

Is de oppervlaktewaterkwaliteit van waterschap Rijn en IJssel recent verslechterd?



Modellering en Optimalisatie



Statistisch Adviesbureau

juli 2011

Is de oppervlaktewaterkwaliteit van waterschap Rijn en IJssel recent verslechterd?

Opdrachtgever: Waterschap Rijn en IJssel

Auteurs: Paul K. Baggelaar en Eit C.J. van der Meulen

juli 2011



Modellering en Optimalisatie



Statistisch Adviesbureau

INHOUD

SAMENVATTING	2
1 INLEIDING.....	5
1.1 VRAAGSTELLING.....	5
1.2 GEVOLGDE WERKWIJZE	5
1.3 OVER DIT RAPPORT	6
2 VOORBEWERKING UITGANGSGEGEVENS.....	7
2.1 ONTVANGEN GEGEVENS	7
2.2 OMGANG MET UITSCHIETERS	8
2.3 OMGANG MET GECENSUREERDE WAARDEN	8
2.4 SAMENSTELLEN VAN GEAGGREGEERDE REEKSEN.....	9
3 VERGELIJKEN TRENDS OVER VERSCHILLENDE PERIODEN.....	10
3.1 WERKWIJZE.....	10
3.2 VERGELIJKEN TRENDS 1995 T/M 2010 EN 2000 T/M 2010	11
3.2.1 Afzonderlijke reeksen	11
3.2.2 Geaggregeerde reeksen	13
3.3 VERGELIJKEN TRENDS 2000 T/M 2007 EN 2008 T/M 2010	13
3.3.1 Afzonderlijke reeksen	13
3.3.2 Geaggregeerde reeksen	17
3.4 CONCLUSIES.....	17
4 AFZETTEN REALISATIES TEGEN MODELEXPOLATIES.....	18
4.1 WERKWIJZE.....	18
4.2 RESULTATEN AFZONDERLIJKE REEKSEN	20
4.3 RESULTATEN GEAGGREGEERDE REEKSEN	21
4.4 CONCLUSIES.....	21
5 INTERVENTIE-ANALYSE	23
5.1 WERKWIJZE.....	23
5.2 RESULTATEN AFZONDERLIJKE REEKSEN	24
5.3 RESULTATEN GEAGGREGEERDE REEKSEN	24
5.4 CONCLUSIES.....	24
LITERATUUR	25
BIJLAGE - CONCENTRATIES N EN P IN 2009 EN 2010 BOVENGEMIDDELD?	26

Samenvatting

Om na te gaan of de oppervlaktewaterkwaliteit in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel recent is verslechterd, zijn meetreeksen geanalyseerd van de parameters totaal-stikstof, totaal-fosfor, ammonium, sulfaat, koper en zink, zoals gemeten op een aantal meetpunten.

Uitgevoerde statistische analyses

Er zijn drie verschillende soorten statistische analyse uitgevoerd, namelijk:

1. Vergelijken trends over verschillende perioden.
2. Afzetten realisaties tegen model extrapolaties.
3. Toetsen op verslechtering met interventie-analyse.

De trendanalyse richt zich ondermeer op recente verslechtingen van de waterkwaliteit, terwijl de andere twee analyses zich meer richten op recente verslechtingen in de *ontwikkeling* van de waterkwaliteit, aangezien zij rekening houden met die ontwikkeling.

Voor de analyses 2 en 3 is per parameter uitgegaan van de tijdreeks van het jaarlijkse kengetal waarmee wordt getoetst aan de kwaliteitsnorm (zie onderstaande tabel).

Parameter	Relevant jaarlijks kengetal
totaal stikstof	zomergemiddelde (apr t/m sep)
totaal fosfor	zomergemiddelde (apr t/m sep)
ammonium	jaargemiddelde
sulfaat	90-percentiel
koper	90-percentiel
zink	jaargemiddelde

De analyses zijn uitgevoerd voor elke meetreeks afzonderlijk, per parameter en per combinatie van parameter en bodemsoort, respectievelijk KRW-type.

Uitgangsmateriaal

Er bleken meetreeksen van 19 meetpunten geschikt voor deze studie. Onderstaande tabel geeft aan hoe deze zijn verdeeld over bodemsoort en KRW-watertype.

Bodemsrt	Aantal mp	KRW-type	Aantal mp	Omschrijving
keileem	3	M3	3	gebufferd regionaal kanaal
klei	6	R5	13	langzaam stromende midden-/benedenloop op zand
rivierklei	1	R6	3	langzaam stromend riviertje op zand/klei
zand	9			
Totaal	19	Totaal	19	

Per parameter zijn ook 7 geaggregeerde reeksen geanalyseerd, namelijk 1 geaggregeerde reeks van alle reeksen, 3 geaggregeerde reeksen van de reeksen per bodemsoort (keileem, klei en zand) en 3 geaggregeerde reeksen van de reeksen per KRW-type (M3, R5 en R6).

1. Vergelijken trends over verschillende perioden

Per reeks is - voor zover deze daarvoor geschikt is - statistische trendanalyse uitgevoerd over vier verschillende perioden, namelijk (1) 1995 t/m 2010, (2) 2000 t/m 2010, (3) 2000 t/m 2007 en (4) 2008 t/m 2010.

De meerderheid van de meetpunten gaf over de periode 1995 t/m 2010 verbeteringen te zien voor wat betreft totaal-stikstof, totaal-fosfor, sulfaat en zink. Over de recentere periode 2000 t/m 2010 gaf de meerderheid van de meetpunten verbeteringen te zien voor

wat betreft totaal-stikstof, sulfaat en koper. Over beide perioden traden slechts op een paar meetpunten verslechtingen op, namelijk voor ammonium en totaal-fosfor. In de periode 2008 t/m 2010 traden er minder (statistisch significante) trends op dan in de periode 2000 t/m 2007. De meest voorkomende combinatie bleek dat het soort trend over de periode 2000 t/m 2007 gelijk was aan dat over de periode 2008 t/m 2010. Verder trad er ook relatief vaak afvlakking op (van daling of stijging naar geen trend). Er zijn slechts enkele verslechtingen opgetreden en dan alleen nog bij ammonium (op 2 van de 19 meetpunten) en totaal-stikstof (op 1 van de 19 meetpunten). Het aantal verslechtingen (3) bleek evenwel vrijwel gelijk aan het aantal verbeteringen (4). Op geen van de meetpunten is een trendomkering opgetreden (van daling naar stijging of van stijging naar daling). Er is dus geen algehele verslechting van de oppervlaktewaterkwaliteit geconstateerd. Uit statistische toetsing bleek dat er alleen voor totaal-stikstof een statistisch significant verschil is in geschatte jaartrends over de perioden 2000 t/m 2007 en 2008 t/m 2010. Dit is een indicatie dat er voor deze parameter vanaf 2008 een verslechting is opgetreden. Maar de implicatie van deze constatering is zeer beperkt, aangezien het een periode van slechts drie jaar betreft.

2. Afzetten realisaties tegen modelextrapolaties

Per reeks is een lineair regressiemodel afgeleid voor het verloop van het jaarlijks kengetal over de periode 2000 t/m 2007, met als invoerreeksen: 1. het jaartal en 2. zo mogelijk ook het jaargemiddelde (of zomergemiddelde voor totaal-stikstof en totaal-fosfor) van het potentieel neerslagoverschot. Vervolgens is met dit model voor elk van de jaren 2008, 2009 en 2010 afzonderlijk de voorspelgrens van het kengetal berekend. Als één van deze drie jaarlijkse kengetallen hoger ligt dan de voorspelgrens, dan is er met 95% betrouwbaarheid sprake van een verslechting van de ontwikkeling.

Er bleek slechts voor 5 van de 114 meetreeksen sprake van een overschrijding van de voorspelgrens in 2008, 2009 of 2010. Dit betrof 1 reeks van totaal-stikstof (GRK11 in 2009), 2 reeksen van totaal-fosfor (BAB01 en VEG02, beide in 2010) en 2 reeksen van koper (BER04 en GRK11, beide in 2008). Aangezien het percentage reeksen met een overschrijding van de voorspelgrens in de periode 2008 t/m 2010 4,4% bedraagt van het totaal en dit vrijwel gelijk aan is het te verwachten percentage van 5% - we toetsen immers met 95% betrouwbaarheid - wijzen deze resultaten niet op een recente algehele verslechting van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit. Verder bleek er voor geen van de geaggregeerde reeksen sprake van een overschrijding van de voorspelgrens in 2008, 2009 of 2010.

3. Toetsen op verslechting met interventie-analyse

Per reeks is weer een lineair regressiemodel afgeleid voor het verloop van het jaarlijks kengetal, maar ditmaal over de gehele periode 2000 t/m 2010 en nu met als invoerreeksen: 1. het jaartal, 2. zo mogelijk het jaargemiddelde (of zomergemiddelde voor totaal-stikstof en totaal-fosfor) van het potentieel neerslagoverschot en 3. een interventie-variabele. Deze laatste is een [0,1]-variabele die het gepostuleerde patroon van de te toetsen verandering vertegenwoordigt. Er zijn modellen afgeleid met twee varianten van dat laatste patroon, namelijk een staptoename van de concentratie vanaf 2008 en een lineaire toename van de concentratie vanaf 2008.

Er bleek slechts voor 5 van de 114 meetreeksen sprake van een statistisch significante verslechting van de ontwikkeling vanaf 2008. Dit betrof 1 reeks van totaal-stikstof (GRK11), 1 reeks van totaal-fosfor (VEG02), 1 reeks van sulfaat (KEB02) en 2 reeksen van zink (GRS11 en OIJ00).

Het aandeel van de reeksen met een statistisch significante verslechting van de ontwikkeling vanaf 2008 bedraagt 4,4% van het totaal. Aangezien dit nauwelijks afwijkt van de 5% die verwacht mag worden - we toetsen immers met 95% betrouwbaarheid - wijzen de resultaten van dit onderdeel niet op een recente algehele verslechting van de

ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit. Verder bleek er voor geen van de geaggregeerde reeksen sprake van een statistisch significante verslechtering van de kwaliteitsontwikkeling vanaf 2008.

Conclusie

Afgaande op de statistische analyses is er alleen voor totaal-stikstof een aanwijzing gevonden dat er een verslechtering optreedt vanaf 2008. Dit bleek uit een statistische vergelijking per meetpunt van de geschatte jaartrends over de perioden 2000 t/m 2007 en 2008 t/m 2010. Maar de implicatie van deze constatering is zeer beperkt, aangezien het een periode van slechts drie jaar betreft.

Waren de concentraties totaal-stikstof en totaal-fosfor in 2009 en 2010 bovengemiddeld?

Op verzoek van WRIJ is tenslotte ook nog nagegaan of de zomergemiddelden van totaal-stikstof en totaal-fosfor in de droge zomers van 2009 en 2010 wellicht hoger waren dan gemiddeld. Daartoe is voor 26 reeksen (19 meetreeksen van meetpunten en 7 geaggregeerde reeksen) het zomergemiddelde van 2009, respectievelijk 2010 afgezet tegen de reeks zomergemiddelden van 2000 t/m 2010.

