat dit mediane verschil niet nul is. Ook voor deze toets is het toetsrisico op 5% gesteld.

4.4.2 Resultaten statistische toetsing

Ter verduidelijking lichten we de resultaten eerst toe voor totaal-stikstof en geven daarna een overzicht van de resultaten van alle beschouwde parameters.

Figuur 4.6 toont de boxplots van de meetwaarden van totaal-stikstof vanaf 1990 voor elk van de zes meetlocaties in de hoofdwaterloop.

Figuur 4.6: Boxplots van de meetwaarden van totaal-stikstof vanaf 1990 voor elk van de zes meetlocaties in de hoofdwaterloop. De meetlocaties zijn stroomafwaarts gerangschikt.



Toelichting op de boxplot

De boxplot, of ook wel box-whisker-plot[5] is een handzame manier om de kenmerken van een onderzochte populatie zo compact mogelijk grafisch samen te vatten. Het toont de posities van de belangrijkste percentielen van de populatie (kansverdeling) meetwaarden van de stof. Het middendeel, de 'box' (doos), loopt van het 25-percentiel naar het 75-percentiel, terwijl het 50-percentiel, oftewel de mediaan, is aangegeven als een dikke streep in de box. De 'whiskers' (snorharen) lopen van de box naar de uiteinden van de steekproef. Extreme meetwaarden in de steekproef zijn weergegeven als een '+' boven de bovenste whisker of onder de onderste whisker (die meetwaarde ligt dan meer 1,5 maal de boxlengte vanaf de box).

Nadat elk van de zes meetreeksen van totaal-stikstof is omgezet naar een meetreeks van kwartaalmedianen, is met de Friedman-toets de nulhypothese getoetst dat de mediane concentraties van de zes meetlocaties gelijk zijn. Dit leverde een p-waarde op van vrijwel nul (8.24E-14). Dit is lager dan 5%, wat inhoudt dat de nulhypothese is verworpen. Vervolgens is met de Wilcoxon-rangtekentoets voor elk van de vijf combinaties van opeenvolgende meetlocaties de nulhypothese getoetst dat het mediane verschil van de twee meetlocaties nul is. Deze nulhypothese is voor vier van de vijf combinaties verworpen (in deze gevallen was $p < 0{,}05\%$), waarbij het mediane verschil in twee gevallen duidde op een toename stroomafwaarts en in twee gevallen op een afname stroomafwaarts. De resultaten zijn vermeld in tabel 4.3.

[5] Letterlijk te vertalen als 'doos-met-snorharen'-plot.

Tabel 4.3: Resultaten van het statistisch toetsen op een verschil in concentratie totaal-stikstof tussen twee opeenvolgende meetlocaties in de hoofdwaterloop. De meetlocaties zijn stroomafwaarts gerangschikt. Bij een statistisch significante verandering is de cel oranje gekleurd (toename) of groen gekleurd (afname) en bevat de cel de mediane verschilwaarde van de twee betrokken reeksen van kwartaalmedianen (in mg N/l).

6143	6144	4109	4112	4133	4113
0.77	0	-0.97	-0.81	0.26	

Uit tabel 4.3 blijkt dat de concentratie totaal-stikstof sterk toeneemt tussen de meetlocaties 6143 en 6144. Deze toename kan worden toegeschreven aan de lozing van de AWZI van Friesland Foods.
Tussen de meetlocaties 6144 en 4109 verandert de concentratie niet meer noemenswaard, ondanks het feit dat de RWZI Marum in dit traject een stikstofvracht loost op het Oude Diep die ongeveer vergelijkbaar is met die van de AWZI, met eveneens relatief hoge concentraties. Aangezien er in dit traject ook afvoer is van westelijke en noordwestelijke deelstroomgebieden op het Oude Diep, zorgt deze blijkbaar voor een zodanige verdunning dat de stikstofconcentratie niet toeneemt.
Tussen de meetlocaties 4109, 4112 en 4133 zijn er daarentegen weer sterke afnames. Deze zullen het gevolg zijn van verdunning, door aanvoer van kwelwater en water uit het natuurgebied, beide met relatief geringe concentraties totaal-stikstof.
Tussen de meetlocaties 4133 en 4113 is er tenslottte weer enige toename van de concentratie totaal-stikstof. Blijkbaar doet zich daar meer invloed van landbouwactiviteiten gelden.

We hebben ook getoetst of er tussen de eerste en de laatste meetlocatie een verschil is in de concentratie totaal-stikstof (zie tabel 4.4). Dat blijkt niet het geval, zodat er geen nettoinvloed van het Dwarsdiepgebied op de concentratie totaal-stikstof van de hoofdwaterloop is geconstateerd.

Tabel 4.4: Resultaat van het statistisch toetsen op een verschil in concentratie totaal-stikstof tussen de eerste en de laatste meetlocatie in de hoofdwaterloop.

6143	4113
0	

De resultaten voor alle 18 bij dit onderdeel beschouwde parameters zijn samengevat in tabel 4.5. De bijbehorende boxplots zijn weergegeven in de bijlage van dit rapport.

Tabel 4.5: Resultaten van het statistisch toetsen op een verschil in concentratie tussen twee opeenvolgende meetlocaties in de hoofdwaterloop. De meetlocaties zijn stroomafwaarts gerangschikt. Bij een statistisch significante verandering is de cel oranje gekleurd (toename) of groen gekleurd (afname) en bevat de cel de mediane verschilwaarde van de twee betrokken reeksen van kwartaalmedianen. Het rechterdeel van de tabel bevat het resultaat van de vergelijking van de eerste en laatste meetlocatie van de hoofdwaterloop.

Parameter	Eenheid	6143	6144	4109	4112	4133	4113	6143	4113
BZV5	mg O2/l	0	0	0	0	0		0	
chlorofyl-a	ug/l	0	0	4	0	0		6	
chloride	mg/l	31	0	-15	69	-24		65	
feofytine a	ug/l	0	0	0	0	0		0	
geleidendheid	mS/m	14	0	-4	22	-8		28	
kalium	mg/l	0.9	0	0	-1.1	0.9		0	
magnesium	mg/l	0	0	0.6	2.8	0		3.7	
ammonium	mg N/l	0.09	0	-0.10	-0.15	0		-0.1	
totaal-stikstof	mg N/l	0.77	0	-0.97	-0.81	0.26		0	
nitriet	mg N/l	0.01	0.04	-0.02	-0.02	0		0	
nitraat	mg N/l	0.43	0	-0.90	-0.30	0.16		-0.32	
Kjeldahl-stikstof	mg N/l	0.20	0.35	-0.20	-0.50	0.10		0	
totaal fosfaat	mg P/l	0.21	0.13	-0.16	-0.17	0.03		0	
orthofosfaat	mg P/l	0.15	0	-0.16	-0.04	0.00		-0.01	
zuurgraad	DIMSLS	0	0.1	0.1	0.1	0.1		0.5	
sulfaat	mg/l	0	0	-4	11	0		8	
zuurstof	%	-6	0	-4	10	0		0	
doorzicht	cm	-5	3	-5	0	5		0	

Alleen voor BZV5 en feofytine-a is met de Friedman-toets niet de nulhypothese verworpen dat de mediane concentraties van de zes meetlocaties van de hoodwaterloop gelijk zijn. Voor de andere parameters was dat wel het geval en is aansluitend paarsgewijs getoetst met de Wilcoxon-rangtekentoets.

De resultaten in tabel 4.5 geven aan dat de AWZI van Friesland Foods, gelegen tussen de meetlocaties 6143 en 6144, een duidelijke kwaliteitverslechtering geeft voor meerdere parameters, niet alleen totaal-stikstof, zoals we al hiervoor constateerden, maar ook andere stikstof-parameters, fosfaat, chloride, kalium, zuurstofverzadiging en doorzicht.
Tussen de meetlocaties 6144 en 4109 verandert er vervolgens voor de meeste parameters weinig, dit ondanks de lozing van de RWZI Marum in dit traject. Zoals eerder opgemerkt, zal dit komen door de afvoer van de westelijke en noordwestelijke deelstroomgebieden op het Oude Diep die plaatsvindt in dit traject.
Tussen de meetlocaties 4109 en 4112 vindt voor veel parameters blijkbaar vooral verdunning plaats, door zoet kwelwater en afvoer uit het natuurgebied, zij het dat de concentraties chlorofyl-a en magnesium toenemen en de zuurstofverzadiging en het doorzicht afnemen. Tussen de meetlocaties 4112 en 4133 vindt voor meerdere parameters een verdere verdunning plaats, maar er zijn ook duidelijke toenames van de concentraties chloride, magnesium en sulfaat. Dit zal veroorzaakt zijn door de brakke kwelstromen in de polders De Dijken en Tolberter Petten, die lozen op het Dwarsdiep.
Tussen de meetlocaties 4133 en 4113 treedt alleen verdunning op voor chloride en verbetert het doorzicht enigszins. De concentraties kalium, stikstof en fosfaat nemen daarentegen weer toe, wat duidt op invloed van landbouwkundige activiteiten.

Het resultaat van de vergelijking van de eerste en laatste meetlocatie van de hoofdwaterloop (6143 en 4113), vermeld in het rechterdeel van tabel 4.5, stelt ons in staat een uitspraak te doen over de netto-invloed van het Dwarsdiepgebied op de kwaliteit van de hoofdwaterloop. De netto-invloed leidt tot een hogere pH, een hogere geleidendheid, hogere concentraties chlorofyl-a, chloride, magnesium en sulfaat en tot lagere concentraties ammonium, nitraat en orthofosfaat. Voor de overige beschouwde parameters is er netto geen invloed geconstateerd.

4.5 Samenvattende conclusies

In het Dwarsdiepgebied is in 2008 het percentage meetpunten met overschrijdingen van de MTR-norm min of meer vergelijkbaar voor totaal-stikstof en totaal-fosfaat, namelijk circa 70%. Maar bij totaal-fosfaat treden er meer grote normoverschrijdingen op dan bij totaal-stikstof. Voor wat betreft de nutriënten is de waterkwaliteit van Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart het slechtst. Dit zal samenhangen met de landbouw in deze omgeving en mogelijk ook met het 's zomers aangevoerde nutriëntrijke water uit het Leekstermeer.

We zijn met statistisch toetsen nagegaan welke veranderingen er in de hoofdwaterloop optreden in stroomafwaartse richting. Het blijkt dan dat de AWZI van Friesland Foods een duidelijke kwaliteitverslechtering geeft voor totaal-stikstof, andere stikstof-parameters, fosfaat, chloride, kalium, zuurstofverzadiging en doorzicht. De lozing door de RWZI Marum in het daaropvolgende traject heeft echter weinig invloed op de meeste parameters, wat zal komen door de verdunnende werking van de afvoer van de westelijke en noordwestelijke deelstroomgebieden, die ook plaatsvindt in dit traject. Verder stroomafwaarts, tussen de meetlocaties 4109 en 4112, vindt voor veel parameters vooral verdunning plaats, door zoet kwelwater en afvoer uit het natuurgebied, zij het dat de concentraties chlorofyl-a en magnesium toenemen en de zuurstofverzadiging en het doorzicht afnemen. Tussen de meetlocaties 4112 en 4133 vindt voor meerdere parameters een verdere verdunning plaats, maar er zijn ook duidelijke toenames van de concentraties chloride, magnesium en sulfaat. Dit zal veroorzaakt zijn door de brakke kwelstromen in de polders De Dijken en Tolberter Petten, die lozen op het Dwarsdiep. Tussen de meetlocaties 4133 en 4113 treedt alleen verdunning op voor chloride en verbetert het doorzicht enigszins. De concentraties kalium, stikstof en fosfaat nemen daarentegen weer toe, wat duidt op invloed van landbouwkundige activiteiten.

Resumerend kunnen we stellen dat de oppervlaktewaterkwaliteit in het Dwarsdiepgebied merkbaar wordt beïnvloed door landbouwkundige activiteiten, lozingen van zuiveringsinstallaties en opkwellend zoet en brak grondwater. Mogelijk speelt ook de zomerse aanvoer van gebiedsvreemd water uit het Leekstermeer een rol.

5 Lange-termijn trends waterkwaliteit

Om een objectief antwoord te kunnen geven op de vraag of er de afgelopen decennia sprake is geweest van significante veranderingen van de waterkwaliteit in het Dwarsdiep-gebied, hebben we statistische trendanalyse toegepast op de langjarige meetreeksen van de concentraties van een aantal stoffen. Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak en resultaten van de trendanalyse.

5.1 Gevolgde aanpak trendanalyse

Trendanalyse is een statistische techniek om objectief vast te kunnen stellen of een bepaalde meetreeks een trend vertoont, waarbij tevens een schatting voor de grootte van de trend wordt gegeven. Onder het begrip trend verstaan we hier een permanente of semi-permanente verandering van het niveau van de meetreeks over een tijdshorizon van tenminste enkele jaren. Seizoensmatige veranderingen en kortstondige calamiteiten vallen daar dus niet onder.

De door ons uitgevoerde trendanalyse omvatte per geanalyseerde reeks twee onderdelen, namelijk:

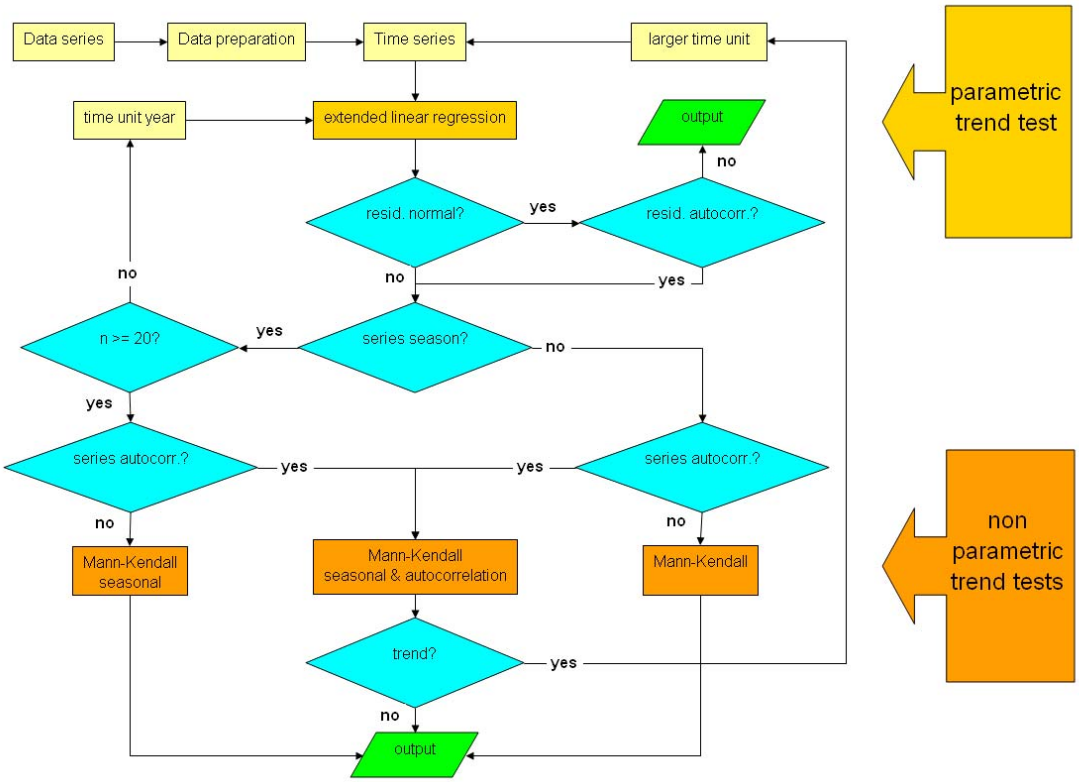
1. *trenddetectie*, leidend tot een uitspraak over het al of niet optreden van een statistisch significante trend;
2. *trendkwantificering*, leidend tot een schatting van de grootte van de trend (uitgedrukt als verandering per jaar).