Voor totaal-stikstof blijkt er geen sprake van uitzonderlijk hoge zomergemiddelden in 2009 of 2010. In beide jaren liggen de zomergemiddelden zelfs vaker onder het gemiddelde van de periode 2000 t/m 2010, dan erboven.

Voor totaal-fosfor blijkt er slechts voor 2 van de 19 meetpunten sprake van een uitzonderlijk hoog zomergemiddelde (in 2010). In 2009 liggen de zomergemiddelden vaker onder het gemiddelde van de periode 2000 t/m 2010, dan erboven, terwijl deze in 2010 ongeveer even vaak erboven, als eronder liggen.

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft aanpak en bevindingen van een studie om na te gaan of de oppervlaktewaterkwaliteit in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) recent is verslechterd.

1.1 Vraagstelling

In het kader van de informatieverzameling voor een nieuwe waterrapportage wil WRIJ¹ weten of de oppervlaktewaterkwaliteit recent - na 2007 - wellicht is verslechterd. Daartoe moeten meetreeksen van zes parameters van de oppervlaktewaterkwaliteit worden beschouwd, namelijk totaal-stikstof, totaal-fosfor, ammonium, sulfaat, koper en zink, zoals gemeten op een aantal meetpunten in het beheergebied. De studie zal zich per parameter vooral richten op het jaarlijkse kengetal waarmee wordt getoetst aan de kwaliteitsnorm (zie tabel 1.1).

Tabel 1.1: De bij deze studie te beschouwen parameters en het jaarlijks kengetal waarmee wordt beoordeeld op een eventuele verslechtering. Het betreft het kengetal dat dient voor toetsing aan de kwaliteitsnorm.

Parameter	Relevant jaarlijks kengetal
totaal-stikstof	zomergemiddelde (apr t/m sep)
totaal-fosfor	zomergemiddelde (apr t/m sep)
ammonium	jaargemiddelde
sulfaat	90-percentiel
koper	90-percentiel
zink	jaargemiddelde

Een aanvullend te beantwoorden vraag luidt of de zomergemiddelden van totaal-stikstof en totaal-fosfor in de droge zomers van 2009 en 2010 wellicht hoger waren dan gemiddeld.

1.2 Gevolgde werkwijze

Om objectief te kunnen vaststellen of er voor de genoemde parameters verslechtingen zijn opgetreden na 2007, zijn drie verschillende soorten statistische analyse uitgevoerd, zodat zoveel mogelijk informatie uit de meetreeksen kon worden gefilterd. We moeten er namelijk rekening mee houden dat er niet veel onderscheidend vermogen is, door de relatief korte periode waarover moet worden beoordeeld op verslechting (2008 t/m 2010).

De voorgestelde statistische analyses zijn:

1. Vergelijken trends over verschillende perioden.
2. Afzetten realisaties tegen modelextrapolaties.
3. Toetsen op verslechting met interventie-analyse.

De analyses zijn uitgevoerd voor elke meetreeks afzonderlijk, per parameter en per combinatie van parameter en bodemsoort, respectievelijk KRW-type.

¹ Met als contactpersonen John Lenssen, beleidsadviseur planvorming en Annemarie Kramer-Hoenderboom, specialist planvorming.

De trendanalyse richt zich ondermeer op recente verslechtingen van de waterkwaliteit, terwijl de andere twee analyses zich meer richten op recente verslechtingen in de *ontwikkeling* van de waterkwaliteit, aangezien zij rekening houden met die ontwikkeling. In de hoofdstukken 3, 4 en 5 lichten we de analyses afzonderlijk toe.

Aangezien de hoofdvraag van deze studie was of de oppervlaktewaterkwaliteit na 2007 is verslechterd, is bij de analyses 2 (afzetten realisaties tegen modelextrapolaties) en 3 (toetsen op verslechting met interventie-analyse) alleen getoetst op verslechting (met 95% eenzijdige betrouwbaarheid). De trendanalyse heeft daarentegen meerdere perioden vergeleken en is daarom ruimer opgevat, met aandacht voor zowel verslechtingen als verbeteringen (door te toetsen met 95% tweezijdige betrouwbaarheid).

1.3 Over dit rapport

Na deze inleiding geeft hoofdstuk 2 aan hoe we de uitgangsgegevens hebben voorbereid om ze geschikt te maken voor de analyses. De hoofdstukken 3, 4 en 5 presenteren vervolgens aanpak en bevindingen van de afzonderlijke analyses, namelijk vergelijken trends over verschillende perioden (hfdst. 3), afzetten realisaties tegen modelextrapolaties (hfdst. 4) en toetsen op verslechting met interventie-analyse (hfdst. 5).

Het hoofddeel van dit rapport sluit af met de alfabetisch gerangschikte lijst van de literatuur waarnaar in de tekst is verwezen.

De bijlage van dit rapport besteedt aandacht aan de aanvullend te beantwoorden vraag of de zomergemiddelden van totaal-stikstof en totaal-fosfor in de droge zomers van 2009 en 2010 wellicht hoger waren dan gemiddeld.

2 Voorbewerking uitganggegevens

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de ontvangen gegevens gereed zijn gemaakt voor de statistische analyses.

2.1 Ontvangen gegevens

Voor dit onderzoek heeft WRIJ een deelverzameling van de database van het meetnet oppervlaktewaterkwaliteit beschikbaar gesteld. Deze deelverzameling omvat 43 meetpunten met meetreeksen van de parameters Cu, N, NH₄, Nkj, NO₂, NO₃, P, SO₄ en Zn vanaf 1995 t/m 2010. Totaal-stikstof (N) is de som van Nkj, NO₃ en NO₂, alle uitgedrukt in mg N per liter, maar is alleen vermeld voor 2009 en 2010. Wij hebben daarom per meetpunt zelf een reeks van totaal-stikstof afgeleid uit de meetwaarden van Nkj, NO₃ en NO₂. De meeste reeksen bevatten maandelijkse meetwaarden, maar een aantal reeksen van koper en zink bevatten perioden met slechts tweemaandelijks of driemaandelijks meetwaarden.

Tabel 2.1 toont de indeling van de 43 meetpunten naar bodemsoort en KRW-watertype.

Tabel 2.1: Indeling van de 43 meetpunten naar bodemsoort en KRW-watertype.

Bodemsrt	Aantal mp	KRW-type	Aantal mp	Omschrijving
keileem	5	M3	4	gebufferd regionaal kanaal
klei	10	R5	34	langzaam stromende midden-/benedenloop op zand
rivierklei	1	R6	4	langzaam stromend riviertje op zand/klei
zand	27	Onbekend	1	
Totaal	43	Totaal	43	

Uit een beoordeling van de meetreeksen bleek echter dat hooguit 19 van de 43 meetpunten geschikt zijn voor deze studie, doordat veel reeksen te laat starten voor de statistische analyses (na 2000) of grote hiaten bevatten. In tabel 2.2 is aangegeven hoe deze 19 geschikt bevonden meetpunten zijn verdeeld over bodemsoort en KRW-watertype.

Tabel 2.2: Indeling van de 19 voor deze studie geschikte meetpunten naar bodemsoort en KRW-watertype.

Bodemsrt	Aantal mp	KRW-type	Aantal mp	Omschrijving
keileem	3	M3	3	gebufferd regionaal kanaal
klei	6	R5	13	langzaam stromende midden-/benedenloop op zand
rivierklei	1	R6	3	langzaam stromend riviertje op zand/klei
zand	9			
Totaal	19	Totaal	19	

Tabel 2.3 vermeldt welke meetpunten het betreft en hoe deze zijn ingedeeld naar bodemsoort en KRW-type.

Tabel 2.3: De 19 geschikte meetpunten en hun indeling naar bodemsoort en KRW-type.

Meetpunt	Bodemsoort	Meetpunt	KRW-type
BOS00	keileem	DIW02	M3
GRS11	keileem	ODR01	M3
RTB01	keileem	ZWA01	M3
DIW02	klei	BOS00	R5
GRK11	klei	GRS11	R5
ODR01	klei	RTB01	R5
OIJ00	klei	GRK11	R5
OIJ03	klei	OIJ00	R5
ZWA01	klei	OIJ03	R5
AAS00	rivierklei	AAS00	R5
BAB01	zand	BAB01	R5
BAB03	zand	BAB03	R5
BER00	zand	BUB01	R5
BER04	zand	GRB02	R5
BUB01	zand	KEB02	R5
GRB02	zand	VEG02	R5
KEB02	zand	BER00	R6
SBK90	zand	BER04	R6
VEG02	zand	SBK90	R6

2.2 Omgang met 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.

Uiteraard dienen meetwaarden veroorzaakt door fouten 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 is meer regel dan uitzondering - is er geen objectieve rechtvaardiging voor het verwijderen van uitschieters en moet dit bij voorkeur achterwege blijven. We hebben hier echter een uitzondering gemaakt voor vrijwel onmiskenbare fouten, namelijk een dermate extreme waarde dat de variatie van de rest van de reeks nauwelijks meer waarneembaar is in de meetreeksplot.

2.3 Omgang met gecensureerde 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 alle soorten statistische analyses en alle 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 daarom gekozen voor de volgende werkwijze.

- Voor de trendanalyse zijn alle gecensureerde waarden van een reeks op de helft van de *hoogste* rapportagegrens van die reeks gezet. Ook niet-gecensureerde meetwaarden die lager zijn dan de hoogste rapportagegrens zijn op de helft van die grens gezet. Deze aanpak kan informatieverlies geven, maar is nodig om kunstmatige trends door veranderingen van de rapportagegrens te vermijden (zie bijvoorbeeld [Helsel and Hirsch, 1992]). In het geval er slechts één waarde is gecensureerd ten opzichte van de hoogste rapportagegrens, hebben we die waarde verwijderd en vervolgens alle waarden (zowel de gecensureerde als de niet-gecensureerde) die onder de één na hoogste rapportagegrens liggen op de helft van die één na hoogste rapportagegrens gezet. Dit voorkomt onnodig informatieverlies.
- Voor de overige statistische analyses is elke gecensureerde waarde vervangen door de helft van de betreffende 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 statistische kengetallen van meetreeksen. 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 maximum likelihood-schatters, maar het betreft dermate bewerkelijke procedures dat we ze in deze studie niet hebben toegepast.

2.4 Samenstellen van geaggregeerde reeksen

De in de volgende drie hoofdstukken beschreven statistische analyses zijn zowel uitgevoerd op afzonderlijke meetreeksen, als op geaggregeerde reeksen. Daarbij zijn de volgende aggregaties van meetreeksen uitgevoerd:

- per parameter
- per combinatie van parameter en bodemsoort
- per combinatie van parameter en KRW-type

Het soort aggregatie is voor de trendanalyse anders dan voor de andere twee toegepaste statistische analyses (afzetten realisaties tegen modelextrapolaties en toetsen op verslechtering met interventie-analyse). De trendanalyse is namelijk uitgevoerd op de meetreeksen om het onderscheidend vermogen² te bevorderen, terwijl de andere twee statistische analyses zijn uitgevoerd op de uit de meetreeksen afgeleide reeksen van jaarlijkse kengetallen, zijnde jaargemiddelde, zomergemiddelde of 90-percentiel, afhankelijk van de parameter (zie tabel 1.1).