De trendanalyse is uitgevoerd met behulp van het door ons ontwikkelde programma *Trendanalist* [Baggelaar en Van der Meulen, 2007]. Het is speciaal ontwikkeld voor milieu-onderzoek en kan dus ook rekening houden met de specifieke eigenschappen van variabelen van de oppervlaktewaterkwaliteit, zoals een niet-normale kansverdeling (al of niet door uitschieters), autocorrelatie, seizoenseffecten, gecensureerde meetwaarden en ontbrekende meetwaarden.

Trendanalist is ook zo ontwikkeld, dat afhankelijk van de statistische karakteristieken van de betreffende meetreeks (het soort kansverdeling waar de meetwaarden uit afkomstig zijn, het al of niet optreden van autocorrelatie en het al of niet optreden van seizoenseffecten), díe trenddetectietoets en díe trendschatter worden gehanteerd die het best aansluiten op die karakteristieken. Daarbij kan het ingebouwde expertsysteem van *Trendanalist* kiezen uit een zestal trenddetectietoetsen (zie figuur 5.1) en een viertal trendschatters. *Trendanalist* heeft als basis-trendtoetsen de lineaire regressietoets en zijn verdelingsvrije equivalent, de Mann-Kendall-toets, maar het programma heeft van beide ook uitgebreidere vormen ter beschikking, die rekening kunnen houden met autocorrelatie en/of het optreden van seizoenseffecten. En de basis-trendschatters van *Trendanalist* zijn de lineaire regressiehellingschatter en zijn verdelingsvrije equivalent, de Theil-hellingschatter.[6]
Deze flexibele aanpak garandeert per reeks een maximaal onderscheidend vermogen bij de trenddetectie en ook een maximale precisie bij het trendschatten. Dit bewerkstelligt dat de in de meetreeksen aanwezige informatie – die vaak een grote inspanning aan bemonsterings- en analysekosten heeft gevergd – zo goed mogelijk wordt benut.

[6] Als er sprake is van seizoenseffecten wordt de Kendall-seizoenshellingschatter gebruikt. Dit is een aangepaste vorm van de Theil-hellingschatter.

Figuur 5.1: De keuzeprocedure die het ingebouwde expertsysteem van Trendanalist volgt, om te bewerkstelligen dat voor elke meetreeks de meest geschikte trenddetectietoets wordt gehanteerd.[7]



Voor de trendanalyse dient er vooraf een hypothetisch startpunt van de trend te worden geformuleerd. Daarbij dient overigens niet te worden afgegaan op een visuele inspectie van de meetreeksen[8], maar op andere informatie, zoals het begin van mogelijke kwaliteitsverbeterende maatregelen, of het eerste tijdstip dat alle te analyseren meetreeksen gemeen hebben. Voor dit onderdeel hebben we gekozen voor 1990 als startjaar, aangezien veel meetreeksen op of nabij dat jaar starten.

5.2 Resultaten trendanalyse

Van de 1465 meetreeksen bleken er 567 te voldoen aan de eisen voor trendanalyse, namelijk: (1) meetwaarden over minstens 4,5 jaar (periode tussen start en eind meetwaarden) en (2) minstens 5 meetwaarden, of anders minstens 3 verschillende jaarwaarden en (3) minder dan 80% gecensureerde meetwaarden.

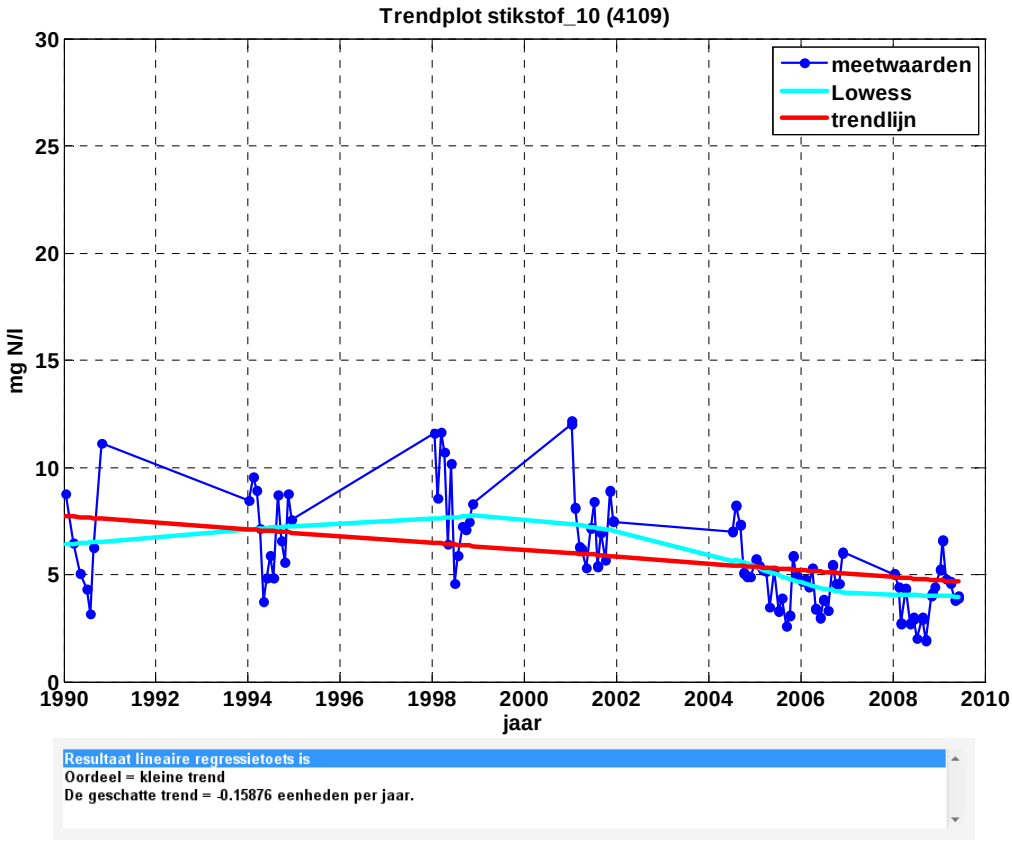
Door het grote aantal onderbroken meetreeksen (afkomstig van het roulerende meetnet) is de trendanalyse in veel gevallen op jaarbasis uitgevoerd, met de lineaire regressietoets of de Mann-Kendall-toets. Alleen voor de vrijwel ononderbroken meetreeksen kon de trendanalyse doorgaans op kleinere tijdsbasis worden uitgevoerd, waarbij zonodig rekening is gehouden met autocorrelatie en/of seizoenseffecten.

[7] Een 'parametric trend test' is hier een trendtoets die uitgaat van een normale kansverdeling, terwijl een 'non parametric trend test' geen vooronderstelling hanteert over het soort kansverdeling. We noemen dat ook wel een verdelingsvrije toets.

[8] Als het hypothetisch startpunt van de trend wordt geformuleerd op basis van een visuele inspectie van de meetreeks, komt dat er op neer dat een hypothese wordt getoetst met dezelfde gegevens als waarmee de hypothese is geformuleerd. Het toetsresultaat heeft dan weinig zeggingskracht.

Van elke geanalyseerde meetreeks hebben wij een trendplot gemaakt, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en een LOWESS-lijn (zie de voorbeelden in de figuren 5.2 t/m 5.4). De trendlijn kan namelijk alleen een lineaire trend beschrijven - in ons geval van het startpunt van de reeks tot het eind - terwijl de LOWESS-lijn een veel flexibelere beschrijving kan geven van het verloop van het gemiddelde van de meetreeks. De trendplots zijn weergegeven in de digitale bijlage.

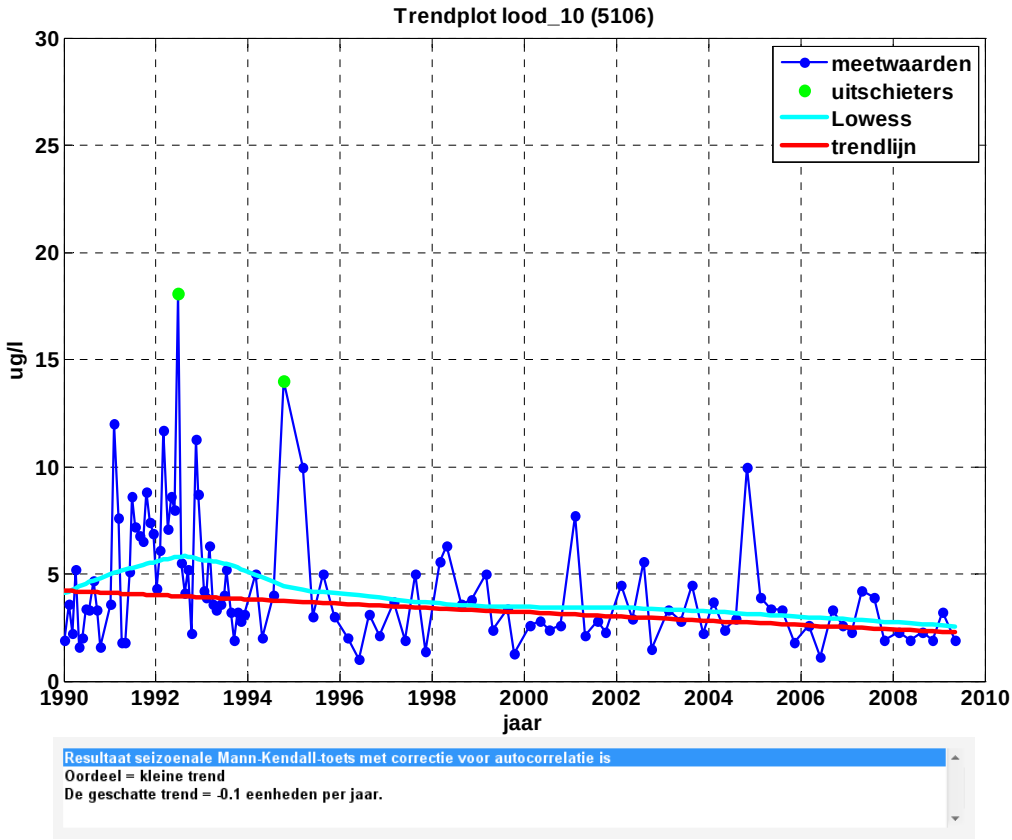
Figuur 5.2: Trendplot van totaal-stikstof van meetlocatie 4109 (Dwarsdiep, brug weg Marum – Noordwijk).



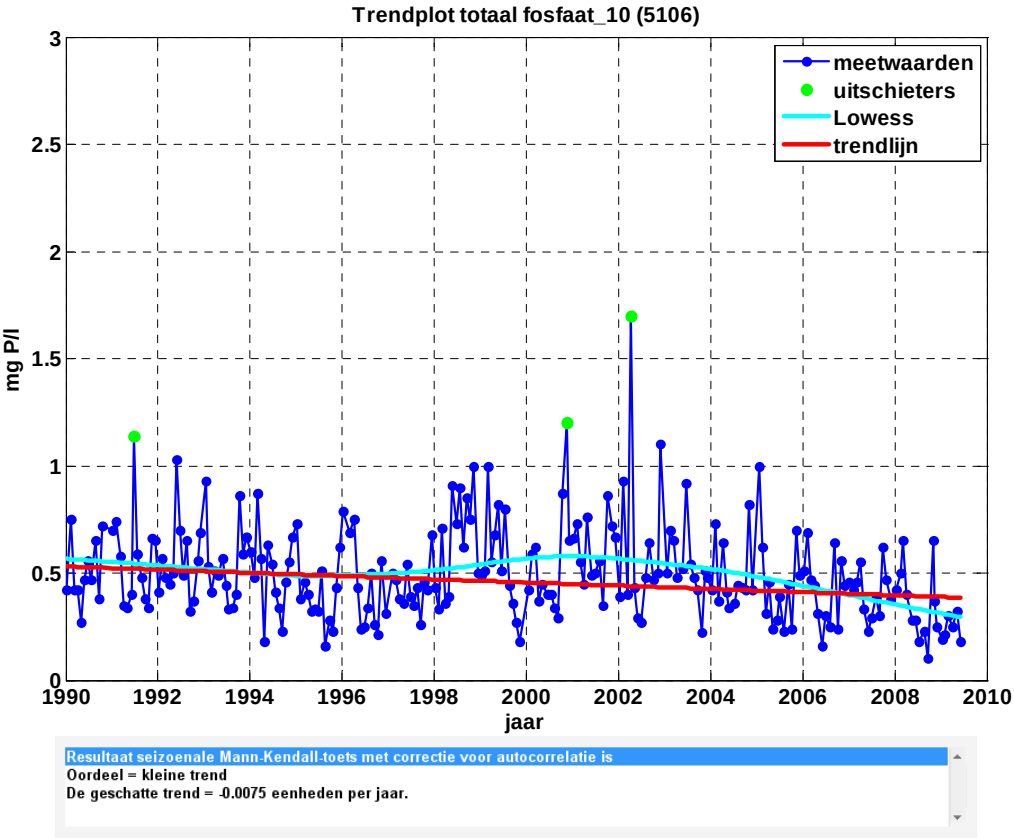
Toelichting op de LOWESS-lijn

De LOWESS-lijn beschrijft een lokaal gemiddelde van de meetwaarden, op basis van lokale gewogen regressie [Cleveland, 1979]. LOWESS staat voor LOcally WEighted Scatterplot Smoothing. Het is een zeer flexibele en bruikbare manier om de lange-termijn veranderingen van een tijdreeks te tonen. Op iteratieve wijze wordt voor elk tijdstip de bijbehorende waarde van de LOWESS-lijn geschat met gewogen regressie, waarbij de gewichten zowel een functie zijn van de afstand tot het betreffende tijdstip, als van het modelresidu van de vorige modeliteratie. De gladheidsfactor f bepaalt het venster dat aan weerskanten van elk tijdstip bij de modellering wordt betrokken en bepaalt daarmee mede de gladheid van de resulterende lijn. Deze factor hebben we op 0,5 gezet, aangezien die waarde in de praktijk doorgaans de bruikbaarste LOWESS-lijnen oplevert [Helsel and Hirsch, 1992].

Figuur 5.3: Trendplot van lood van meetlocatie 5106 (Leeksterhoofddiep, kade Leek).