Het aggregeren van meetreeksen voor de trendanalyse is uitgevoerd met de volgende stappen:

1. Bepaal voor elke meetreeks per maand de mediaan.
2. Aggregeer per aggregatieniveau de uit bovenstaande stap 1 resulterende reeksen, door per maand uit alle maandmedianen voor die maand de mediaan te bepalen.

En voor de andere twee statistische analyses omvatte het aggregeren nog de volgende aanvullende stap:

3. Zet per aggregatieniveau de uit bovenstaande stap 2 resulterende reeks om in een reeks van jaarlijkse kengetallen (gemiddelde, zomergemiddelde of 90-percentiel, afhankelijk van de parameter).

² Het onderscheidend vermogen bij trendanalyse is de kans om een daadwerkelijk optredende trend statistisch significant te detecteren.

3 Vergelijken trends over verschillende perioden

Om te kunnen vaststellen of er recente verslechtingen zijn opgetreden van de oppervlaktewaterkwaliteit en/of van de ontwikkelingen daarin, is trendanalyse uitgevoerd over verschillende perioden.

3.1 Werkwijze

Per reeks is - voor zover deze daarvoor geschikt is - statistische trendanalyse uitgevoerd over vier verschillende perioden, namelijk (1) 1995 t/m 2010, (2) 2000 t/m 2010, (3) 2000 t/m 2007 en (4) 2008 t/m 2010. Met de trends over respectievelijk de perioden 1995 t/m 2010 en 2000 t/m 2010 kan worden vastgesteld wáár en voor wélke parameters er over de laatste 15 jaar en de laatste 10 jaar veranderingen zijn opgetreden. Dit is belangrijke achtergrondinformatie om de recentste ontwikkelingen beter te kunnen duiden. En door het soort trend over de periode 2000 t/m 2007 te vergelijken met het soort trend over de periode 2008 t/m 2010 kan worden vastgesteld wáár en voor wélke parameters er vanaf 2008 sprake is van een trendbreuk. Onder het soort trend verstaan we hier een statistisch significante daling (een verbetering), geen trend (geen statistisch significante verandering), of een statistisch significante stijging (een verslechting). Aangezien deze studie zich richt op de verslechtingen, zijn hier de volgende trendbreuken van belang: (i) van geen trend naar stijging en (ii) van daling naar stijging.

Trendanalyse op maat

Bij de trendanalyse is rekening gehouden met de bijzondere karakteristieken die vaak kenmerkend zijn voor meetreeksen van milieuparameters, zoals een niet-normale kansverdeling, seizoenseffecten, autocorrelatie, ontbrekende meetwaarden en gecensureerde meetwaarden. Om tot maatwerk te komen is per meetreeks de toets gehanteerd die past bij de karakteristieken van die meetreeks. In het geval van een meetreeks die voldoet aan de normale kansverdeling is bijvoorbeeld getoetst op trend met de lineaire regressietoets. Maar als er seizoenseffecten optreden is het lineaire regressiemodel uitgebreid met seizoensparameters. En als er tevens sprake is van autocorrelatie is de ruisterm van het model uitgebreid met een 1^e-orde autocorrelatiecoëfficiënt. Dit laatste komt dan neer op een Box-Jenkins-tijdreeksmodel. In het geval van een meetreeks die niet voldoet aan de normale kansverdeling is getoetst op trend met de Mann-Kendalltoets, een verdelingsvrije toets. Deze is ook vrij robuust tegen gecensureerde waarden, evenals de daarbij horende trendschatter. Als er seizoenseffecten en/of autocorrelatie optreedt zijn aanpassingen van de Mann-Kendalltoets gebruikt die rekening kunnen houden met deze karakteristieken. Voor dit maatwerk hebben we het door ons ontwikkelde programma *Trendanalist* [Baggelaar en Van der Meulen, 2010] gehanteerd.

Gehanteerde instellingen bij de trendanalyse

De trendanalyse is uitgevoerd met de volgende instellingen:

1. er is tweezijdig getoetst (dat wil zeggen op zowel dalingen als stijgingen), met 95% betrouwbaarheid;
2. de getoetste nulhypothese is dat de reeks geen trend vertoont;
3. de alternatieve hypothese luidde dat de reeks een monotone trend vertoont, die start bij het begin van de reeks;
4. als de meetreeks bij de voorbewerking moest worden omgezet naar een tijdreeks met een grotere tijdseenheid, is daarvoor per tijdseenheid de mediaan genomen van de meetwaarden binnen die tijdseenheid, om het risico op verstoring door uitschieters te minimaliseren.

Eisen aan reeksen en aan resultaten

Voor de trendanalyse zijn per te beschouwen periode de (deel)reeksen geselecteerd met voldoende informatie. De daarbij gehanteerde criteria zijn:

- o voor de trendanalyse over de periode 1995 t/m 2010: minstens 14 meetjaren;
- o voor de trendanalyse over de periode 2000 t/m 2010: minstens 9 meetjaren;
- o voor de trendanalyse over de periode 2000 t/m 2007: minstens 6 meetjaren;
- o voor de trendanalyse over de periode 2008 t/m 2010: 3 meetjaren.

Verder dient de deelreeks minder dan 80% gecensureerde meetwaarden te bevatten.

Alvorens de trendanalyse uit te voeren, is elke meetreeks door *Trendanalist* zonodig automatisch omgezet in een tijdreeks, zijnde een reeks met een gelijk tijdsinterval tussen de waarden. Als daarbij moest worden omgezet naar een hogere tijdseenheid, kan het voorkomen dat een tijdreeks een dusdanig hoger percentage gecensureerde waarden bevat dan de oorspronkelijke meetreeks, dat deze niet meer voldoet aan het criterium dat minder dan 80% van de waarden gecensureerd is. In een dergelijk geval hebben wij het resultaat van de trendanalyse achteraf verwijderd.

Verder hebben we het resultaat van de trendanalyse achteraf verwijderd als de tijdreeks meer dan 50% gecensureerde waarden bevat en er tevens geen statistisch significante trend is gedetecteerd. Dit is mede gebaseerd op bevindingen van [Alden et al., 2000], die met simulaties vaststelden dat de gebruikelijke toetsen op trend bij meer dan 50% gecensureerde waarden nog maar weinig onderscheidend vermogen hebben. Het niet detecteren van een trend heeft dan veel minder zeggingskracht dan gebruikelijk.

3.2 Vergelijken trends 1995 t/m 2010 en 2000 t/m 2010

3.2.1 Afzonderlijke reeksen

Voor de trendanalyse over de periode 1995 t/m 2010 bleken voor totaal-stikstof, ammonium, totaal-fosfor en sulfaat meetreeksen van 16 meetpunten te voldoen aan de criteria. Mede door de hoge percentages gecensureerde waarden bleek dit voor koper slechts het geval voor 5 meetpunten en voor zink voor 10 meetpunten. Voor de trendanalyse over de periode 2000 t/m 2010 bleken voor totaal-stikstof, ammonium, totaal-fosfor en sulfaat de meetreeksen van 19 meetpunten te voldoen aan de criteria. Voor koper gold dat voor 8 meetpunten en voor zink voor 14 meetpunten.

De resultaten van de trendanalyse zijn per periode vermeld in tabel 3.1, in de vorm van een trendpalet. Door de stoplichtkleuren maakt het trendpalet direct inzichtelijk welke parameters op welke meetpunten statistisch significante verbeteringen, dan wel verslechteringen te zien geven. Verder kunnen met behulp van het trendpalet zowel meetpunten als parameters onderling worden vergeleken voor wat betreft de ontwikkelingen.

Tabel 3.1: Trendpalet met resultaten van de trendanalyse over de periode 1995 t/m 2010 (links) en de periode 2000 t/m 2010 (rechts).

Meetpunt	Periode 1995 t/m 2010						Periode 2000 t/m 2010					
	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l
AAS00	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-1.5%		-1.3%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		Geen trend
BAB01	-5.2%	-3.1%	4.1%	Geen trend	0.0%	-5.5%	-3.8%	Geen trend	8.9%	-1.3%	0.0%	-3.0%
BAB03	-2.7%	Geen trend	-2.8%	-0.9%		Geen trend	Geen trend	Geen trend	-2.5%	-0.9%		Geen trend
BER00	-1.3%	Geen trend	-2.6%	-1.1%		-3.3%	-1.7%	Geen trend	-2.8%	Geen trend	0.0%	Geen trend
BER04							-1.8%	Geen trend	Geen trend	-1.0%	0.0%	Geen trend
BOS00	Geen trend	Geen trend	-2.3%	-2.2%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-1.4%	Geen trend	Geen trend
BUB01	Geen trend	Geen trend	-1.3%	-0.7%	Geen trend	-2.2%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
DIW02	Geen trend	Geen trend	-1.9%	-1.7%			-4.0%	Geen trend	Geen trend	-2.1%		
GRB02	Geen trend	0.0%	-2.5%	-1.2%			-3.3%	Geen trend	Geen trend	-1.4%		
GRK11	-1.6%	Geen trend	Geen trend	-1.3%			Geen trend	Geen trend	Geen trend	-1.2%		
GRS11	-2.3%	Geen trend	-6.6%	-1.6%			-2.6%	Geen trend	-9.3%	Geen trend	-7.0%	-2.6%
KEB02	-2.4%	Geen trend	Geen trend	-2.1%			-3.4%	Geen trend	Geen trend	-2.1%		Geen trend
ODR01							-2.9%	Geen trend	-3.1%	-1.6%		
OLI00	-2.0%	Geen trend	-1.7%	-1.3%	0.0%	-6.4%	-3.0%	Geen trend	-2.3%	Geen trend		-4.5%
OLI03	Geen trend	Geen trend	-5.6%	-1.2%		-2.9%	-1.6%	3.2%	-5.6%	Geen trend	0.0%	-5.4%
RTB01	-3.6%	0.0%	Geen trend	-1.6%	Geen trend	Geen trend	-3.9%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	0.0%	Geen trend
SBK90	Geen trend	Geen trend	-1.7%	-1.0%		-2.5%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-0.8%		Geen trend
VEG02	-4.3%	Geen trend	-4.7%	Geen trend			-3.9%	Geen trend	-3.3%	Geen trend		Geen trend
ZWA01							Geen trend	Geen trend	Geen trend	-2.4%		

Toelichting trendpalet

Elke cel geeft met een kleur het oordeel over een trend, per combinatie van meetpunt (rij) en parameter (kolom). 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. Elke statistisch significante trend is relatief uitgedrukt, als percentage verandering per jaar ten opzichte van de mediaan van de meetreeks.

In enkele gevallen bedraagt de geschatte trend 0%, terwijl er toch sprake is van een statistisch significante trend. Bij toepassing van één van de verdelingsvrije Mann-Kendalltoetsen wordt namelijk een afzonderlijke trendschatter gebruikt en als de reeks dan relatief veel gecensureerde waarden bevat, kan de geschatte trend op 0 uitkomen, terwijl de Mann-Kendalltoets toch een statistisch significante trend detecteert.

De onderstaande figuur 3.1 toont voor de perioden 1995 t/m 2010 en 2000 t/m 2010 afzonderlijk de resultaten van de trendanalyses in de vorm van gestapelde staafdiagrammen, die per parameter de verdeling van het soort trend weergeven.