Figuur 5.4: Trendplot van totaal-fosfaat van meetlocatie 5106 (Leeksterhoofddiep, kade Leek).



We hebben alle trendplots visueel beoordeeld om na te gaan of een geconstateerde statistisch significante trend wellicht veroorzaakt was door het optreden van meerdere rapportagegrenzen. Dit bleek voor 11 meetreeksen het geval. Voor deze meetreeksen hebben we de resultaten van de trendanalyse verwijderd.

De resultaten van de trendanalyse zijn te vinden in de digitale bijlage van dit rapport. Het trendpalet van tabel 5.1 vat de resultaten samen van de parameters waarvoor minstens twee resultaten beschikbaar zijn.

Tabel 5.1: Trendpalet van de resultaten van de trendanalyse voor die parameters waarvoor minstens twee resultaten beschikbaar zijn. Elke kolom bevat de resultaten van een meetpunt.

Parameter	6143	6144	4109	4112	4133	4113	4163	4167	4166	6145	6108	6171	6175	6172	5106	4162	6047	6142	4062	6129	6176	6177
BZV5	-3.2%	-3.3%	-1.9%	-0.8%	Geen	-3.8%	Geen	Geen	Geen	3.8%	Geen	Geen	Geen	-4.3%	-2.6%	4.3%	Geen	-20.8%	Geen	-3.1%	Geen	Geen
chloride	-1.2%	1.7%	Geen	Geen	Geen	Geen	-1.6%	-5.1%	2.2%	Geen	-1.9%	-4.1%	Geen	Geen	Geen	Geen	1.3%	-11.0%	Geen	-2.0%	-8.2%	-3.4%
chlorofyl-a	Geen	-3.7%	Geen	Geen	Geen	-8.8%	6.5%	Geen	Geen	72.4%	4.4%	Geen	Geen	Geen	Geen	6.9%	Geen	-48.5%	19.0%	Geen	Geen	Geen
geleidendheid	-0.9%	Geen	Geen	Geen	Geen	-0.6%	-1.2%	-4.8%	Geen	-1.5%	-2.4%	-3.1%	2.6%	Geen	-1.3%	-0.6%	-2.0%	-6.2%	5.7%	-1.9%	Geen	Geen
totaal-stikstof	-2.6%	-2.2%	-2.6%	-2.8%	-1.9%	-2.0%	Geen	1.8%	Geen	Geen	Geen	-5.6%	Geen	-4.4%	-2.6%	-4.0%	Geen	-17.4%	Geen	Geen	-19.6%	-16.3%
nitraat	Geen	-3.3%	Geen	-4.1%	-3.9%	Geen	-13.5%	3.6%	Geen	Geen	Geen	-5.9%	Geen	-3.9%	-2.1%	-22.0%	40.9%	Geen	Geen	Geen	43.7%	-26.7%
nitriet	-3.9%	-4.6%	-3.5%	Geen	-3.1%	-3.7%	-8.9%	Geen	4.8%	Geen	Geen	-8.0%	Geen	-4.2%	-1.3%	Geen	Geen	-5.8%	Geen	Geen	Geen	Geen
Kjeldahl-stikstof	-1.7%	-2.1%	-3.6%	-2.2%	Geen	Geen	-1.8%	1.0%	Geen	Geen	Geen	-3.6%	Geen	-5.3%	Geen	Geen	-5.7%	-18.8%	Geen	Geen	-27.9%	-8.0%
ammonium	Geen	Geen	-3.1%	-2.3%	Geen	Geen	Geen	-3.8%	Geen	-3.2%	Geen	-11.5%	Geen	-6.9%	Geen	Geen	-9.0%	-65.3%	Geen	Geen	-156%	Geen
totaal-fosfaat	-4.8%	-3.0%	-7.1%	-4.0%	Geen	-2.5%	Geen	4.3%	Geen	Geen	-1.0%	-7.9%	Geen	-7.6%	-1.6%	Geen	Geen	-55.7%	Geen	-2.2%	-60.8%	Geen
orthofosfaat	-9.1%	-3.3%	-10.1%	-6.4%	-12.9%	-6.8%	-4.5%	Geen	Geen	-4.1%	-2.5%	-12.0%	Geen	-11.5%	Geen	-7.1%		-84.9%		-7.6%	-113%	Geen
feofytine a [µg/l]	-9.0%	Geen	5.7%	-5.9%	Geen	Geen	-7.2%	Geen				Geen	Geen	Geen	-15.8%	Geen			Geen		Geen	Geen
bicarbonaat	Geen	Geen	-2.3%	-0.8%	Geen	1.1%	Geen	-1.5%					6.1%		-1.2%	Geen		-25.0%		Geen	Geen	Geen
calcium	-1.2%	Geen	-0.8%	Geen	Geen	Geen	-1.5%	-4.7%					Geen		-1.7%	-0.6%		-12.2%		Geen	Geen	Geen
kalium	-3.9%	-3.6%	-2.2%	-3.2%	-2.7%	-3.8%	Geen	Geen					Geen		-1.3%	-3.3%		-13.1%		Geen	-9.9%	Geen
magnesium	-1.0%	Geen	-0.5%	-0.5%	Geen	Geen	Geen	-3.9%					Geen		Geen	-0.4%		-6.8%		Geen	Geen	Geen
natrium	1.2%	Geen	Geen	Geen	Geen	2.7%	Geen	-4.0%					Geen		Geen	0.6%		-9.2%		-0.5%	Geen	Geen
sulfaat	Geen	-3.5%	Geen	-2.2%	-2.5%	-2.2%	Geen	-4.5%					Geen		-3.6%	-5.3%		-5.7%		-1.7%	15.3%	Geen
ijzer			13.5%	13.3%	Geen	-2184%									Geen			Geen		Geen		
mangaan			Geen	Geen	3.0%	2.6%									Geen			Geen		Geen		
thermotol. Coli's															Geen		112.8%		Geen			
temperatuur	-2.1%	-1.7%	-2.9%	-1.8%	-1.2%	-1.2%	-1.9%	1.1%	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	-2.0%	Geen	4.9%	Geen	Geen	Geen	Geen
zuurgraad	Geen	Geen	Geen	Geen	-0.2%	-0.2%	Geen	Geen	Geen	-0.4%	-0.4%	Geen	Geen	Geen	-0.2%	0.3%	8.3%	Geen	-1.6%	-0.6%	1.8%	1.5%
zuurstof [%]	-1.4%	1.3%	2.4%	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	-2.6%	Geen	Geen	1.1%	Geen	5.1%	0.5%	1.7%	-2.0%	Geen	15.3%	5.6%
doorzicht	Geen	-0.6%	Geen	Geen	-1.3%	-1.2%	-1.7%	Geen	Geen	-2.9%	-1.2%	Geen	Geen	Geen	Geen	-2.2%	-3.6%	Geen	Geen	Geen	17.7%	Geen

Toelichting op het trendpalet

Elke cel geeft met een kleur het oordeel over een trend, per combinatie van meetlocatie (vermeld in de kolommen) en parameter (vermeld in de rijen). Als er geen statistisch significante trend is gedetecteerd (hier met 95% betrouwbaarheid), dan is de cel geel gekleurd. Een statistisch significante verbetering is groen gekleurd en een statistisch significante verslechtering is oranje gekleurd[9], behalve bij de zuurgraad (pH) waar zowel statistisch significante toenames als afnames blauw zijn gekleurd. Elke statistisch significante trend is relatief uitgedrukt als percentage verandering per jaar ten opzichte van de mediaan van de meetreeks.

Om de ruimtelijke interpretatie te vergemakkelijken, zijn de meetlocaties in bovenstaand trendpalet via kleuren ingedeeld in de volgende 5 groepen:
blauw: hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep)
lichtgroen: afvoer naar hoofdwaterloop
lichtgeel: meetlocaties in Leeksterhoofddiep, Jonkersvaart en Wilpstervaart
lichtblauw: afvoer polder Oude Riet naar hoofdwaterloop
grijs: overige meetlocaties, soms enigszins geïsoleerd

Door de sprekende kleuren is aan de hand van een trendpalet direct zichtbaar welke stoffen op welke meetpunten relevante verbeteringen, dan wel verslechteringen te zien geven. Verder kunnen met behulp van het trendpalet eenvoudig zowel meetpunten als parameters met elkaar worden vergeleken.

Uit tabel 5.1 concluderen wij het volgende over het algehele beeld:

1. Er zijn meer kwaliteitsverbeteringen dan verslechteringen. Van de 451 vermelde resultaten zijn er 174 verbeteringen (38,6%) en 44 verslechteringen (9,8%).

[9] Bij zuurstof en doorzicht is het teken van een verslechtering of een verbetering tegengesteld aan dat van de andere parameters.

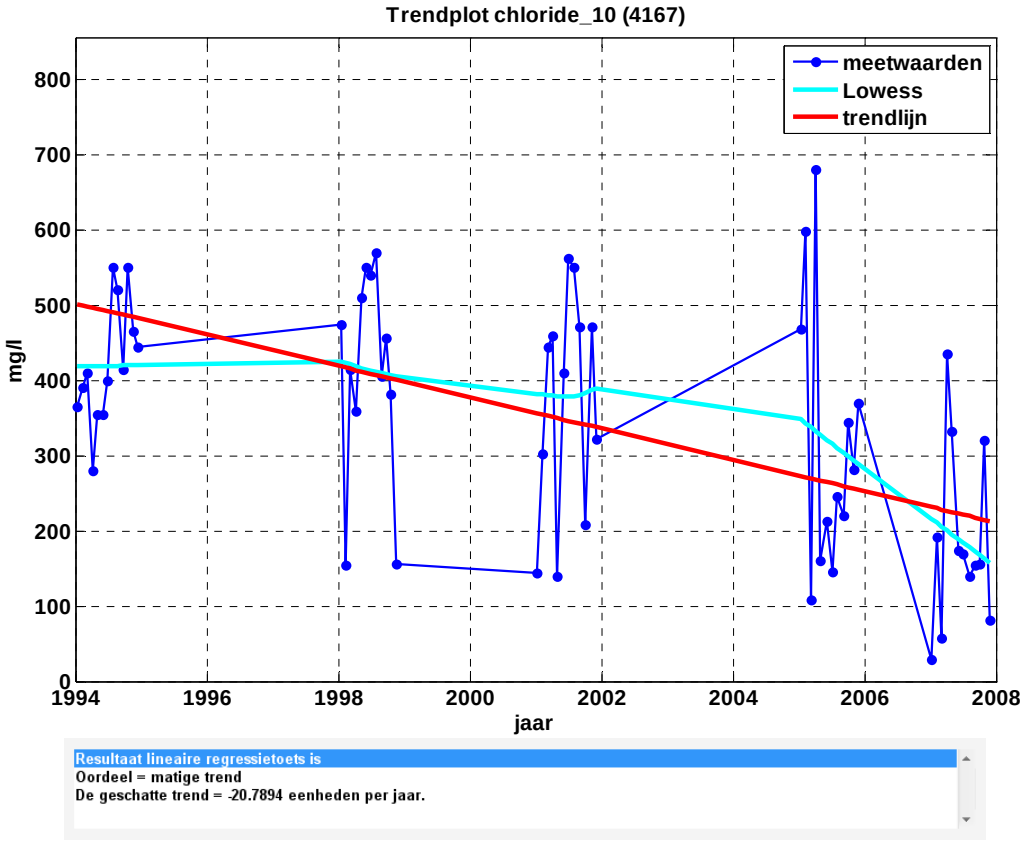
2. Voor bijna de helft van de meetreeksen (49,2%) is geen kwaliteitsverandering aangetoond.
3. Voor wat betreft de meetlocaties treden de meeste verbeteringen op bij meetlocatie 6142 (plas Jiltdijksheide), namelijk bij 17 van de 23 parameters (73,9%).
4. De meeste verslechteringen treden op bij meetlocatie 4167 (afvoer van polder De Dijken naar het Dwarsdiep), namelijk bij 5 van de 22 parameters (22,7%). Het betreft de parameters totaal-stikstof, nitraat, Kjeldahl-stikstof, totaal-fosfaat en watertemperatuur. Vermoedelijk hangt dit samen met de rond 2005 in deze polder ingestelde peilverhoging (zie ook verder).
5. Voor wat betreft de parameters treden de meeste verbeteringen op bij orthofosfaat, namelijk bij 15 van de 20 meetlocaties (75%).
6. Ook totaal-stikstof laat in het algemeen een verbetering zien, daar zijn concentratie bij 13 van de 22 meetlocaties (59%) statistisch significant afneemt.
7. De meeste verslechteringen treden op bij doorzicht, namelijk bij 8 van de 22 meetlocaties (36,4%). Mogelijk is dit veroorzaakt doordat er de laatste 5 jaar veel baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd, waarbij het doorzicht tijdelijk is verminderd
8. Bij chlorofyl-a treden ook relatief veel verslechteringen op, namelijk bij 5 van de 22 meetlocaties (23%).

En meer specifiek voor wat betreft de zes meetlocaties in de hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep) concluderen we het volgende:

9. Verbeteringen zijn er vooral voor de parameters totaal-stikstof, orthofosfaat, kalium en watertemperatuur, die op al deze zes meetlocaties statistisch significant afnemen.
10. Verslechteringen zijn er vooral voor doorzicht dat op drie van de zes meetlocaties statistisch significant afneemt en voor natrium, ijzer en mangaan, die op twee van de zes meetlocaties statistisch significant toenemen.

Meelocatie 4167 van polder De Dijken kent een zeer grote afname van de chlorideconcentratie, van gemiddeld 20 mg/l/jaar vanaf 1994 (zie figuur 5.5).

Figuur 5.5: Trendplot van chloride op meetlocatie 4167 (polder De Dijken).



Een mogelijke verklaring voor de afnemende chlorideconcentratie is de peilverhoging die rond 2005 in polder De Dijken is doorgevoerd. Deze zal tot minder kwel en daarmee tot minder aanvoer van brak grondwater hebben geleid.
We constateerden hiervoor al dat op deze meetlocatie de concentraties totaal-stikstof, nitraat, Kjeldahl-stikstof, totaal-fosfaat en watertemperatuur zijn toegenomen. Het is denkbaar dat ook hierbij de peilverhoging een rol heeft gespeeld. Zo kan het in de onverzadigde zone aan de bodem geadsorbeerde fosfaat vrijkomen als de grondwaterspiegel stijgt. En de toegenomen watertemperatuur kan samenhangen met de verminderde kwelstroom van het relatief koudere grondwater.

Trends in overige parameters
Tabel 5.1 vermeldt de resultaten van de 25 parameters waarvoor minstens twee resultaten beschikbaar zijn. Daarnaast zijn er nog 53 parameters waarvoor slechts één resultaat beschikbaar is, vrijwel alle gemeten op het hoofdmeetpunt 5106 (Leeksterhoofddiep, kade Leek). Hiervan zijn er 30 zonder trend, 21 met een statistisch significante verbetering en slechts 2 met een statistisch significante verslechtering, namelijk kobalt en PAK6 (zie tabel 5.2).

Tabel 5.2: Trendpalet van de resultaten van de trendanalyse voor die parameters waarvoor slechts één resultaat beschikbaar is.

Parameter	6172	5106
1,1,1-trichloorethaan		-32.7%
2,2',3,4,4',5,5'-heptachloorbifenyl		Geen
2,2',3,4,4',5'-hexachloorbifenyl		Geen
2,2',4,4',5,5'-hexachloorbifenyl		Geen
2,2',4,5,5'-pentachloorbifenyl		Geen
2,2',5,5'-tetrachloorbifenyl		Geen
2,4,4'-trichloorbifenyl		Geen
2-methyl-4-chloorfenoxyazijnzuur		Geen
2-methyl-4-chloorfenoxypropionzuur (mecoprop)		-20.0%
4,4'-dichloordifenyltrichloorethaan		Geen
4,6-dinitro-o-cresol		0.0%
acenafteen		-55.1%
aldrin		Geen
alfa-hexachloorcyclohexaan		Geen
aluminium		Geen
ammoniak	Geen	
arseen		-3.4%
atrazine		Geen
bentazon		-20.0%
benzo(a)antraceen		Geen
benzo(ghi)peryleen		Geen
beta-endosulfan		Geen
cadmium		-4.4%
CZV		Geen
chroom		Geen
chryseen		0.0%
dibenzo(a,h)antraceen		Geen
diuron		-50.0%
fenanthreen		-25.0%
fluorantheen		-2.5%
fluoreen		-33.6%
fluoride		-1.9%
gamma-hexachloorcyclohexaan (lindaan)		-6.4%
heptachloor		Geen
hexachloorbenzeen		Geen
indeno(1,2,3-cd)pyreen		Geen
kobalt		20.0%
koper		Geen
kwik		-3.8%
lood		-3.0%
naftaleen		-32.0%
nikkel		Geen
OCB		-2.0%
PAK16		-10.0%
PAK6		7.9%
pentachloorfenol		Geen
pyreen		-1.3%
simazine		Geen
som 6 polychloorbifenylen PCB28, 52, 101, 138, 153, 180		Geen
som alfa-endosulfan en endosulfansulfaat		Geen
VOX		Geen
zink		-3.7%
zwevende stof		Geen

5.3 Samenvattende conclusies

We zijn met trendanalyse nagegaan welke parameters er sinds 1990 statistisch significante verbeteringen of verslechteringen hebben vertoond. Van de 1465 meetreeksen bleken er 567 te voldoen aan de eisen voor trendanalyse, namelijk: (1) meetwaarden over minstens 4,5 jaar (periode tussen start en eind meetwaarden) en (2) minstens 5 meetwaarden, of anders minstens 3 verschillende jaarwaarden en (3) minder dan 80% gecensureerde meetwaarden.

Uit de trendanalyse blijkt dat er meer kwaliteitsverbeteringen zijn opgetreden dan verslechteringen. Voor bijna de helft van de meetreeksen is geen kwaliteitsverandering aangetoond.

De meeste verbeteringen treden op bij orthofosfaat, maar ook totaal-stikstof laat in het algemeen een verbetering zien. Deze verbeteringen kunnen worden toegeschreven aan de invoering van het mestbeleid in 1984, de invoering van fosfaatvrije wasmiddelen in 1990 en de invoering van verplichte mestinjectie in 1992. Mogelijk speelt ook een rol dat vanaf circa 1995 plaatselijk landbouwkundige activiteiten zijn verdwenen door het ontwikkelen van de Ecologische Hoofdstructuur en dat de efficiëntie van zuiveringsinstallaties van industrieel en stedelijk afvalwater zijn verbeterd.

De meeste verslechteringen treden op bij doorzicht. Mogelijk is dit veroorzaakt doordat er de laatste 5 jaar veel baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd, waarbij het doorzicht tijdelijk is verminderd. Ook bij chlorofyl-a treden relatief veel verslechteringen op.

Bij meetlocatie 4167 (afvoer van polder De Dijken naar het Dwarsdiep) treden de meeste verslechteringen op, namelijk bij 5 van de 22 parameters die voor die locatie op trend konden worden geanalyseerd. Vermoedelijk hangt dit samen met de rond 2005 in deze polder ingestelde peilverhoging. Deze peilverhoging verklaart vermoedelijk ook waarom op deze meetlocatie de concentratie chloride sterk is afgenomen. De peilverhoging zal namelijk tot een vermindering van de brakke kwelstroom hebben geleid.

Voor wat betreft de hoofdwaterloop (Oude Diep – Dwarsdiep – Enumatilster Matsloot – Hoendiep) zijn er vooral verbeteringen voor de parameters totaal-stikstof, orthofosfaat, kalium en watertemperatuur. Verslechteringen zijn er op enkele locaties voor doorzicht, natrium, ijzer en mangaan.

6 Informatieoverlap meetlocaties

In dit hoofdstuk gaan we voor een aantal parameters na in welke mate de meetreeksen van de verschillende meetlocaties in het Dwarsdiep gelijksoortige informatie leveren.

6.1 Gevolgde aanpak

Aangezien het meten van de oppervlaktewaterkwaliteit als belangrijkste doelstellingen heeft toestandsbeschrijving en trenddetectie, zijn we voor twee soorten informatie nagegaan in hoeverre de meetlocaties daarover een gelijksoortig beeld leveren. Het betreft:
(1) informatie over de toestand en
(2) informatie over het verloop in de tijd.

6.1.1 Overlap in informatie over de toestand

Om een oordeel te kunnen vellen over de mate waarin er voor een bepaalde parameter informatieoverlap is voor wat betreft de toestand, zijn de meetreeksen van verschillende meetlocaties vergeleken op basis van de mediaan (dit is het 50-percentiel) en het 95-percentiel.

- *P50*: geschatte 50-percentiel, oftewel de geschatte mediaan van de populatie. Dit is de waarde die door 50% van de populatie wordt onderschreden (en overschreden)
- *P95*: geschatte 95-percentiel van de populatie. Dit is de waarde die door 95% van de populatie wordt onderschreden

We hebben per parameter ook statistisch getoetst op een systematisch verschil tussen de twee meetreeksen met een verdelingsvrije toets. Dit gezien de scheve kansverdelingen die parameters van de oppervlaktewaterkwaliteit doorgaans te zien geven. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Wilcoxon-rangtekentoets, die uitgaat van verschilwaarden (zie § 4.4.1). We hebben getoetst met 95% betrouwbaarheid.

Per combinatie van meetlocaties zijn de twee meetreeksen bij voorkeur vergeleken op basis van de meetwaarden, maar wel met de eis dat daarvoor minstens 10 gepaarde waarden nodig zijn. Om enige flexibiliteit in te bouwen, spreken we hier van gepaarde meetwaarden als een meetwaarde van de ene locatie binnen een venster van 2 dagen ligt vóór of ná het meettijdstip van een meetwaarde op de andere locatie. Als het niet lukte om zo minstens 10 gepaarde waarden te verkrijgen, is de vergelijking uitgevoerd op maandbasis, waarbij per maand is uitgegaan van de mediaan van de meetwaarden binnen die maand. En als dat ook nog geen 10 gepaarde waarden gaf, is de vergelijking uitgevoerd op kwartaalbasis.

Op basis van het resultaat van de statistische toets op een systematisch verschil tussen de twee reeksen en de mate waarin relevante kengetallen van de twee reeksen overeenstemmen, is tenslotte per paar meetlocaties een score toegekend aan de mate van overlap in informatie over de toestand, aan de hand van de criteria vermeld in onderstaande tabel 6.1.

Tabel 6.1: De score voor de mate waarin twee meetlocaties overlap vertonen in de informatie over de toestand hangt af van het resultaat van de statistische toets op een systematisch verschil tussen de twee reeksen en de mate waarin relevante kengetallen van de twee reeksen overeenstemmen.

Wilcoxon-rangtekentoets Verschil tussen reeksen?	%Verschil < 15%	Score
Nee	Zowel voor mediaan als voor P95	5
	Alleen voor mediaan of voor P95	3
	Nóch voor mediaan, nóch voor P95	1
Ja	Zowel voor mediaan als voor P95	3
	Alleen voor mediaan of voor P95	1
	Nóch voor mediaan, nóch voor P95	0

Toelichting op tabel 6.1.
De uitspraak omtrent '*Verschil tussen reeksen*' hangt af van het resultaat van de Wilcoxon-rangtekentoets. Die geldt voor gepaarde waarden en toetst of de mediaan van de verschil-reeks van de gepaarde waarden statistisch significant verschilt van nul. Bij het toetsen is een betrouwbaarheid van 95% gehanteerd.
Het oordeel wordt tevens bepaald door het feit of de geschatte medianen van de twee meetlocaties al of niet hooguit 15% verschillen. Tenslotte wordt het oordeel bepaald door het feit of de geschatte 95-percentielen van de twee meetlocaties al of niet hooguit 15% verschillen.
De grootheid *% Verschil* wordt zowel voor de mediaan als het 95-percentiel berekend als de absolute waarde van het verschil gedeeld door het gemiddelde van de twee kengetallen van de twee meetlocaties.

De beoordeling is dus gebaseerd op een vergelijking van een drietal zeer relevante kengetallen van de populaties meetwaarden van de twee meetlocaties, namelijk: (1) de mediaan van hun verschilreeks, dit is een centrummaat, (2) de medianen van de twee afzonderlijke reeksen en (3) de 95-percentielen van de twee afzonderlijke reeksen. Het 95-percentiel is een bijna-bovengrens, die soms de basis voor normtoetsing vormt. Aangezien dit alledrie robuuste statistische kengetallen zijn, zal de beoordeling niet of nauwelijks beïnvloed worden door eventuele uitschietende meetwaarden.

Criteria zijn onvermijdelijkerwijs enigszins arbitrair
De in tabel 6.1 vermelde criteria zijn gebaseerd op onze ervaringen met meetreeksen van de oppervlaktewaterkwaliteit. Desalniettemin zijn de criteria enigszins arbitrair. Om tot objectievere criteria te kunnen komen, moet er een koppeling gelegd kunnen worden met de gewenste effectiviteit van het meetnet oppervlaktewaterkwaliteit waar de beschouwde meetlocaties deel van uitmaken. Maar er zijn geen kwantitatieve maatstaven voorhanden voor die gewenste meetneteffectiviteit.

6.1.2 Overlap in informatie over het verloop in de tijd
En om een oordeel te kunnen vellen over de mate waarin er voor een bepaalde parameter informatieoverlap is voor wat betreft het verloop in de tijd, is de correlatiematrix van de meetreeksen van verschillende meetlocaties beschouwd. Een matrixcel vermeldt daarbij de correlatiecoëfficiënt van die parameter op twee meetlocaties.

De correlatiecoëfficiënt van twee reeksen is een maat voor de samenhang van hun gepaarde waarden. Aangezien reeksen van de oppervlaktewaterkwaliteit doorgaans niet voldoen aan een normale kansverdeling en ook uitschieters kunnen bevatten, is deze analyse niet uitgevoerd met de gebruikelijke Pearson-correlatiecoëfficiënt (deze is bijvoorbeeld stan-

daard in Excel beschikbaar), maar met de Spearman-rangcorrelatiecoëfficiënt, berekend als:

$$r_{Sp} = \frac{\sum_{t=1}^{n}(Rx_t \cdot Ry_t) - n \cdot \left(\frac{n+1}{2}\right)^2}{n \cdot (n^2 - 1)/12}$$

met Rx_t het rangnummer van x_t als de waarden van reeks X oplopend zijn gerangschikt, Ry_t hetzelfde voor reeks Y en n het aantal gepaarde waarden. Doordat deze correlatiecoëfficiënt uitgaat van rangnummers, is het een robuustere maat voor de samenhang van twee variabelen, die niet vertekend raakt door uitschieters.

Naarmate de patronen van twee reeksen meer op elkaar lijken, zal hun correlatiecoëfficient dichter bij de waarde 1 liggen. Dit geldt ongeacht het gemiddelde niveau van de twee reeksen. In die zin zegt de correlatiecoëfficiënt alleen iets over de mate waarin de twee reeksen een gelijkvormig verloop in de tijd vertonen, maar niets over de mate van overlap in de informatie over de toestand. Vandaar dat we het oordeel over de informatieoverlap niet alleen baseren op de correlatiecoëfficiënt, maar ook op de informatieoverlap voor wat betreft de toestandbeschrijving.

Op basis van de Spearman-rangcorrelatiecoëfficiënt is per paar meetlocaties een score toegekend aan de mate van overlap in informatie over het verloop in de tijd, aan de hand van de criteria vermeld in onderstaande tabel 6.2.

Tabel 6.2: De score voor de mate waarin twee meetlocaties overlap vertonen in de informatie over het verloop in de tijd hangt af van de grootte van de Spearman-rangcorrelatiecoëfficiënt.

Spearman-rangcorr.coëff.	Score
> 0,90	5
0,70 - 0,90	3
0,50 - 0,70	1
< 0,50	0

6.1.3 *Gecombineerde score*

Door per paar meetlocaties de twee scores voor informatieoverlap (toestand en verloop in de tijd) te sommeren, resulteert de gecombineerde score voor informatieoverlap. De maximale gecombineerde score is 10 en de minimale is 0.

6.2 Resultaten

De gecombineerde scores zijn berekend voor de parameters BZV5, chloride, feofytine, geleidendheid, totaal-stikstof, ammonium, Kjeldahl-stikstof, nitraat, nitriet, zuurstofverzadiging, totaal-fosfaat, orthofosfaat, pH, sulfaat, zuurstof, chroom, koper, nikkel, thermotolerante Coli-bacteriën en zwevende stof. De resultaten zijn vermeld in de digitale bijlage van dit rapport.

Aangezien de mate van informatieoverlap van twee meetlocaties voor een afzonderlijke parameter veel minder relevant is dan voor een aantal relevante parameters, hebben we uit de afzonderlijke resultaten voor de parameters BZV5, chloride, geleidendheid, totaal-stikstof, zuurstofverzadiging, totaal-fosfaat en pH een gemiddelde gecombineerde score berekend. Deze is vermeld in tabel 6.3.

Tabel 6.3: Matrix van de gemiddelde gecombineerde score voor informatieoverlap, berekend uit de afzonderlijke scores voor de parameters BZV5, chloride, geleidendheid, totaal-stikstof, zuurstofverzadiging, totaal-fosfaat en pH.