Figuur 3.1: De verdeling van het soort trend per parameter, voor de periode 1995 t/m 2010 (links) en de periode 2000 t/m 2010 (rechts).



Uit de resultaten van de trendanalyses blijkt dat de meerderheid van de meetpunten over de periode 1995 t/m 2010 verbeteringen te zien gaf voor wat betreft totaal-stikstof, totaal-fosfor, sulfaat en zink. Over de recentere periode 2000 t/m 2010 gaf de meerderheid van de meetpunten verbeteringen te zien voor wat betreft totaal-stikstof, sulfaat en koper. Over beide perioden traden slechts op een paar meetpunten verslechtingen op, namelijk voor ammonium en totaal-fosfor.

3.2.2 Geaggregeerde reeksen

Er zijn ook trendanalyses uitgevoerd op de geaggregeerde reeksen. Het aggregeren is uitgevoerd zoals beschreven in § 2.4. Per parameter zijn er 7 geaggregeerde reeksen geanalyseerd, namelijk:

- 1 geaggregeerde reeks van alle reeksen (hierna aangeduid als WRIJ);
- 3 geaggregeerde reeksen van de reeksen per bodemsoort (keileem, klei en zand)³;
- 3 geaggregeerde reeksen van de reeksen per KRW-type (M3, R5 en R6).

De resultaten van de trendanalyses van de geaggregeerde reeksen zijn per periode vermeld in tabel 3.2, in de vorm van een trendpalet.

Tabel 3.2: Trendpalet met resultaten van de trendanalyse van de geaggregeerde reeksen over de periode 1995 t/m 2010 (links) en de periode 2000 t/m 2010 (rechts).

Aggregaat	Periode 1995 t/m 2010						Periode 2000 t/m 2010					
	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l
keileem	-2.1%	Geen trend	-2.5%	-1.8%	Geen trend	Geen trend	-2.4%	Geen trend	-3.4%	Geen trend	0.0%	Geen trend
klei	-2.3%	Geen trend	-1.8%	-2.1%		-2.0%	-1.9%	0.0%	Geen trend	-0.6%		Geen trend
zand	-1.8%	0.0%	Geen trend	-0.9%	0.0%	-5.6%	-2.1%	Geen trend	Geen trend	-0.7%		Geen trend
M3	-3.3%	0.0%	Geen trend	-3.4%			Geen trend	0.0%	Geen trend	-1.6%		
R5	-1.6%	-1.9%	-2.3%	-1.2%	0.0%	-2.7%	-1.6%	Geen trend	Geen trend	-0.7%		Geen trend
R6	Geen trend	0.0%	-1.8%	-1.4%	0.0%	-2.8%	Geen trend	0.0%	Geen trend	-0.6%		Geen trend
WRIJ	-1.8%	-1.9%	-1.5%	-1.4%	0.0%	-3.9%	-2.6%	Geen trend	Geen trend	-0.7%		Geen trend

Uit tabel 3.2 blijkt dat veruit de meeste geaggregeerde reeksen (32 van de 39) over de periode 1995 t/m 2010 verbeteringen te zien gaven. De over alle reeksen geaggregeerde reeks (WRIJ) toonde zelfs voor alle zes parameters verbetering, evenals de geaggregeerde reeks voor KRW-type R5. Ook over de recentere periode 2000 t/m 2010 zijn er nog veel verbeteringen (16), maar er zijn dan meer reeksen zonder statistisch significante trend (19). Over geen van beide perioden vertoont een geaggregeerde reeks een verslechtering.

3.3 Vergelijken trends 2000 t/m 2007 en 2008 t/m 2010

3.3.1 Afzonderlijke reeksen

Voor de trendanalyse over de periode 2000 t/m 2007 bleken voor totaal-stikstof, ammonium, totaal-fosfor en sulfaat meetreeksen van 19 meetpunten te voldoen aan de criteria. Door de hoge percentages gecensureerde waarden bleek dit voor koper slechts het geval voor 5 meetpunten en voor zink voor 15 meetpunten. Voor de trendanalyse over de periode 2008 t/m 2010 bleken voor alle parameters uitgezonderd zink de meetreeksen van 19 meetpunten te voldoen aan de criteria. Voor zink gold dat voor 17 meetpunten.

De resultaten van de trendanalyse zijn per periode vermeld in tabel 3.3, in de vorm van een trendpalet.

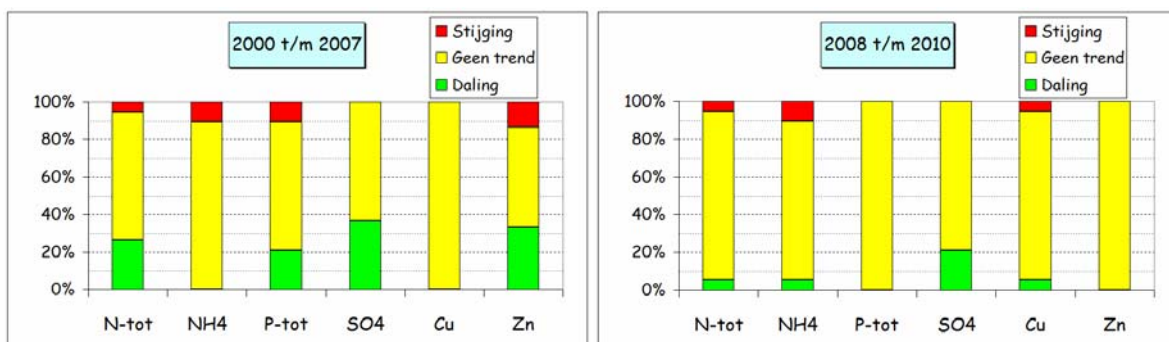
³ Rivierklei doet hier niet mee, aangezien er slechts één van de beschouwde meetpunten binnen die bodemsoort valt.

Tabel 3.3: Trendpalet met resultaten van de trendanalyse over de periode 2000 t/m 2007 (links) en de periode 2008 t/m 2010 (rechts).

Meetpunt	Periode 2000 t/m 2007						Periode 2008 t/m 2010					
	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l
AAS00	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-3.8%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
BAB01	-2.1%	Geen trend	10.7%	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
BAB03	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		0.0%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
BER00	Geen trend	Geen trend	-4.6%	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
BER04	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
BOS00	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-1.9%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
BUB01	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
DIW02	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-2.1%		0.0%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-3.5%	Geen trend	Geen trend
GRB02	-7.2%	Geen trend	Geen trend	-1.4%			Geen trend	Geen trend	Geen trend	21.8%		
GRK11	Geen trend	0.0%	5.6%	-1.4%			-8.9%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
GRS11	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-8.1%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
KEB02	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-2.8%		Geen trend	23.1%	Geen trend	Geen trend	-5.6%	Geen trend	Geen trend
ODR01	-4.5%	Geen trend	Geen trend	-1.1%			Geen trend	-37.8%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	
OLJ00	-3.0%	Geen trend	-4.5%	Geen trend		-8.4%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-9.6%	-22.6%	Geen trend
OLJ03	Geen trend	9.8%	-7.6%	Geen trend		-4.8%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-3.9%	Geen trend	Geen trend
RTB01	-4.3%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	19.6%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
SBK90	2.7%	Geen trend	-5.0%	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
VEG02	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		0.0%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
ZWA01	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-2.2%			Geen trend	26.0%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend

De onderstaande figuur 3.2 toont de resultaten van de trendanalyses in de vorm van gestapelde staafdiagrammen. Per periode is per parameter de verdeling van het soort trend weergegeven.

Figuur 3.2: De verdeling van het soort trend per parameter, voor de periode 2000 t/m 2007 (links) en de periode 2008 t/m 2010 (rechts).



Uit figuur 3.2 blijkt dat de meeste parameters in de periode 2008 t/m 2010 minder (statistisch significante) trends vertonen dan in de periode 2000 t/m 2007. Koper is hierop een uitzondering, maar dit kan komen doordat er voor deze parameter over de periode 2000 t/m 2007 slechts vijf meetreeksen geschikt bleken voor trendanalyse, door de hoge percentages gecensureerde meetwaarden.

Om in beeld te kunnen brengen óf en in welke mate er recentelijk verslechtingen van de waterkwaliteit zijn ingetreden, is voor elke daarvoor geschikte meetreeks nagegaan hoe de trend over de periode 2008 t/m 2010 zich verhoudt tot de trend over de periode 2000 t/m 2007. Daarbij zijn er 9 combinatiemogelijkheden, aangezien er drie soorten trend zijn, namelijk een (statistisch significante) daling, geen trend en een (statistisch significante) stijging.

Per parameter is afgeleid hoe de combinaties van de trends over de perioden 2000 t/m 2007 en 2008 t/m 2010 verdeeld zijn. De resultaten zijn vermeld in onderstaande tabel 3.4.

Tabel 3.4: Verdeling van de combinaties van de trends over de perioden 2000 t/m 2007 en 2008 t/m 2010. Boven in aantallen en onder in percentages. Waarden ongelijk nul zijn geel gekleurd.

Parameter	Gelijk	Afvlakking		Verslechtering		Verbetering		Totaal
		D => Gt	S => Gt	Gt => S	D => S	Gt => D	S => D	
NH4	14	0	2	2	0	1	0	19
N-tot	11	5	1	1	0	1	0	19
P-tot	13	4	2	0	0	0	0	19
SO4	12	5	0	0	0	2	0	19
Cu	5	0	0	0	0	0	0	5
Zn	8	5	2	0	0	0	0	15
Totaal	63	19	7	3	0	4	0	96

Parameter	Gelijk	Afvlakking		Verslechtering		Verbetering		Totaal
		D => Gt	S => Gt	Gt => S	D => S	Gt => D	S => D	
NH4	74%	0%	11%	11%	0%	5%	0%	100%
N-tot	58%	26%	5%	5%	0%	5%	0%	100%
P-tot	68%	21%	11%	0%	0%	0%	0%	100%
SO4	63%	26%	0%	0%	0%	11%	0%	100%
Cu	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Zn	53%	33%	13%	0%	0%	0%	0%	100%
Totaal	66%	20%	7%	3%	0%	4%	0%	100%

Verklaring: D = Daling, Gt = Geen trend, S = stijging

Voorbeeld: D => Gt is een daling van 2000 t/m 2007 gevolgd door geen trend van 2008 t/m 2010

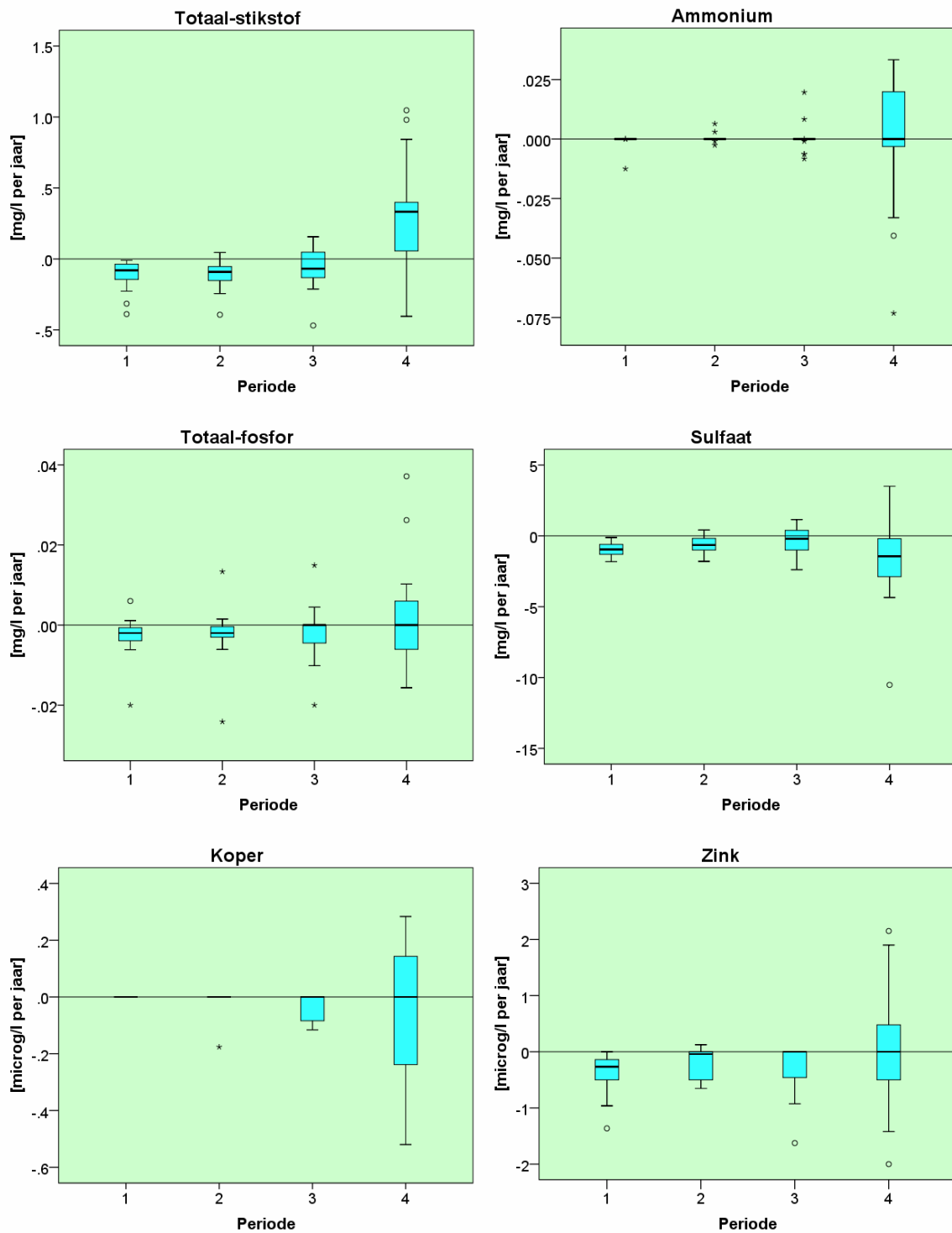
Uit tabel 3.4 blijkt dat de meest voorkomende combinatie is dat het soort trend over de periode 2000 t/m 2007 gelijk was aan dat over de periode 2008 t/m 2010 (*Gelijk*). Verder trad er ook relatief vaak afvlakking op (van daling of stijging naar geen trend). Er zijn slechts enkele verslechtingen opgetreden en dan alleen nog bij ammonium (op 2 van de 19 meetpunten) en totaal-stikstof (op 1 van de 19 meetpunten). Het aantal verslechtingen (3) was evenwel vrijwel gelijk aan het aantal verbeteringen (4). Op geen van de meetpunten is een trendomkering opgetreden (van daling naar stijging of van stijging naar daling). Deze resultaten wijzen dus niet op een recente algehele verslechting van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Boxplot trend per periode

Figuur 3.3 toont per parameter voor elk van de vier beschouwde perioden de boxplot van de geschatte jaartrend. Het betreft hier alle geschatte jaartrends, ongeacht of er al of geen sprake is van statistische significantie. Uit deze figuur lijkt er alleen voor totaal-stikstof over de laatste periode (2008 t/m 2010) een verslechting te zijn opgetreden ten opzichte van de voorgaande perioden.

Om aan de hand van deze gegevens ook objectief na te gaan of er na 2007 een verandering is opgetreden, is per parameter getoetst of de geschatte jaartrend over de periode 2008 t/m 2010 doorgaans verschilt van die over de periode 2000 t/m 2007. Daartoe is gekozen voor de verdelingsvrije tekentoets, aangezien het niet zeker is of de geschatte jaartrends afkomstig zijn uit een normale kansverdeling. Verder is het een gepaarde toets, die gebruik maakt van het verschil tussen de geschatte jaartrends over de twee perioden per meetpunt. Door deze gepaarde vergelijking is er meer onderscheidend vermogen. De nulhypothese van de toets luidt dat het mediane verschil van de geschatte jaartrends nul is. Uit het toepassen van de tekentoets bleek er inderdaad alleen voor totaal-stikstof een statistisch significant verschil in geschatte jaartrends over de twee perioden. Dit is een indicatie dat er voor deze parameter vanaf 2008 een verslechting is opgetreden. Maar de implicatie van deze constatering is zeer beperkt, aangezien het een periode van slechts drie jaar betreft.

Figuur 3.3: Voor elk van de zes parameters de boxplot van de geschatte jaartrend per beschouwde periode (1 = 1995 t/m 2010, 2 = 2000 t/m 2010, 3 = 2000 t/m 2007 en 4 = 2008 t/m 2010).



Toelichting op de boxplot

De boxplot is een handzame manier om de kenmerken van een onderzochte populatie zo compact mogelijk grafisch samen te vatten. Elk van bovenstaande boxplots toont de posities van de belangrijkste percentielen van de populatie jaartrends. 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. Eventuele extreme waarden worden apart weergegeven boven de bovenste whisker of onder de onderste whisker, als een 'o', of als een '*' (die waarde ligt dan 1,5 tot 3 maal, respectievelijk meer dan 3 maal de boxlengte vanaf de box).

3.3.2 Geaggregeerde reeksen

De resultaten van de trendanalyses van de geaggregeerde reeksen zijn per periode vermeld in tabel 3.5, in de vorm van een trendpalet.

Tabel 3.5: Trendpalet met resultaten van de trendanalyse van de geaggregeerde reeksen over de periode 2000 t/m 2007 (links) en de periode 2008 t/m 2010 (rechts).

Aggregaat	Periode 2000 t/m 2007						Periode 2008 t/m 2010					
	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l	N-tot mg N/l	NH4 mg/l	P-tot mg/l	SO4 mg/l	Cu ug/l	Zn ug/l
keileem	Geen trend	Geen trend	-3.8%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
klei	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	-5.3%	Geen trend	Geen trend	Geen trend
zand	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	-3.6%	Geen trend	Geen trend	Geen trend
M3	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-1.2%			Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
R5	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		Geen trend	6.6%	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
R6	Geen trend	Geen trend	Geen trend	-0.9%		Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
WRIJ	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend		Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend

Uit tabel 3.5 blijkt dat veruit de meeste geaggregeerde reeksen over geen van beide perioden een statistisch significante trend vertoonden. Over de periode 2000 t/m 2007 zijn er slechts 3 van de 35 reeksen met een verbetering. En over de periode 2008 t/m 2010 zijn er slechts 2 van de 42 reeksen met een verbetering en 1 met een verslechtering (totaalstikstof voor KRW-type R5). In geen van de gevallen is een trendomkering geconstateerd.

3.4 Conclusies

De meerderheid van de meetpunten gaf over de periode 1995 t/m 2010 verbeteringen te zien voor wat betreft totaal-stikstof, totaal-fosfor, sulfaat en zink. Over de recentere periode 2000 t/m 2010 gaf de meerderheid van de meetpunten verbeteringen te zien voor wat betreft totaal-stikstof, sulfaat en koper. Over beide perioden traden slechts op een paar meetpunten verslechtingen op, namelijk voor ammonium en totaal-fosfor.

In de periode 2008 t/m 2010 traden er minder (statistisch significante) trends op dan in de periode 2000 t/m 2007. De meest voorkomende combinatie bleek dat het soort trend over de periode 2000 t/m 2007 gelijk was aan dat over de periode 2008 t/m 2010. Verder trad er ook relatief vaak afvlakking op (van daling of stijging naar geen trend). Er zijn slechts enkele verslechtingen opgetreden en dan alleen nog bij ammonium (op 2 van de 19 meetpunten) en totaal-stikstof (op 1 van de 19 meetpunten). Het aantal verslechtingen (3) is evenwel vrijwel gelijk aan het aantal verbeteringen (4). Op geen van de meetpunten is een trendomkering opgetreden (van daling naar stijging of van stijging naar daling). Er is dus geen recente algehele verslechting van de oppervlaktewaterkwaliteit geconstateerd.

Uit statistische toetsing bleek dat er alleen voor totaal-stikstof een statistisch significant verschil is in geschatte jaartrends over de perioden 2000 t/m 2007 en 2008 t/m 2010. Dit is een indicatie dat er voor deze parameter vanaf 2008 een verslechting is opgetreden. Maar de implicatie van deze constatering is zeer beperkt, aangezien het een periode van slechts drie jaar betreft.

4 Afzetten realisaties tegen modelextrapolaties

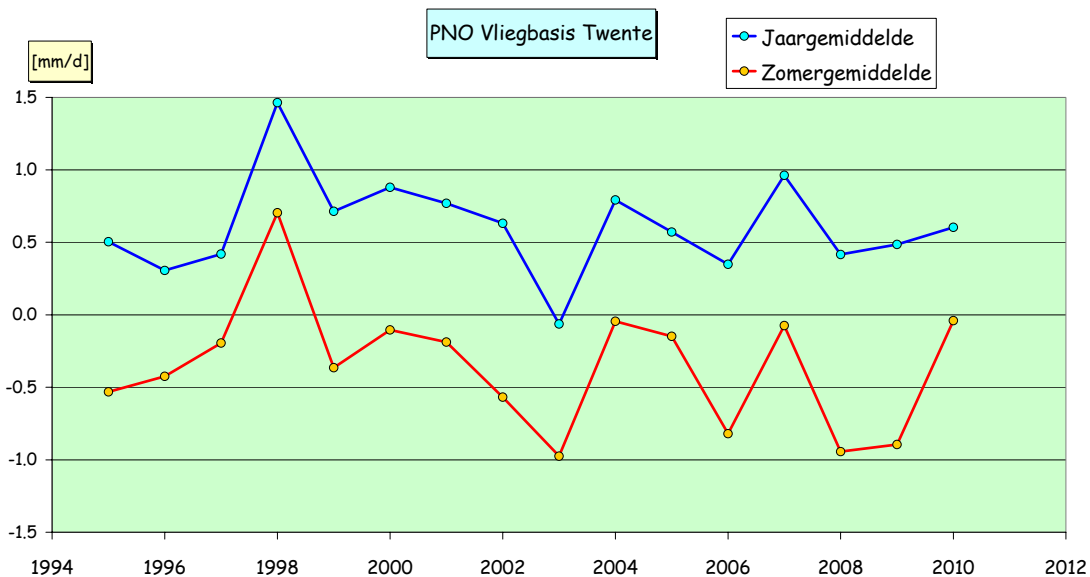
De tweede statistische analyse omvat het afzetten van recente realisaties van de waterkwaliteit tegen modelextrapolaties. Deze richt zich vooral op het detecteren van verslechteringen van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit na 2007.