Meetlocatie	4062	4109	4112	4113	4132	4133	4138	4162	4163	4166	4167	4504	4505	4507	5106	5109	5131	6047	6108	6109	6129	6130	6142	6143	6144	6145	6146	6171	6172	6175	6176	6177
4062		1	2	3		2		2	2	1	2				1			2	2	2	2			0	0	8		2	2	2	2	2
4109			5	3		2		2	2	2	2	2	2	1	2	3	4	1	2	4	2	2	1	2	6	3		4	5	4	2	3
4112				4		4		3	4	3	2	2	2	1	5	4	3	1	3	5	4	2	1	4	4	3		5	4	5	1	4
4113						4		3	4	3	2	1	3	1	3	4		1	1	2	2		1	4	2	2		3	2	2	2	2
4132						2									2		2				2	2	1	2	2	2	2					
4133								2	3	3	2	2	2	1	3	3	4	1	2	3	2	3	1	3	2	2	1	3	3	4	2	3
4138																																
4162									4	3	3	2	3	2	2	1		1	2	2	3		2	4	2	2		3	3	3	2	3
4163										3	2	1	3	1	3	2		1	3	3	2		1	4	2	2		4	4	3	2	4
4166											3	1	2	0	2			0	2		2		1	2	2	1		3	1	1	1	1
4167												1	2	1	2			2	2	3	3		2	2	3	2		2	1	3	2	2
4504													2	1	2															2	1	3
4505														1	2															0	0	0
4507															1															0	1	1
5106																5	3	0	4	4	2	3	1	3	2	4	3	5	7	5	2	4
5109																				5				3	2			4	5	3	1	3
5131																			3		3	2	2	4	3	4	5					
6047																			1	2	1			1	1	0		1	1	1	2	2
6108																				6	2	2	2	4	3	5		5	4	6	3	4
6109																					5			5	3			8	4	5	2	4
6129																						6	1	2	2	3	3	3	2	3	2	4
6130																							1	4	2	4	3					
6142																								2	1	2	1	0	0			
6143																									2	3	1	4	2	4	3	4
6144																										4	5	3	2	4	2	2
6145																											6	4	3	5	3	5
6146																																
6171																													4	6	3	4
6172																														5	2	4
6175																															3	5
6176																																3
6177																																

Toelichting op de matrix van gemiddelde scores

Per cel is de gemiddelde score voor informatieoverlap van de twee betrokken meetlocaties vermeld, zoals berekend uit de scores voor de 7 vermelde parameters. Alleen het deel van de matrix boven de diagonaal is gevuld, het deel onder de diagonaal is immers het spiegelbeeld van het deel daarboven.

Als er voor geen van de 7 parameters een score kon worden berekend (doordat er te weinig gepaarde waarden zijn), is de cel leeg. Bij een gemiddelde score van 0 t/m 1 is de cel niet gekleurd, bij een gemiddelde score van 2 t/m 3 is de cel lichtgeel gekleurd, bij een gemiddelde score van 4 t/m 6 is de cel lichtgroen gekleurd en bij een gemiddelde score van 7 of meer is de cel blauw gekleurd.

We mogen spreken van een grote mate van informatieoverlap tussen twee meetlocaties als hun gemiddelde score minstens 7 is. Uit tabel 6.3 blijkt dat er in slechts drie gevallen een grote mate van informatieoverlap is tussen twee meetlocaties. Het betreft:

1. Meetlocaties 4062 (camping De Akkerhoeve, Niebert) en 6145 (Wilpstervaart), gelegen op 8,2 km van elkaar. De gemiddelde score is 8,0. Maar een nadere beschouwing leert dat dit gemiddelde slechts uit 1 parameter is berekend (namelijk pH), daar er voor de overige 6 parameters niet voldoende gepaarde waarden beschikbaar waren. Bovendien kon de score voor de pH slechts worden berekend door de reeksen op maandbasis te vergelijken.
2. Meetlocaties 5106 (Leeksterhoofddiep, kade Leek) en 6172 (Leeksterhoofddiep Leek), gelegen op 1,35 km van elkaar. De gemiddelde score is 7,1 en berekend uit 7 parameters.
3. Meetlocaties 6109 (Jonkersvaart) en 6171 (Leeksterhoofddiep, wal Diepswal), gelegen op 2,58 km van elkaar. De gemiddelde score is 8,4 berekend uit 7 parameters.

Uit bovenstaande concluderen we dat er slechts in twee gevallen een grote mate van informatieoverlap voor een aantal relevante parameters is geconstateerd tussen twee meetlocaties.

6.3 Samenvattende conclusies

We zijn voor een aantal parameters van de waterkwaliteit nagegaan in welke mate meetlocaties informatieoverlap vertonen, zowel voor wat betreft de toestand als voor wat betreft het verloop in de tijd.

Slechts in twee gevallen is er een grote mate van informatieoverlap voor een aantal relevante parameters geconstateerd tussen twee meetlocaties. Zo vertonen de meetlocaties 5106 (Leeksterhoofddiep, kade Leek) en 6172 (Leeksterhoofddiep Leek), gelegen op 1,35 km van elkaar, veel informatieoverlap, evenals de meetlocaties 6109 (Jonkersvaart) en 6171 (Leeksterhoofddiep, wal Diepswal), gelegen op 2,58 km van elkaar.

Geraadpleegde literatuur

Baggelaar, P.K. (1988): 'Tijdreeksanalyse bij verlagingsonderzoek: principe en voorbeeld'. H2O (21), 1988, Nr. 16, blz. 443 – 450.

Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2007): 'Trendanalist Gebruikershandleiding'. Icastat Statistisch Adviesbureau, Amstelveen en AMO Adviesbureau Modellering en Optimalisatie, Hengelo, februari 2007.

Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976): 'Time Series Analysis, Forecasting and Control'. Holden Day, San Francisco.

Bradley, J.V. (1968): 'Distribution-Free Statistical Tests'. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 388 blz.

Cleveland, W.S. (1979): 'Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots'. Journal of American Statistical Association 74, blz. 829 – 836.

Gilbert, R.O. (1987): 'Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring'. Van Nostrand Reinhold, New York, 320 blz.

Helsel, D.R. and Hirsch, R.M. (1988): 'Discussion of paper by R.H. Montgomery and J.C. Loftis: Applicability of the t-test for detecting trends in water quality variables'. Water Resources Bulletin, vol. 24, blz. 201 - 204.

Helsel, D.R. and Hirsch, R.M. (1992): 'Statistical Methods in Water Resources'. Studies in Environmental Science 49. Elsevier, Amsterdam, 510 blz.

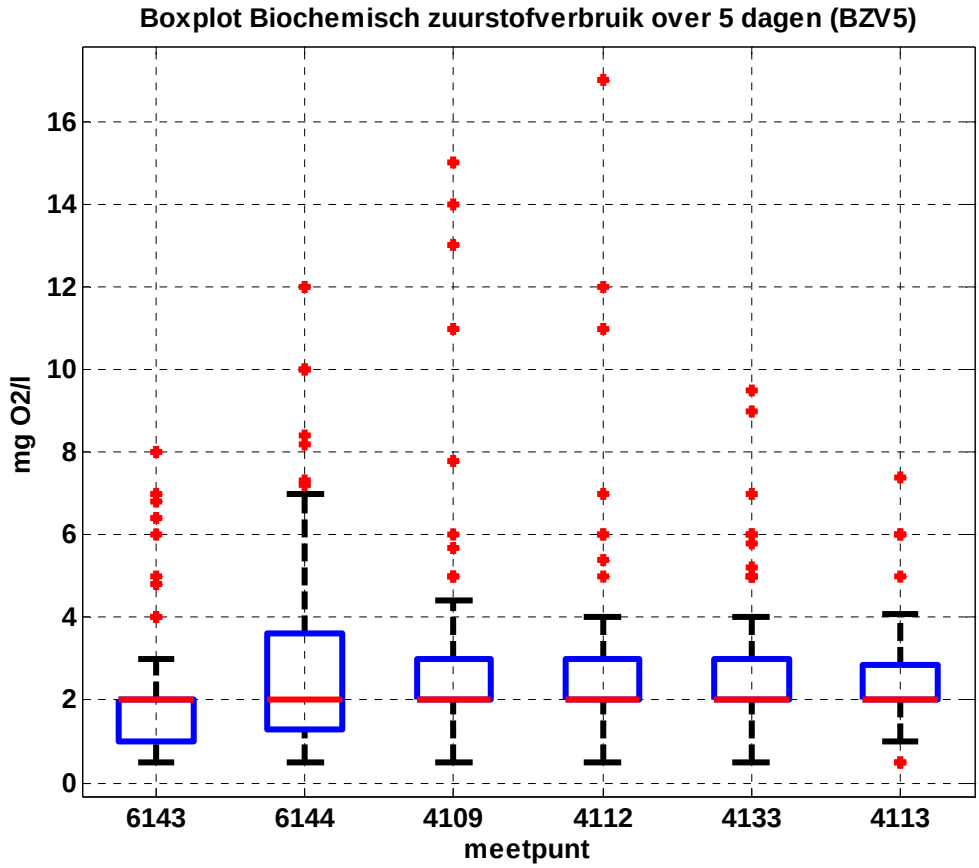
Hirsch, R.M., Alexander, R.B. and Smith, R.A. (1991): 'Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality'. Water Resources Research, vol. 27, no. 5, blz. 803 - 813, May 1991.

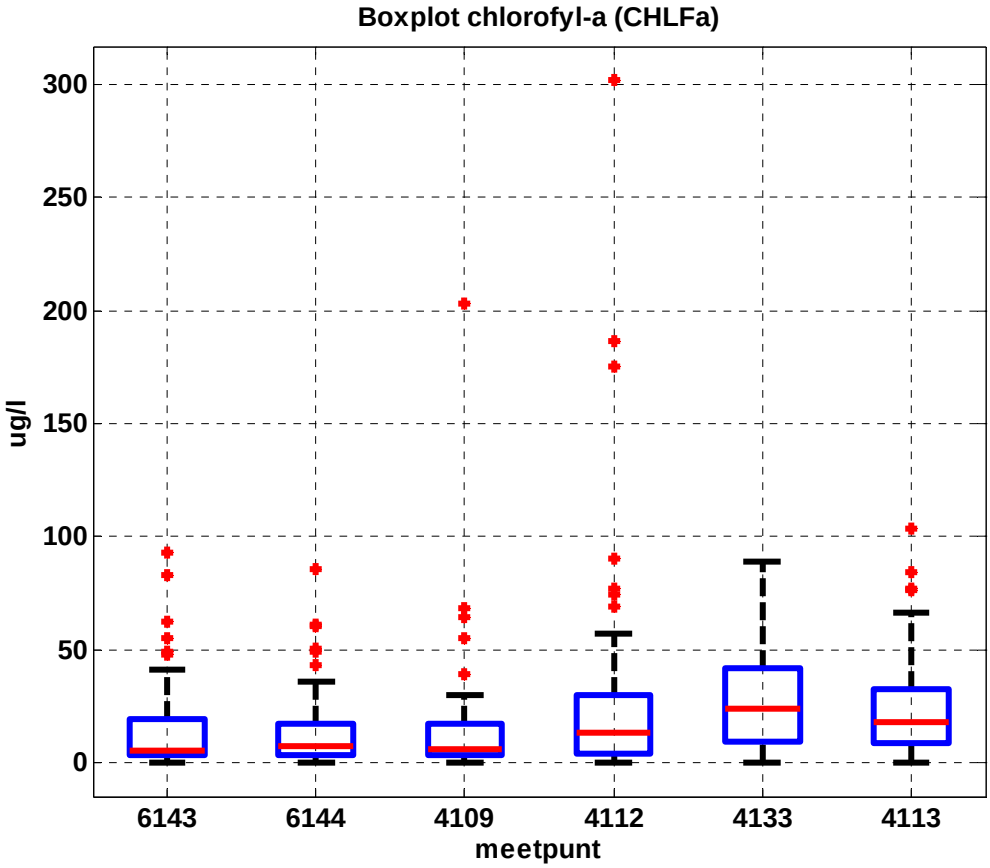
Van der Meulen, E.C.J. (2007): 'Handleiding Tijdreeksanalist'. AMO Adviesbureau Modellering en Optimalisatie, Hengelo.

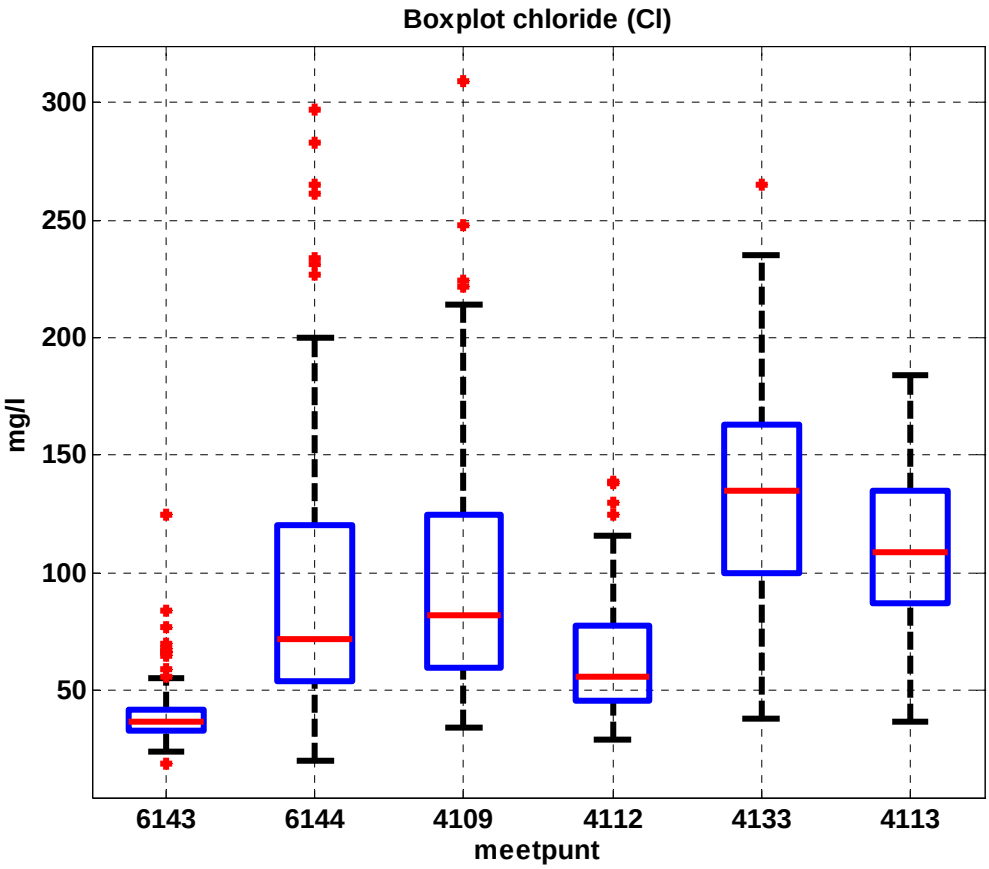
Waterschap Noorderzijlvest (2008): 'Waterlichaam Oude Diep-Dwarsdiep – Doelstellingen, maatregelen en kosten - Europese Kaderrichtlijn Water'. Versie 4, 1 augustus 2008, Groningen, 27 blz.