4.1 Werkwijze

Per reeks is een lineair regressiemodel afgeleid voor het verloop van het jaarlijks kengetal over de periode 2000 t/m 2007, met als invoerreeksen:

1. het jaartal;
2. het jaargemiddelde (of zomergemiddelde voor totaal-stikstof en totaal-fosfor) van het potentieel neerslagoverschot, berekend uit KNMI-gegevens van neerslag en verdamping op de vliegbasis Twente (zie figuur 4.1).

Figuur 4.1: Verloop van het jaargemiddelde en het zomergemiddelde potentieel neerslagoverschot van 1995 t/m 2010, zoals berekend uit KNMI-gegevens van neerslag en verdamping op de vliegbasis Twente.



De keuze voor het jaar 2000 als startjaar van het model is ingegeven door onze constatering dat veel meetreeksen in de jaren negentig een grotere trend vertonen dan in het laatste decennium.⁴ Als het startjaar dan te ver terug wordt gekozen, zal een lineaire trend geen goede beschrijving meer geven over de beschouwde periode.

Afgeleide lineaire regressiemodel

Het afgeleide lineaire regressiemodel heeft de volgende vorm:

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot J_i + b_2 \cdot PNO_i + e_i$$

waarin Y het jaarlijks kengetal, J het jaartal, PNO het jaarlijks potentieel neerslagoverschot, b_0 , b_1 en b_2 de geschatte modelparameters, e het modelresidu en i de reeksindex ($i = 1, 2, \dots, n$).

⁴ Dit is gebleken uit een visuele inspectie van de trendplots, vervaardigd bij onze trendanalysestudie voor WRIJ in 2008 [Bagelaar en Van der Meulen, 2008].

Als bij de modellering bleek dat het jaarlijks kengetal niet statistisch significant gerelateerd is aan het potentieel neerslagoverschot (met 90% tweezijdige betrouwbaarheid), is het model opnieuw geschat, maar dan met alleen het jaartal als invoerreeks.

In tabel 4.1 is voor elk van de zes parameters vermeld welk jaarlijks kengetal voor deze regressiemodellering is gehanteerd.

Tabel 4.1: De bij de regressieanalyse beschouwde jaarlijkse kengetallen waarmee is beoordeeld op een eventuele verslechtering van de kwaliteitsontwikkeling. Het betreft het kengetal dat dient voor toetsing aan de kwaliteitsnorm.

Parameter	Relevant jaarlijks kengetal
totaal-stikstof	zomergemiddelde (apr t/m sep)
totaal-fosfor	zomergemiddelde (apr t/m sep)
ammonium	jaargemiddelde
sulfaat	90-percentiel
koper	90-percentiel
zink	jaargemiddelde

Vervolgens is met het afgeleide lineaire regressiemodel voor elk van de jaren 2008, 2009 en 2010 afzonderlijk de 98,3%-voorspelgrens van het kengetal berekend. Als bijvoorbeeld het regressiemodel alleen het jaartal als verklarende variabele heeft, volgt deze voorspelgrens uit:

$$V_{k;98,3\%} = b_0 + b_1 \cdot J_k + t_{(98,3\%;n-2)} \sqrt{s_e^2 \cdot \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(J_k - \bar{J})^2}{\sum_{i=1}^n (J_i - \bar{J})^2} \right]}$$

waarin $V_{k;98,3}$ de waarde waaronder de volgende realisatie van het jaarlijks kengetal (Y_k) met 98,3% betrouwbaarheid zal liggen, $t_{(98,3\%;n-2)}$ het 98,3-percentiel van de Student-t-verdeling bij $n-2$ vrijheidsgraden, n het aantal jaarlijkse kengetallen waarmee het model is afgeleid, s_e de geschatte standaardafwijking van het modelresidu, i de reeksindex ($i = 1, 2, \dots, n$) en \bar{J} het gemiddelde van de jaartallen J_1, J_2, \dots, J_n . Als het model tevens het potentieel neerslagoverschot als verklarende variabele heeft, is de formule uitgebreider, met vectoren en matrices van de verklarende variabelen en met $n-3$ vrijheidsgraden.

Als er geen verslechtering van de kwaliteitsontwikkeling is opgetreden, mogen we bijvoorbeeld voor 2008 met 98,3% betrouwbaarheid verwachten dat het jaarlijks kengetal onder de berekende voorspelgrens ligt. En we mogen dan met 95% betrouwbaarheid verwachten dat alledrie de jaarlijkse kengetallen (2008, 2009 en 2010) onder die grens liggen (immers, $98,3\% \times 98,3\% \times 98,3\% = 95\%$). Als één van deze drie jaarlijkse kengetallen hoger ligt dan de voorspelgrens, dan is er met 95% betrouwbaarheid sprake van een afwijking die niet past bij het afgeleide model. Dit kunnen we dan aanduiden als een verslechtering van de kwaliteitsontwikkeling.

Uitgangspunt

De bovenstaande aanpak gaat ervan uit dat de residuën van het lineaire regressiemodel onafhankelijke trekkingen vormen uit dezelfde normale kansverdeling. We mogen aannemen dat hieraan wordt voldaan, aangezien wordt uitgegaan van jaarlijkse kengetallen. Er hoeft dan geen rekening te worden gehouden met niet-normaliteit, seizoenseffecten

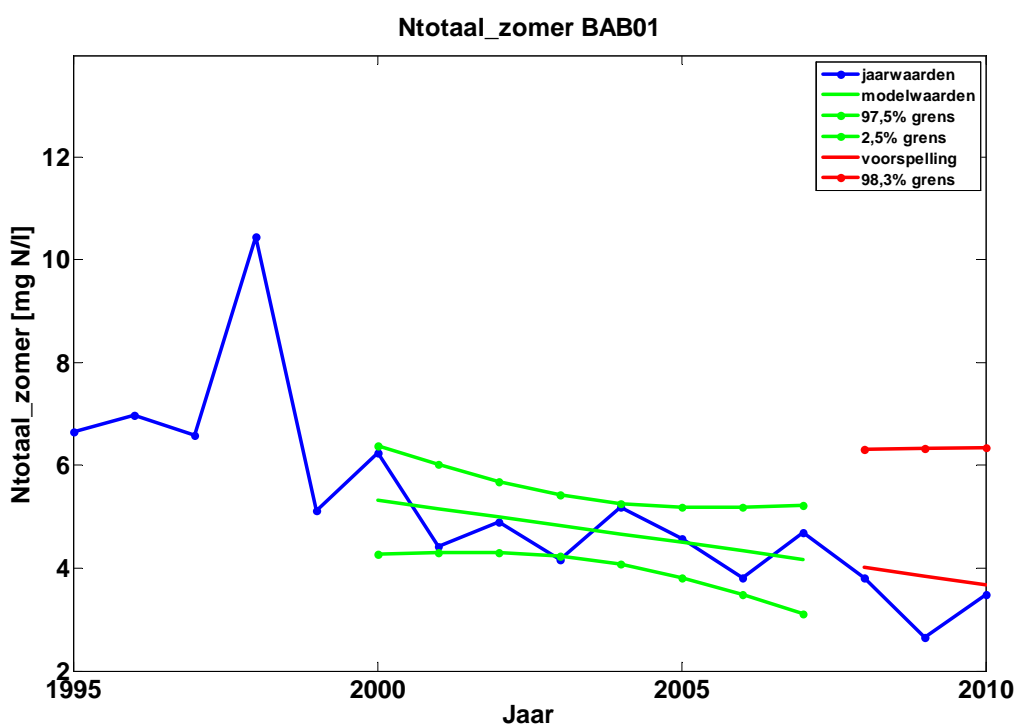
en/of autocorrelatie, aspecten die het doen van kwantitatieve betrouwbaarheidsuitspraken moeilijker maken.

4.2 Resultaten afzonderlijke reeksen

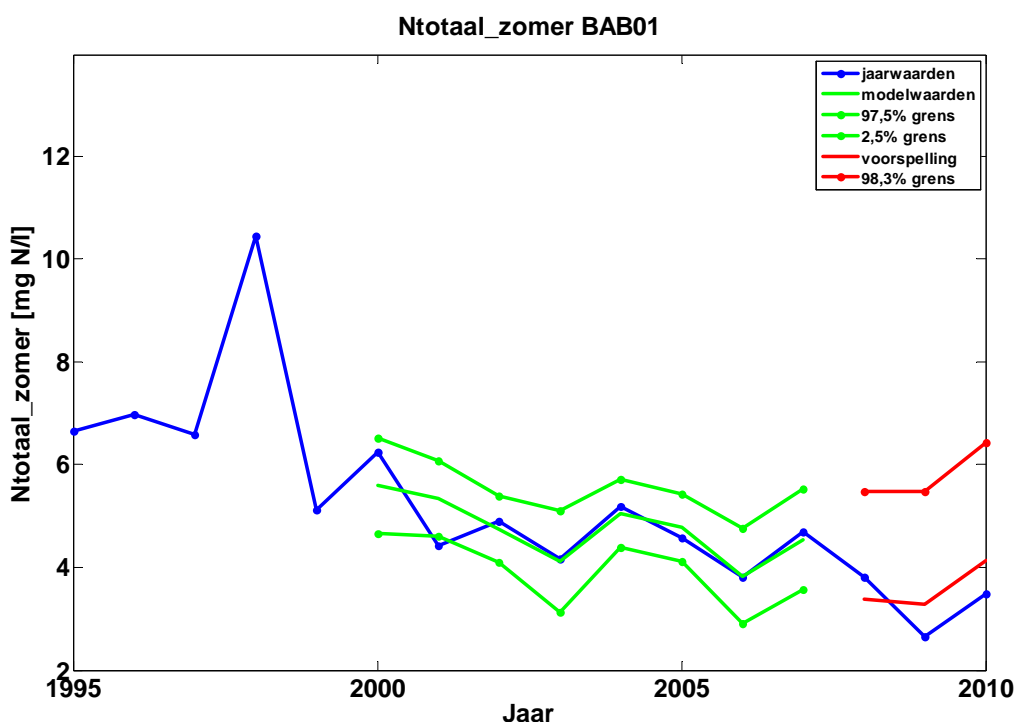
Voor deze analyse bleken van elk van de zes parameters 19 meetreeksen geschikt, afkomstig van 19 meetpunten, totaal dus 114 meetreeksen. Het betreft dezelfde 19 meetpunten als vermeld in de tabellen 3.1 en 3.3. In 15 gevallen bleek er een statistisch significante relatie met het potentieel neerslagoverschot. Dit betrof 4 reeksen van het jaargemiddelde van ammonium (een negatieve relatie), 3 reeksen van het zomergemiddelde van totaal-stikstof (een positieve relatie), 1 reeks van het zomergemiddelde van totaal-fosfor (een positieve relatie), 5 reeksen van het 90-percentiel van sulfaat (een negatieve relatie) en 2 reeksen van het 90-percentiel van koper (een positieve relatie).

Onderstaande figuur 4.2 toont als voorbeeld de pasvorm van het model voor het zomergemiddelde van totaal-stikstof op meetpunt BAB01 met alleen het jaartal als invoerreeks en figuur 4.3 toont die van het model met tevens het zomergemiddelde van het potentieel neerslagoverschot als invoerreeks. Er is sprake van een statistisch significante (positieve) relatie met het potentieel neerslagoverschot en de pasvorm van het tweede model is dan ook duidelijk beter (R^2 is 64%, versus 30% voor het eerste model).

Figuur 4.2: Model, betrouwbaarheidsgrenzen en voorspelgrens van totaal-stikstof op meetpunt BAB01, met alleen het jaartal als invoerreeks.



Figuur 4.3: Model, betrouwbaarheidsgrenzen en voorspelgrens van totaal-stikstof op meetpunt BAB01, met als invoerreeksen het jaartal en het zomergemiddelde van het potentieel neerslagoverschot.



Slechts voor 5 van de 114 meetreeksen bleek er sprake van een overschrijding van de voorspelgrens in 2008, 2009 of 2010. Dit betrof 1 reeks van totaal-stikstof (GRK11 in 2009), 2 reeksen van totaal-fosfor (BAB01 en VEG02, beide in 2010) en 2 reeksen van koper (BER04 en GRK11, beide in 2008).

Het aandeel van de reeksen met een overschrijding van de voorspelgrens in de periode 2008 t/m 2010 bedraagt 4,4% van het totaal (5 van de 114). Dit is vrijwel gelijk aan het te verwachten percentage van 5% bij geen verslechtering van de ontwikkeling – we toetsen immers met 95% betrouwbaarheid, oftewel met een risico van 5% onterechte detecties. De resultaten wijzen daarmee niet op een recente algehele verslechtering van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit.

4.3 Resultaten geaggregeerde reeksen

Ook voor de 42 geaggregeerde reeksen – 7 reeksen voor elk van de 6 parameters (zie daarvoor § 3.2.2) – zijn de recente realisaties van de waterkwaliteit afgezet tegen de modelextrapolaties.

Voor geen van deze geaggregeerde reeksen bleek er echter sprake van een overschrijding van de voorspelgrens in 2008, 2009 of 2010.

4.4 Conclusies

Uit het afzetten van recente realisaties van de waterkwaliteit tegen modelextrapolaties bleek er slechts voor 5 van de 114 meetreeksen sprake van een overschrijding van de voorspelgrens in 2008, 2009 of 2010. Dit betrof 1 reeks van totaal-stikstof (GRK11 in 2009), 2 reeksen van totaal-fosfor (BAB01 en VEG02, beide in 2010) en 2 reeksen van koper (BER04 en GRK11, beide in 2008).

Aangezien het percentage reeksen met een overschrijding van de voorspelgrens in de periode 2008 t/m 2010 4,4% bedraagt van het totaal en dit vrijwel gelijk aan is het te

verwachten percentage van 5% - we toetsen immers met 95% betrouwbaarheid - wijzen deze resultaten niet op een recente verslechtering van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit. Verder bleek er voor geen van de geaggregeerde reeksen sprake van een overschrijding van de voorspelgrens in 2008, 2009 of 2010.

5 Interventie-analyse

Als derde statistische analyse is interventie-analyse uitgevoerd. Net als de voorgaande analyse richt deze zich vooral op het detecteren van verslechtingen van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit na 2007.

5.1 Werkwijze

Per reeks is weer een lineair regressiemodel afgeleid voor het verloop van het jaarlijks kengetal, maar ditmaal over de gehele periode 2000 t/m 2010 en nu met als invoerreksen:

1. het jaartal;
2. het jaargemiddelde (of zomergemiddelde voor totaal-stikstof en totaal-fosfor) van het potentieel neerslagoverschot, berekend uit KNMI-gegevens van neerslag en verdamping op de vliegbasis Twente;
3. een interventievariabele. Dit is een $[0,1]$ -variabele die het gepostuleerde patroon van de te toetsen verandering vertegenwoordigt. Er zijn modellen afgeleid met twee varianten van dat laatste patroon, namelijk:
 - a. een staptoename van de concentratie vanaf 2008. De interventievariabele heeft dan de waarde 0 van 2000 t/m 2007 en de waarde 1 van 2008 t/m 2010;
 - b. een lineaire toename van de concentratie vanaf 2008. De interventievariabele heeft dan de waarde 0 van 2000 t/m 2007, de waarde $1/3$ in 2008, de waarde $2/3$ in 2009 en de waarde 1 in 2010.

Afgeleide lineaire regressiemodel

Het afgeleide lineaire regressiemodel heeft de volgende vorm:

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot J_i + b_2 \cdot PNO_i + b_3 \cdot I_i + e_i$$

waarin Y het jaarlijks kengetal, J het jaartal, PNO het jaarlijks potentieel neerslagoverschot, I de interventievariabele, b_0 , b_1 , b_2 en b_3 de geschatte modelparameters, e het modelresidu en i de reeksindex ($i = 1, 2, \dots, n$).

Als bij de modellering bleek dat het jaarlijks kengetal niet statistisch significant gerelateerd is aan het potentieel neerslagoverschot (met 90% tweezijdige betrouwbaarheid), is het model opnieuw geschat, maar dan met alleen het jaartal en de interventievariabele als invoerreksen. Tenslotte is per reeks uit de twee soorten model – die met de staptoename en die met de lineaire toename – het beste model geselecteerd op basis van het Akaike Informatiecriterium. Deze laatste is op te vatten als een maat voor de pasvorm van het model, waarbij is gecorrigeerd voor het aantal modelparameters. Als in dit beste model het jaarlijks kengetal statistisch significant positief gerelateerd is aan de interventievariabele (met 95% eenzijdige betrouwbaarheid), dan mag voor de betreffende reeks worden gesteld dat er sprake is van een verslechting van de kwaliteitsontwikkeling vanaf 2008.

Uitgangspunt

De bovenstaande aanpak gaat ervan uit dat de residuën van het lineaire regressiemodel onafhankelijke trekkingen vormen uit dezelfde normale kansverdeling. We mogen aannemen dat hieraan wordt voldaan, aangezien wordt uitgegaan van jaarlijkse kengetallen.

5.2 Resultaten afzonderlijke reeksen

Voor deze analyse bleken 114 meetreeksen geschikt, namelijk van elk van de zes parameters 19 meetreeksen, afkomstig van 19 meetpunten. Het betreft dezelfde 19 meetpunten als vermeld in de tabellen 3.1 en 3.3.

In 20 gevallen bleek er een statistisch significante relatie met het potentieel neerslagoverschot. Dit betrof 4 reeksen van het jaargemiddelde van ammonium (een negatieve relatie), 7 reeksen van het zomergemiddelde van totaal-stikstof (een positieve relatie), 1 reeks van het zomergemiddelde van totaal-fosfor (een positieve relatie), 4 reeksen van het 90-percentiel van sulfaat (een negatieve relatie), 2 reeksen van het 90-percentiel van koper (een positieve relatie) en 2 reeksen van het jaargemiddelde van zink (een positieve relatie).

Slechts voor 5 van de 114 meetreeksen bleek er sprake van een statistisch significante verslechtering van de ontwikkeling vanaf 2008. Dit betrof 1 reeks van totaal-stikstof (GRK11), 1 reeks van totaal-fosfor (VEG02), 1 reeks van sulfaat (KEB02) en 2 reeksen van zink (GRS11 en OIJ00).

Het aandeel van de reeksen met een statistisch significante verslechtering van de ontwikkeling vanaf 2008 bedraagt 4,4% van het totaal (5 van de 114). Dit wijkt nauwelijks af van de 5% die verwacht mag worden bij geen verslechtering van de ontwikkeling. We toetsen immers met 95% betrouwbaarheid, wat een risico inhoudt van 5% onterechte detecties. De resultaten van dit onderdeel wijzen daarmee niet op een recente algehele verslechtering van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit.

5.3 Resultaten geaggregeerde reeksen

Er is ook interventie-analyse uitgevoerd op de 42 geaggregeerde reeksen – 7 reeksen voor elk van de 6 parameters (zie daarvoor § 3.2.2).

Voor geen van deze geaggregeerde reeksen bleek er echter sprake van een statistisch significante verslechtering van de kwaliteitsontwikkeling vanaf 2008.

5.4 Conclusies

Bij toepassen van interventie-analyse bleek er slechts voor 5 van de 114 meetreeksen sprake van een statistisch significante verslechtering van de ontwikkeling vanaf 2008. Dit betrof 1 reeks van totaal-stikstof (GRK11), 1 reeks van totaal-fosfor (VEG02), 1 reeks van sulfaat (KEB02) en 2 reeksen van zink (GRS11 en OIJ00).

Het aandeel van de reeksen met een een statistisch significante verslechtering van de ontwikkeling vanaf 2008 bedraagt 4,4% van het totaal. Aangezien dit nauwelijks afwijkt van de 5% die verwacht mag worden - we toetsen immers met 95% betrouwbaarheid - wijzen de resultaten van dit onderdeel niet op een recente algehele verslechtering van de ontwikkeling van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Verder bleek er voor geen van de geaggregeerde reeksen sprake van een statistisch significante verslechtering van de kwaliteitsontwikkeling vanaf 2008.

Literatuur

- ❖ Alden, R.W., Perry, E.S. and Lane, M.F. (2000). *A Comparison of Analytical Techniques for Determining Trends in Chesapeake Bay Water Quality Monitoring Program Data*. AMRL Technical Report # 3114. Applied Marine Research Laboratory, Norfolk, VA.
- ❖ Baggelaar, P.K en Van der Meulen, E.C.J. (2008): *Statistische analyse waterkwaliteit in beheergebied waterschap Rijn en IJssel*. Rapport van Icastat-AMO, Amstelveen, juni 2008, 49 blz.
- ❖ Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2010): *Trendanalist Gebruikershandleiding*. Icastat Statistisch Adviesbureau, Amstelveen en AMO Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie, Hengelo, maart 2010, 39 blz.
- ❖ Helsel, D.R. and Hirsch, R.M. (1992): *Statistical Methods in Water Resources*. Studies in Environmental Science 49. Elsevier, Amsterdam, 510 blz.

Bijlage – Concentraties N en P in 2009 en 2010 bovengemiddeld?

Deze bijlage besteedt aandacht aan de aanvullend te beantwoorden vraag of de zomergemiddelden van totaal-stikstof en totaal-fosfor in de droge zomers van 2009 en 2010 wellicht hoger waren dan gemiddeld.

Werkwijze

Voor elke afzonderlijke reeks van totaal-stikstof en van totaal-fosfor is voor de zomergemiddelden van 2009 en 2010 de Z-score berekend, uitgaande van de 11 zomergemiddelden van 2000 t/m 2010. De Z-score geeft aan hoeveel standaardafwijkingen het zomergemiddelde zich van het gemiddelde bevindt, volgens:

$$Z_j = \frac{(x_j - \bar{x})}{s}$$

waarin Z de Z-score, x het zomergemiddelde, j het jaar, \bar{x} het gemiddelde en s de standaardafwijking van de zomergemiddelden. Uitgaande van de normale kansverdeling duiden Z-scores kleiner dan -2 of groter dan +2 op extreme waarden.