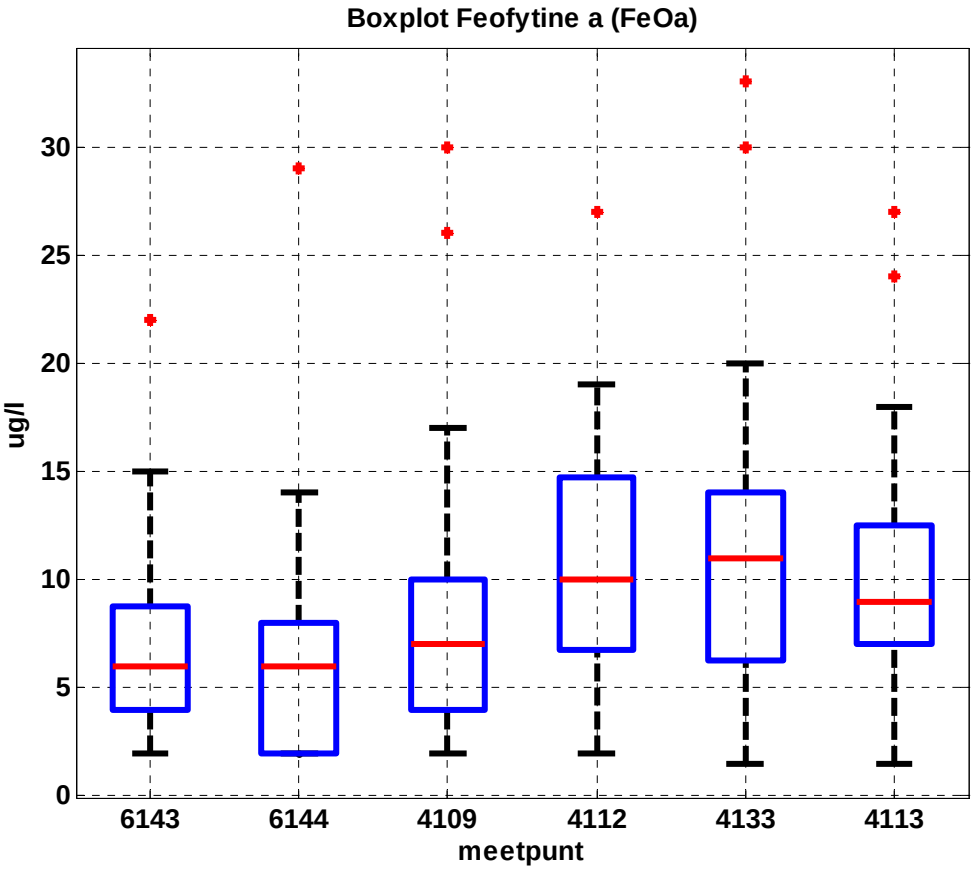
Waterschap Noorderzijlvest (geen datum): 'Kaderrichtlijn Water Waterlichaam Matsloot – Status, doelstellingen en maatregelen. Concept, Groningen, 25 blz.

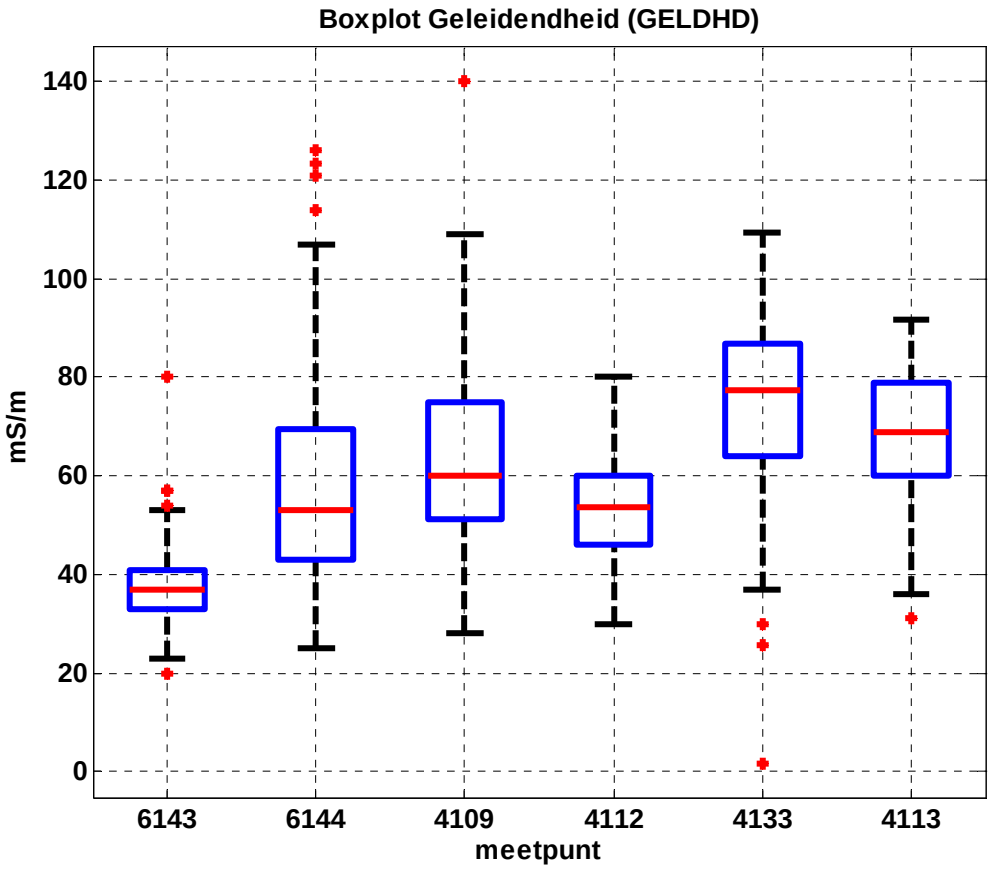
Bijlage: Boxplots meetlocaties hoofwaterloop vanaf 1990

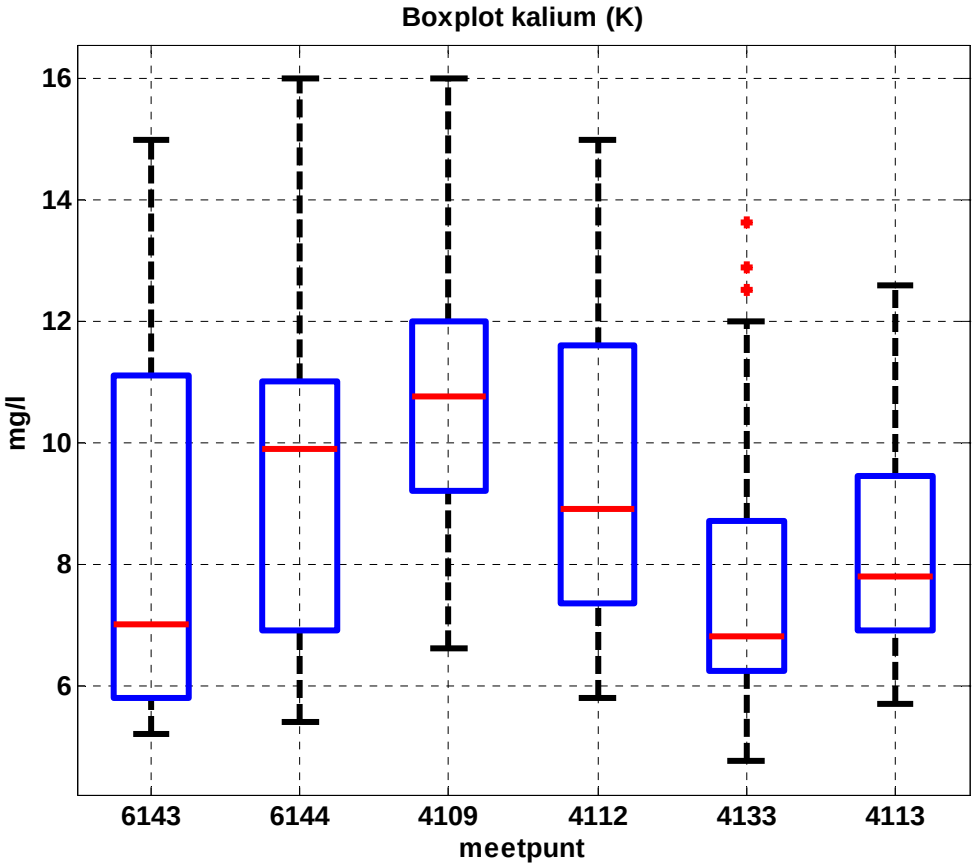


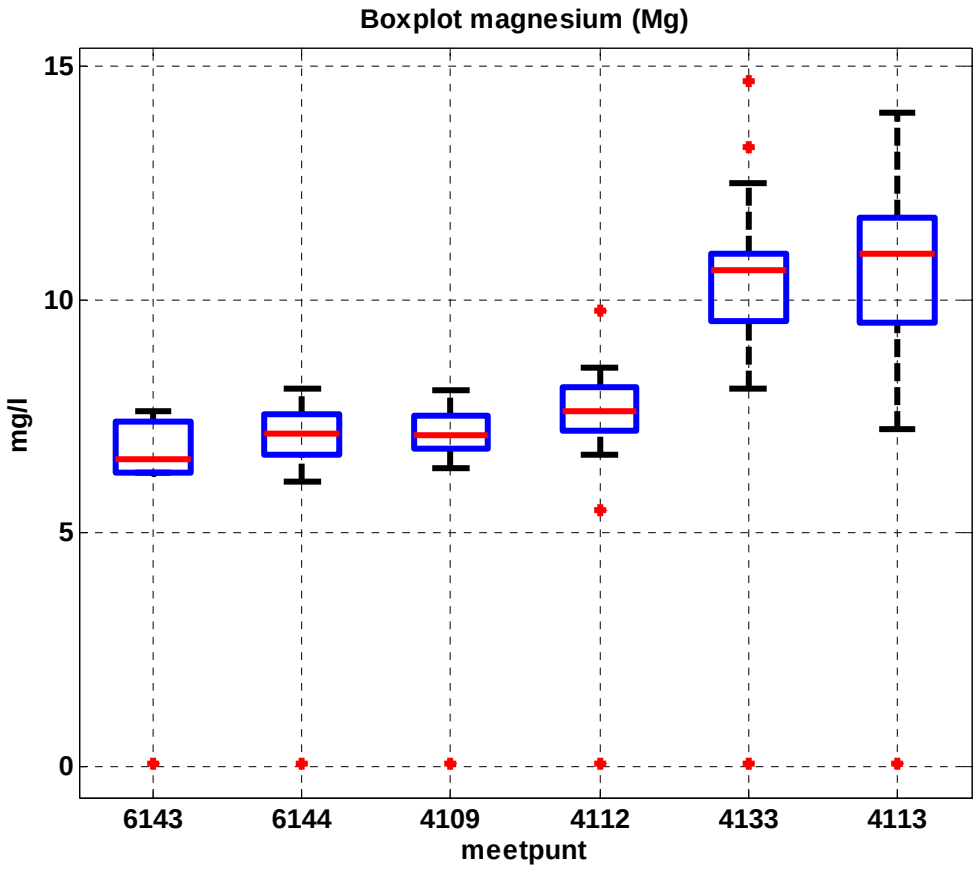


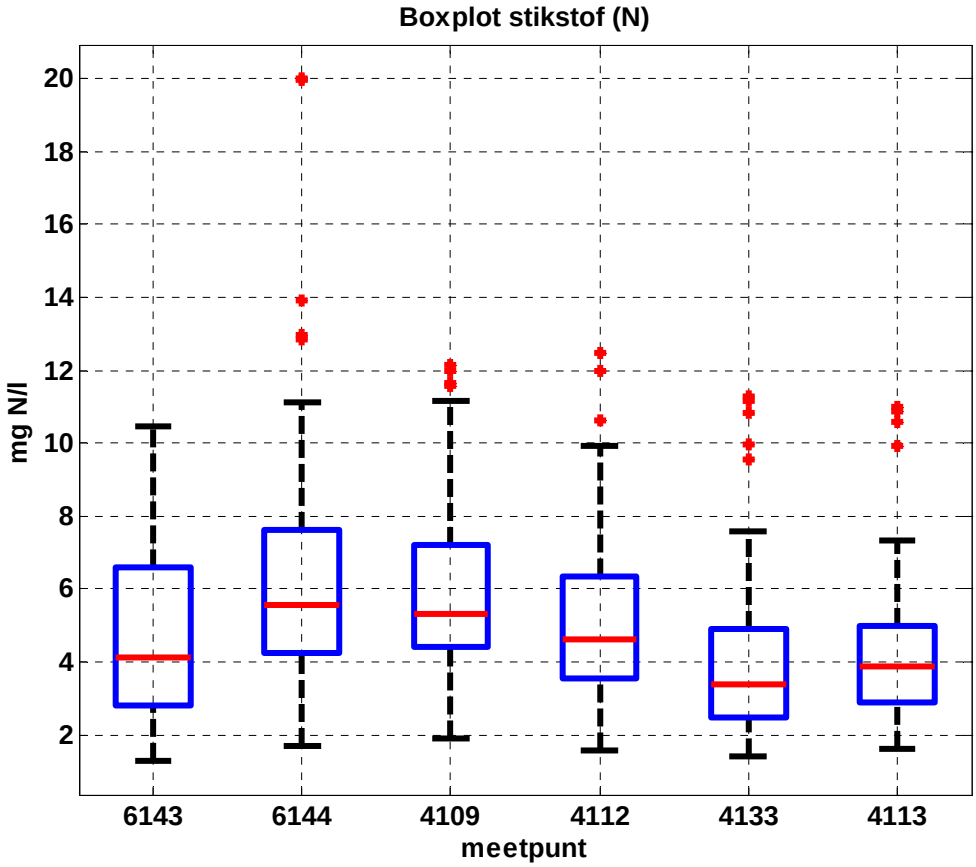

Boxplot chloride (Cl)
mg/l
300
250
200
150
100
50
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

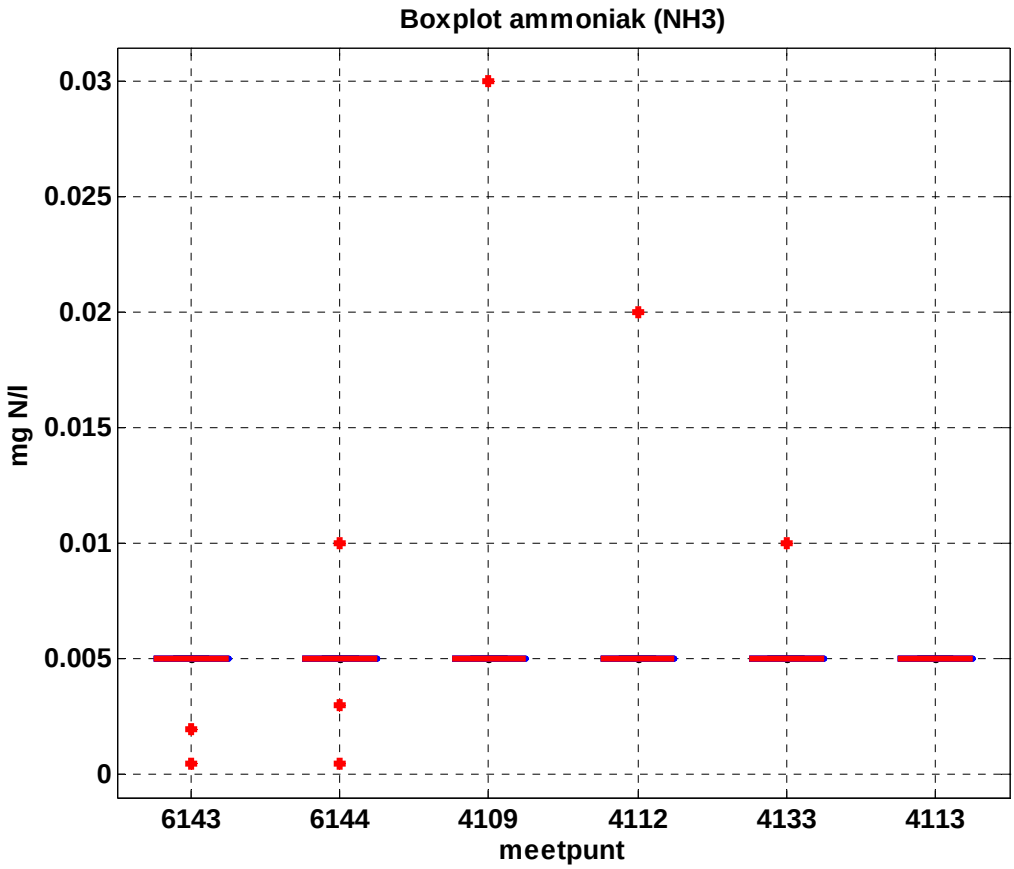

Boxplot Feofytine a (FeOa)
ug/l
30
25
20
15
10
5
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