Resultaten

De tabellen b.1 en b.2 vermelden voor respectievelijk totaal-stikstof en totaal-fosfor voor 19 meetreeksen en 7 geaggregeerde reeksen de uitgangsggegevens en de Z-scores voor de zomergemiddelden van 2009 en 2010.

Tabel b.1: Per meetreeks en geaggregeerde reeks de zomergemiddelden van totaal-fosfor van 2000 t/m 2010, alsmede het gemiddelde en de standaardafwijking. De laatste twee kolommen vermelden de Z-scores voor de zomergemiddelden van 2009 en 2010. Positieve Z-scores zijn blauw gekleurd..

Meetpunt/ aggregaat	Zomergemiddelde totaal-stikstof [mg N/l]											Z-score			
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Gem	Stafw	2009	2010
AAS00	6.99	4.33	5.16	4.69	7.11	6.06	6.09	7.85	4.75	4.82	5.84	5.79	1.16	-0.84	0.05
BAB01	6.24	4.42	4.91	4.17	5.19	4.58	3.81	4.70	3.81	2.65	3.49	4.36	0.95	-1.80	-0.92
BAB03	2.55	2.04	2.02	1.84	1.20	1.59	2.07	2.52	1.35	1.04	2.03	1.84	0.50	-1.60	0.38
BER00	7.40	6.48	6.14	7.39	5.47	6.27	8.07	8.27	5.75	6.02	5.61	6.62	0.99	-0.60	-1.02
BER04	6.16	4.57	4.36	2.85	4.20	4.76	4.75	6.45	2.99	3.74	4.37	4.47	1.11	-0.65	-0.09
BOS00	8.16	6.04	6.47	6.10	5.79	6.87	6.78	10.21	5.31	4.81	6.11	6.60	1.48	-1.21	-0.34
BUB01	5.31	5.27	5.29	4.23	5.56	6.29	4.67	4.88	3.80	5.33	5.82	5.13	0.71	0.28	0.97
DIW02	4.45	4.08	4.61	2.81	2.96	3.02	3.16	5.44	3.53	2.74	2.75	3.60	0.92	-0.94	-0.92
GRB02	2.53	2.21	1.84	1.53	0.84	1.86	0.98	1.80	1.33	1.33	1.83	1.64	0.50	-0.63	0.36
GRK11	4.59	4.25	3.88	4.50	4.26	3.00	3.33	3.29	4.05	4.53	3.46	3.92	0.56	1.07	-0.82
GRS11	9.49	6.92	5.92	8.45	6.30	7.58	7.06	10.68	5.62	8.91	6.03	7.54	1.65	0.83	-0.92
KEB02	4.55	1.84	2.18	2.20	2.76	2.83	3.41	5.06	1.72	1.72	4.33	2.96	1.21	-1.03	1.13
ODR01	1.43	1.75	1.58	1.56	1.51	0.89	0.93	1.06	1.03	1.18	1.13	1.28	0.30	-0.33	-0.49
OIJ00	4.49	2.89	3.62	3.35	2.74	3.65	3.23	3.88	2.89	2.02	2.65	3.22	0.68	-1.76	-0.84
OIJ03	5.53	3.76	4.00	3.57	4.36	4.71	3.98	4.99	3.62	3.27	3.68	4.13	0.69	-1.25	-0.66
RTB01	11.54	9.91	8.07	9.36	7.97	10.01	8.26	8.67	5.61	6.53	6.24	8.38	1.79	-1.04	-1.20
SBK90	4.08	3.38	3.98	3.63	4.30	4.44	4.79	5.01	3.40	3.05	3.98	4.00	0.61	-1.57	-0.03
VEG02	3.67	1.98	1.98	2.03	1.72	2.60	1.77	2.72	1.28	1.20	2.32	2.12	0.70	-1.30	0.29
ZWA01	1.01	1.54	0.94	1.03	0.73	0.91	1.53	1.61	1.32	1.03	1.67	1.21	0.33	-0.54	1.39
keileem	9.91	7.63	7.08	7.71	6.82	8.44	6.88	9.45	5.41	6.45	6.06	7.44	1.38	-0.71	-1.00
klei	3.93	3.17	3.27	2.79	2.90	3.35	3.13	3.34	2.95	2.28	2.51	3.06	0.45	-1.73	-1.22
zand	4.54	3.54	3.37	3.21	3.85	3.74	3.41	4.12	2.74	2.16	3.72	3.49	0.64	-2.06	0.36
M3	1.54	1.89	1.62	1.44	1.75	1.12	1.62	1.76	1.94	1.37	1.78	1.62	0.24	-1.04	0.66
R5	5.34	4.08	4.01	3.83	4.60	4.70	4.29	4.85	3.84	3.42	4.15	4.28	0.55	-1.58	-0.24
R6	5.63	4.45	4.54	4.64	4.62	5.43	5.97	6.31	3.86	4.21	4.49	4.92	0.78	-0.91	-0.55
WRIJ	4.93	3.96	3.90	3.33	4.15	4.34	4.37	4.54	3.52	3.02	3.69	3.98	0.56	-1.70	-0.51
% > 0														12%	35%

Uit tabel b.1 blijkt dat geen van de Z-scores voor zomergemiddelden van 2009 en 2010 groter is dan +2. Verder blijkt voor beide jaren het percentage positieve Z-scores ruim onder de 50%. Er is dus geen sprake van uitzonderlijk hoge zomergemiddelden van totaalstikstof in 2009 of 2010, als we die afzetten tegen de reeks zomergemiddelden van 2000 t/m 2010. In beide jaren liggen de zomergemiddelden zelfs vaker onder het gemiddelde van de periode 2000 t/m 2010, dan erboven.

Taabel b.2: Per meetreeks en geaggregeerde reeks de zomergemiddelden van totaal-fosfor van 2000 t/m 2010, alsmede het gemiddelde en de standaardafwijking. De laatste twee kolommen vermelden de Z-scores voor de zomergemiddelden van 2009 en 2010. Positieve Z-scores zijn blauw gekleurd en Z-scores groter dan 2 zijn paars gekleurd.

Meetpunt/ aggregaat	Zomergemiddelde totaal-fosfor [mg P/l]												Z-score		
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Gem	Stafw	2009	2010
AAS00	0.20	0.12	0.12	0.13	0.12	0.09	0.10	0.19	0.12	0.12	0.14	0.13	0.03	-0.45	0.30
BAB01	0.11	0.10	0.16	0.15	0.20	0.20	0.19	0.23	0.18	0.27	0.36	0.20	0.07	1.07	2.25
BAB03	0.11	0.08	0.12	0.11	0.07	0.07	0.08	0.08	0.05	0.07	0.12	0.09	0.02	-0.79	1.31
BER00	0.26	0.27	0.24	0.23	0.16	0.17	0.19	0.30	0.25	0.21	0.23	0.23	0.04	-0.39	0.02
BER04	0.15	0.16	0.20	0.26	0.18	0.13	0.16	0.19	0.17	0.15	0.17	0.18	0.03	-0.67	-0.16
BOS00	0.17	0.25	0.28	0.20	0.15	0.15	0.28	0.26	0.16	0.23	0.18	0.21	0.05	0.32	-0.54
BUB01	0.14	0.15	0.14	0.18	0.22	0.14	0.17	0.12	0.12	0.12	0.17	0.15	0.03	-1.19	0.65
DIW02	0.13	0.07	0.05	0.06	0.11	0.10	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.03	-0.72	-0.13
GRB02	0.06	0.06	0.07	0.08	0.04	0.12	0.04	0.09	0.05	0.06	0.11	0.07	0.03	-0.52	1.38
GRK11	0.07	0.09	0.08	0.08	0.13	0.11	0.11	0.15	0.09	0.07	0.09	0.10	0.02	-0.85	-0.41
GRS11	0.88	0.82	0.56	1.61	0.39	0.56	0.50	1.11	0.19	0.38	0.22	0.66	0.42	-0.65	-1.03
KEB02	0.18	0.09	0.07	0.09	0.11	0.09	0.14	0.12	0.11	0.15	0.09	0.11	0.03	1.12	-0.67
ODR01	0.14	0.16	0.16	0.16	0.14	0.10	0.11	0.14	0.10	0.11	0.12	0.13	0.02	-0.94	-0.37
OIJ00	0.11	0.09	0.11	0.08	0.06	0.07	0.07	0.10	0.12	0.07	0.08	0.09	0.02	-0.80	-0.21
OIJ03	0.12	0.14	0.13	0.10	0.07	0.11	0.07	0.13	0.09	0.07	0.08	0.10	0.03	-1.07	-0.89
RTB01	0.09	0.13	0.15	0.13	0.09	0.08	0.07	0.14	0.11	0.13	0.14	0.11	0.03	0.51	1.07
SBK90	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	0.06	0.06	0.08	0.08	0.11	0.09	0.09	0.02	1.19	0.04
VEG02	0.10	0.10	0.09	0.11	0.09	0.11	0.06	0.07	0.06	0.05	0.17	0.09	0.03	-1.22	2.21
ZWA01	0.07	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.07	0.10	0.09	0.09	0.01	0.79	0.47
keileem	0.16	0.24	0.25	0.55	0.13	0.16	0.17	0.22	0.15	0.18	0.16	0.21	0.12	-0.28	-0.50
klei	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.11	0.07	0.08	0.09	0.09	0.01	-0.69	-0.24
zand	0.11	0.10	0.11	0.13	0.12	0.11	0.10	0.12	0.09	0.12	0.13	0.11	0.01	0.31	1.21
M3	0.08	0.12	0.10	0.10	0.11	0.08	0.09	0.08	0.07	0.09	0.09	0.09	0.01	0.26	-0.26
R5	0.11	0.11	0.12	0.12	0.09	0.10	0.09	0.12	0.10	0.10	0.12	0.11	0.01	-0.87	0.76
R6	0.14	0.15	0.18	0.18	0.17	0.13	0.14	0.18	0.15	0.15	0.17	0.16	0.02	-0.40	0.55
WRIJ	0.11	0.12	0.11	0.12	0.10	0.11	0.09	0.12	0.09	0.10	0.11	0.11	0.01	-0.70	0.57
% > 0														31%	54%

Uit tabel b.2 blijkt dat slechts twee Z-scores boven de 2 uitkomen, in beide gevallen betreft het zomergemiddelden van 2010 (meetpunten BAB01 en VEG02). Maar voor 2009 blijft het percentage positieve Z-scores ruim onder de 50% en voor 2010 is dat percentage circa 50%. Dus als we de zomergemiddelden van totaal-fosfor van 2009 en 2010 afzetten tegen de reeks zomergemiddelden van 2000 t/m 2010, is er slechts voor 2 van de 19 meetpunten sprake van een uitzonderlijk hoog zomergemiddelde (in 2010). In 2009 liggen de zomergemiddelden vaker onder het gemiddelde van de periode 2000 t/m 2010, dan erboven, terwijl deze in 2010 ongeveer even vaak erboven, als eronder liggen.