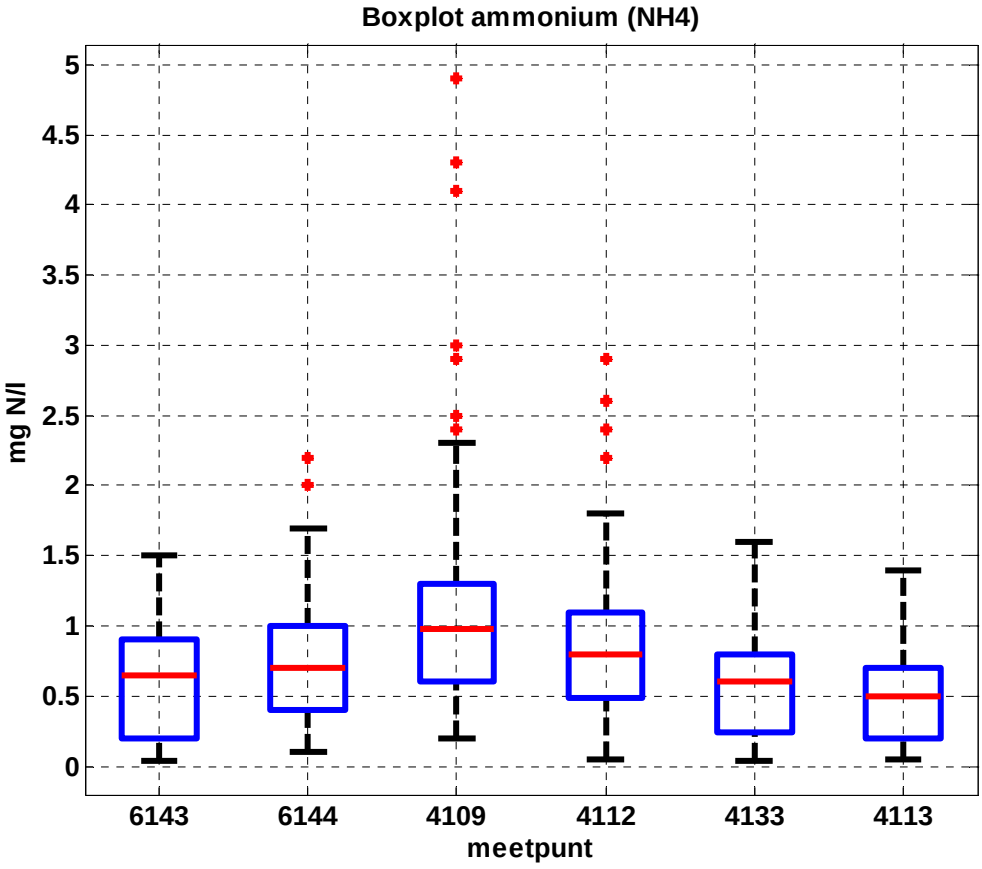

Boxplot Geleidendheid (GELDHD)
mS/m
140
120
100
80
60
40
20
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

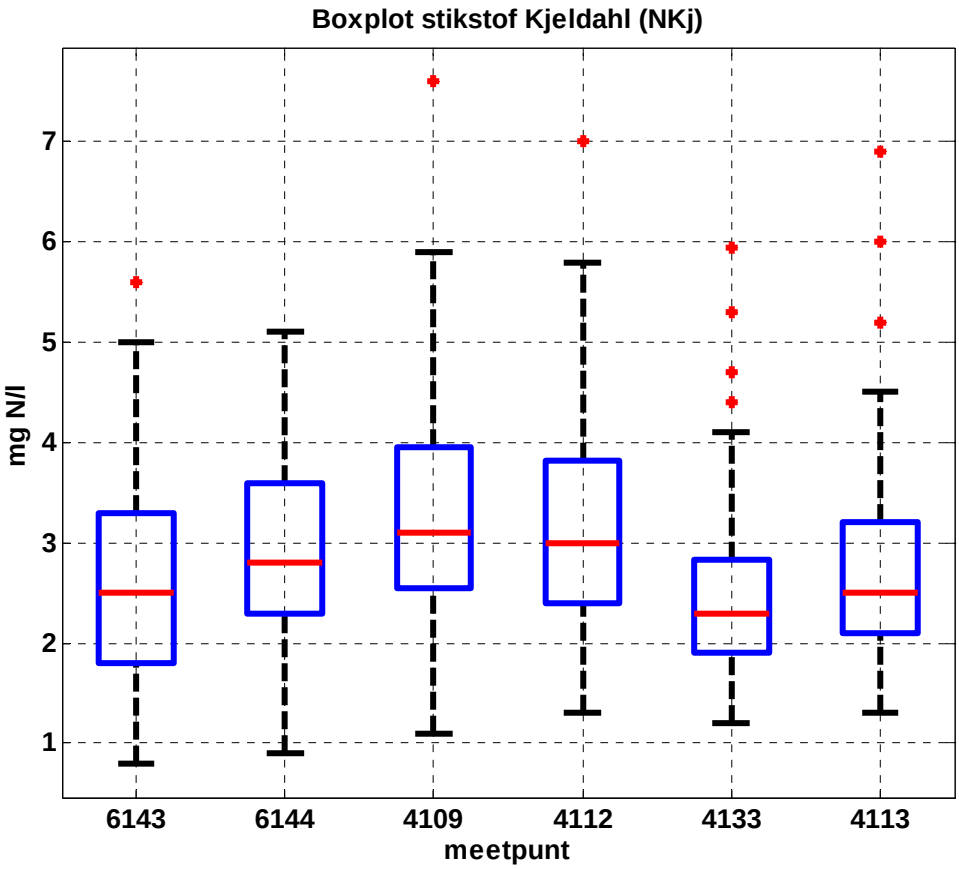

Boxplot kalium (K)
mg/l
16
14
12
10
8
6
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

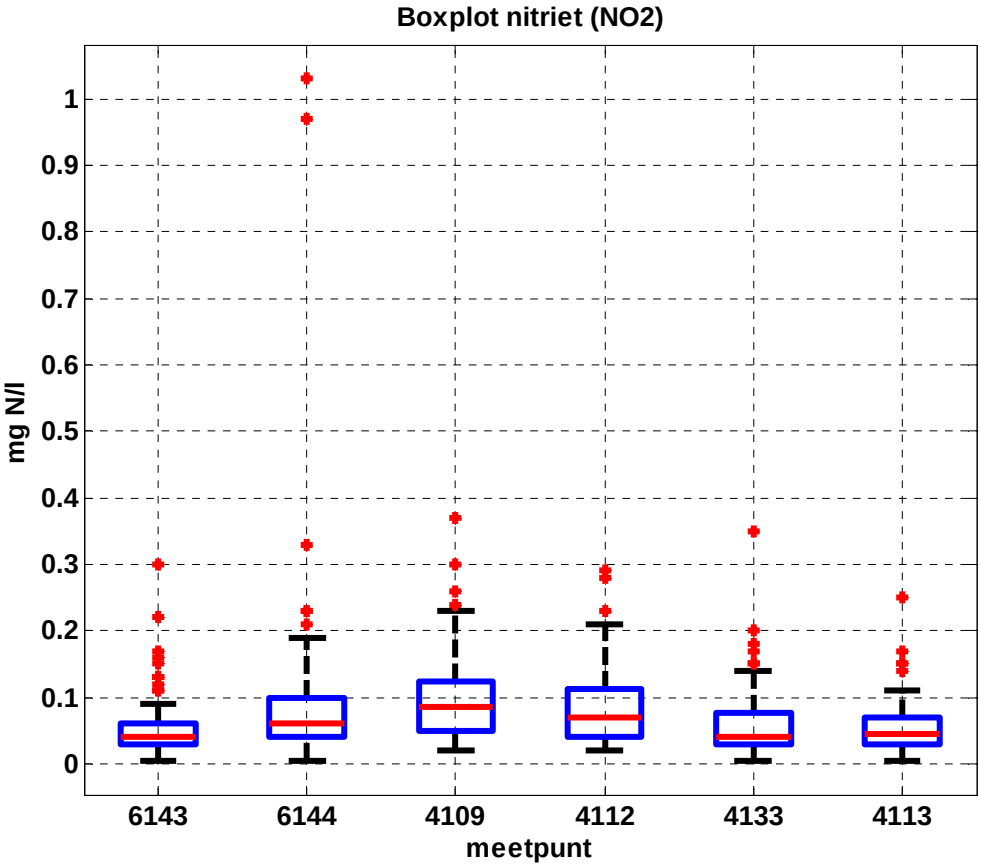

Boxplot magnesium (Mg)
mg/l
15
10
5
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

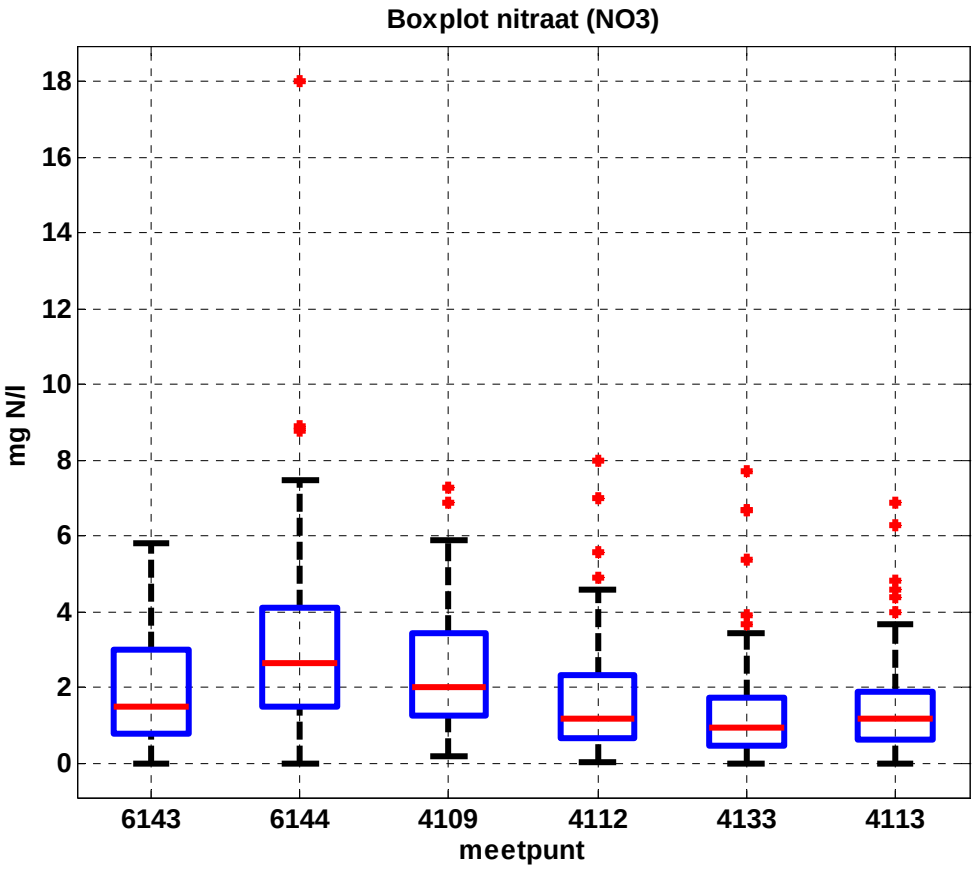

Boxplot stikstof (N)
mg N/l
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

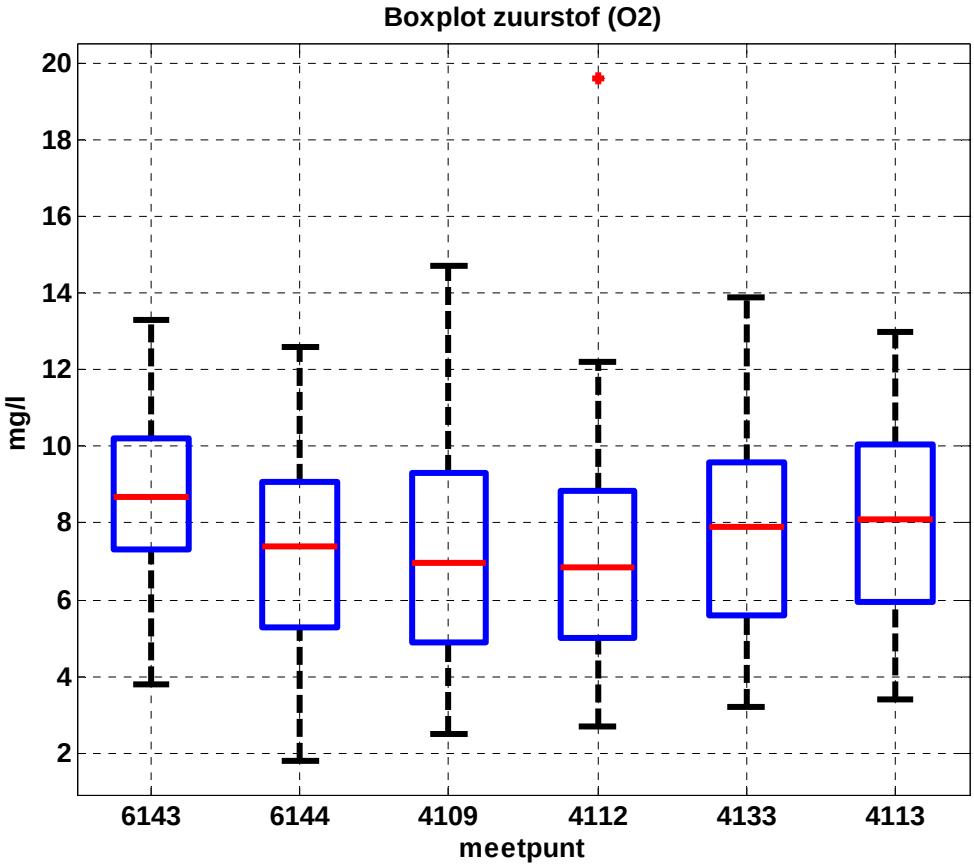

Boxplot ammoniak (NH3)
mg N/l
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

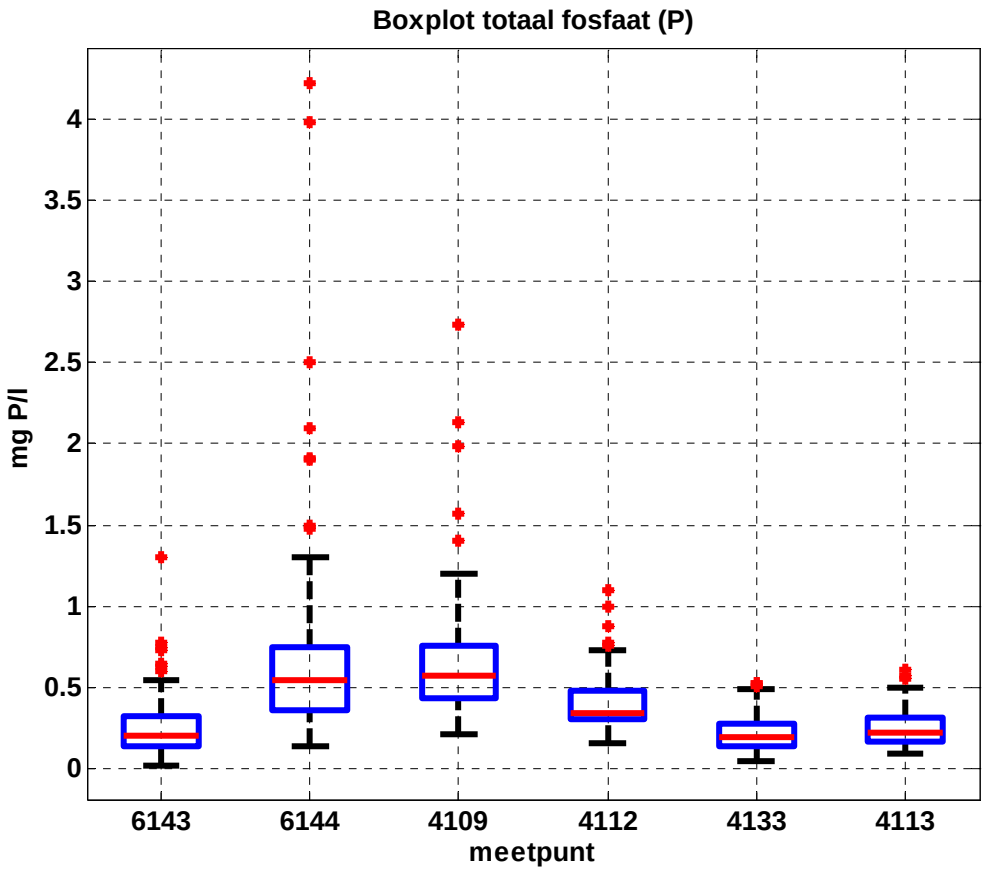

Boxplot ammonium (NH4)
mg N/l
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

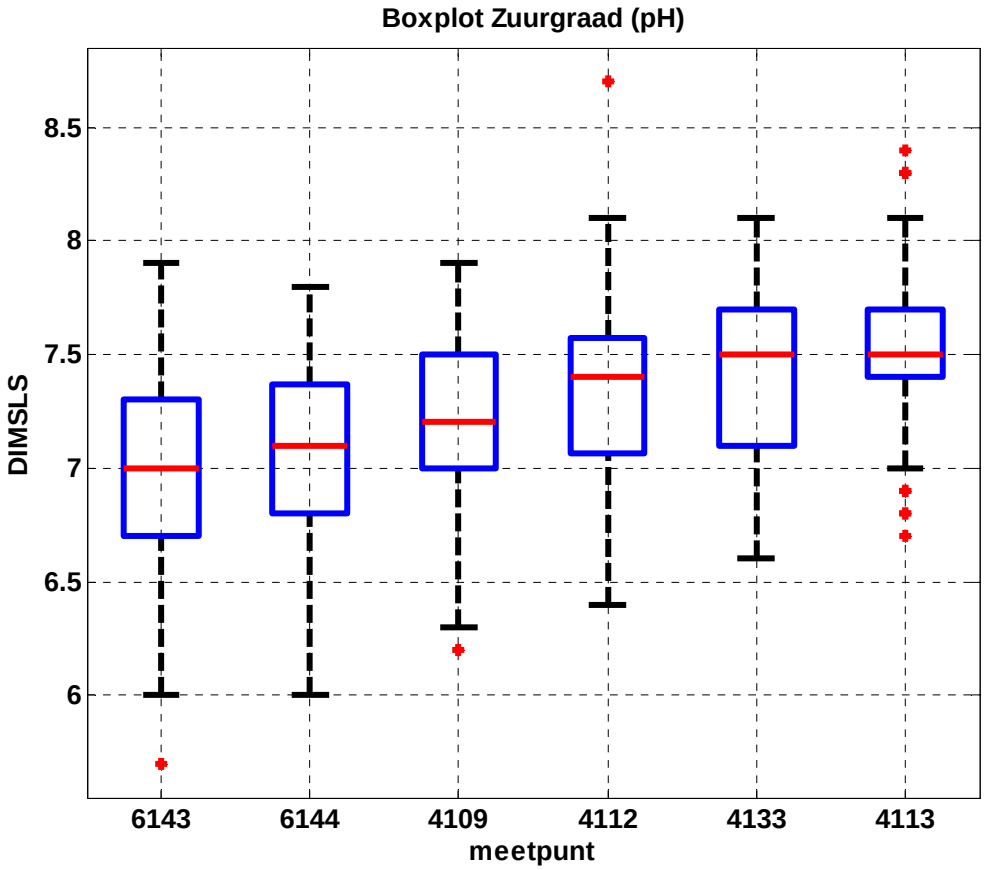

Boxplot stikstof Kjeldahl (NKj)
mg N/l
1
2
3
4
5
6
7
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

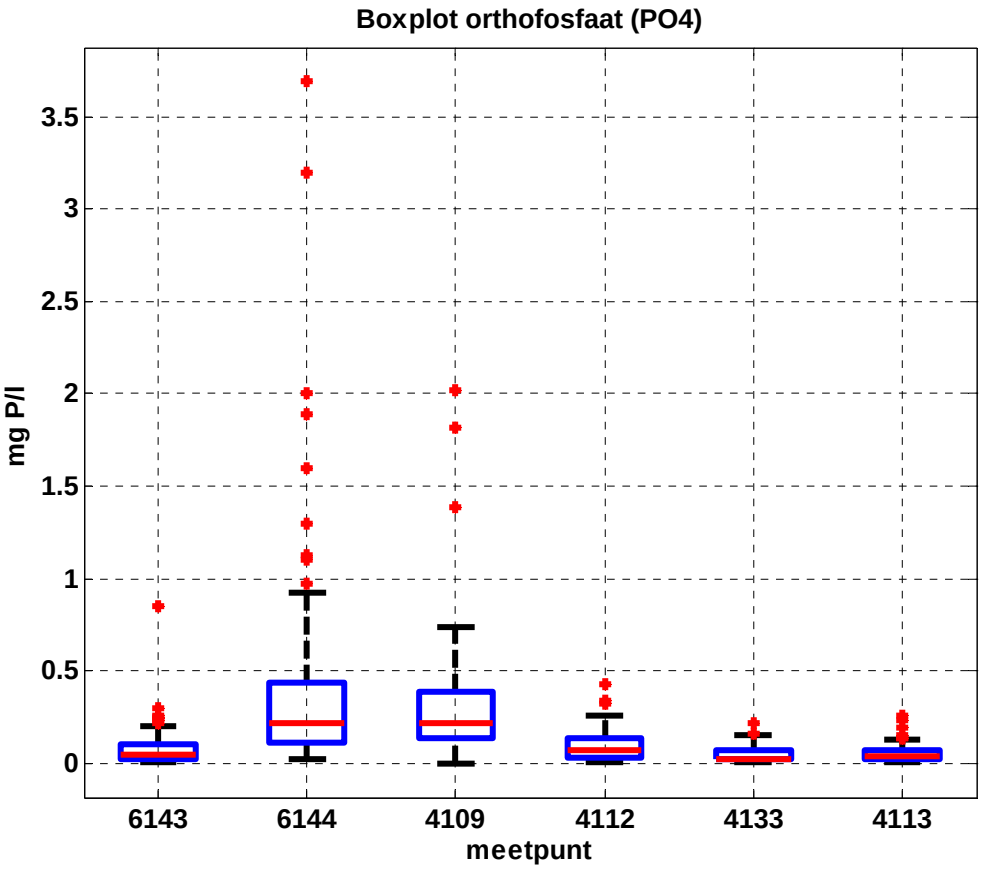

Boxplot nitriet (NO2)
mg N/l
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

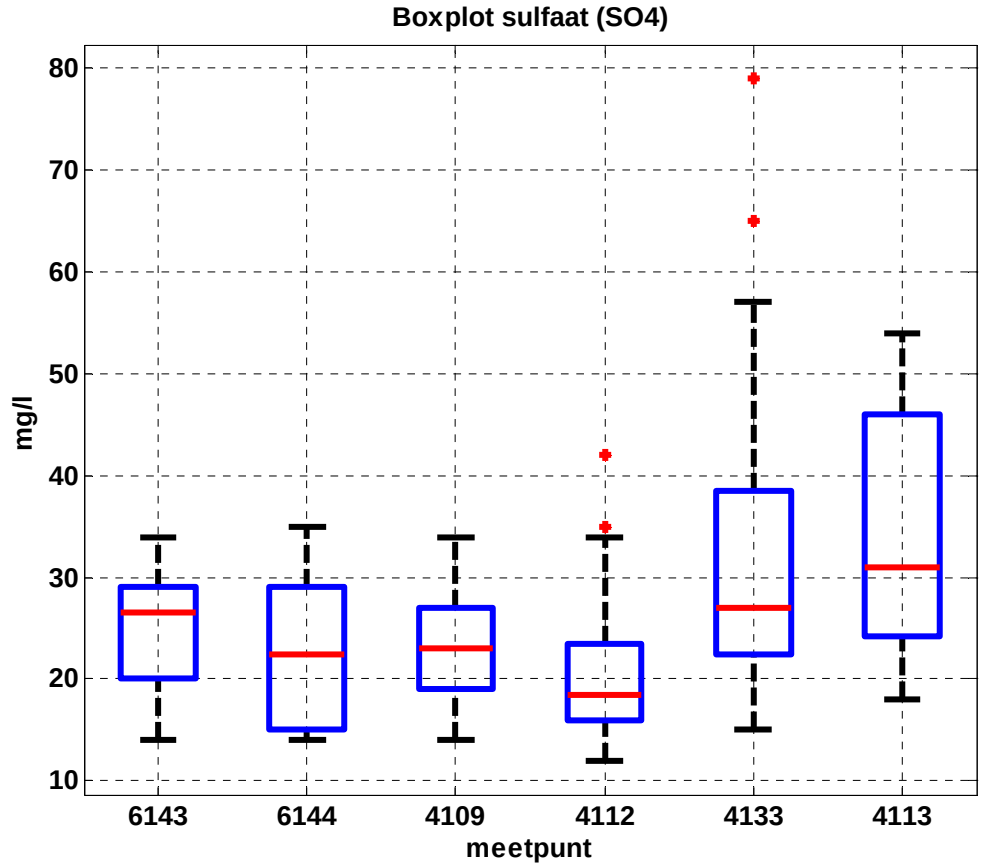

Boxplot nitraat (NO3)
mg N/l
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt

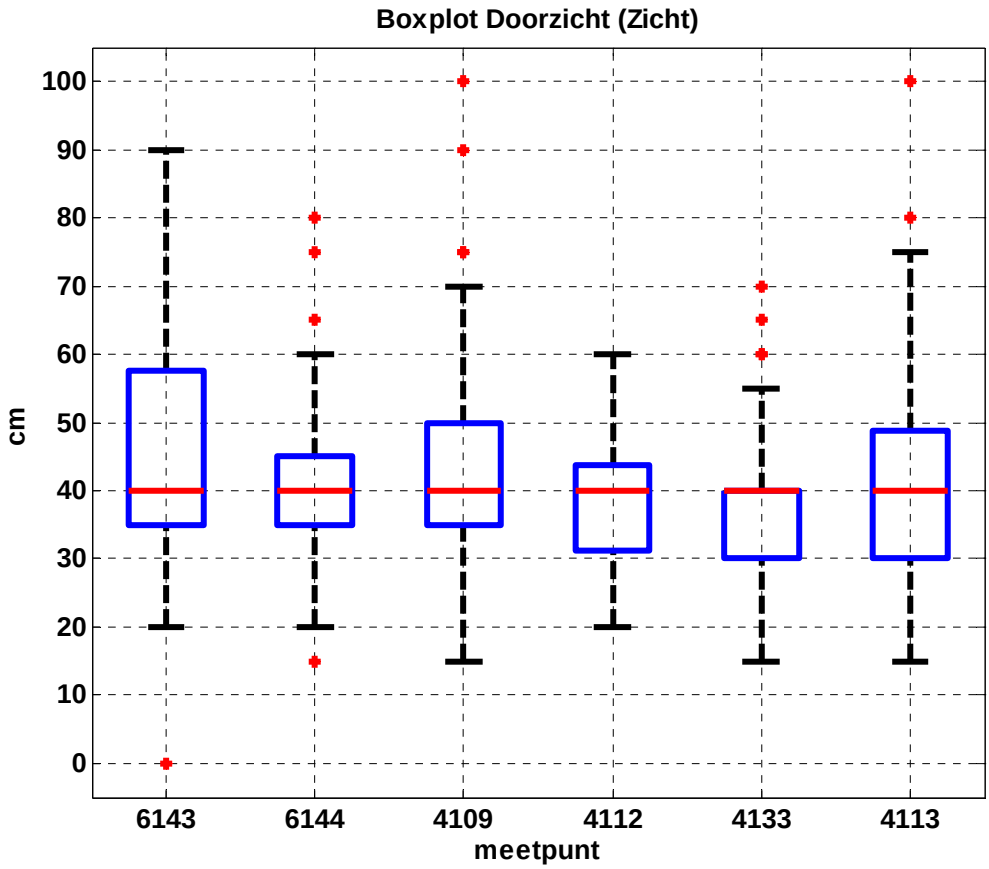

Boxplot zuurstof (O2)
mg/l
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt


Boxplot totaal fosfaat (P)
mg P/l
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt


Boxplot Zuurgraad (pH)
DIMSLS
8.5
8
7.5
7
6.5
6
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt


Boxplot orthofosfaat (PO4)
mg P/l
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt


Boxplot sulfaat (SO4)
mg/l
80
70
60
50
40
30
20
10
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt


Boxplot Doorzicht (Zicht)
cm
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
6143
6144
4109
4112
4133
4113
meetpunt