

MEMO

Aan : Petra Damsma (RWS)
Van : Tom van Steijn en Hanneke Schuurmans (Royal HaskoningDHV)
Kwaliteitsborging : Rob Speets (Royal HaskoningDHV)
Dossier : BA7539
Project : Hydrologische effecten zandsuppleties Ameland
Betreft : Resultaten T2-analyse

Ons kenmerk : LW-AF20131090
Datum : 26 november 2013
Classificatie : Klant vertrouwelijk

1 AANLEIDING

In opdracht van Rijkswaterstaat onderzoekt Royal HaskoningDHV of de zandsuppletie van 2010 / 2011 op Ameland een aantoonbaar effect heeft op de grondwaterstanden en daarmee samenhangend op de ecologie. Hiervoor heeft in 2012 een onderzoek plaatsgevonden, uitgevoerd door Royal HaskoningDHV en KWR naar de situatie voor de zandsuppletie (T0) en de situatie een jaar na de zandsuppletie (T1). Hierbij is gebruik gemaakt van zowel tijdreeksanalyse als van een ecologische inventarisatie. De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in de rapportage van de T0 en de T1 (Royal HaskoningDHV LW-AF20122432/MSW en LW-AF20122433/MSW, 2012). Hierin is geconcludeerd dat er voor de vier raaien en voor het eiland in geheel geen verandering van de grondwaterstanden gevonden is die aan de zandsuppletie toegeschreven kan worden. De meest betrouwbare methode levert een gemiddelde verhoging van de modelbasis van 20 cm maar de resultaten bleken inconsistent. Lange termijneffecten konden niet worden aangetoond omdat de periode na de zandsuppletie nog te kort was. Rijkswaterstaat heeft besloten om het onderzoek voort te zetten met een focus op hydrologie. Hierbij wordt opnieuw een tijdreeksanalyse uitgevoerd in 2013 (T2) en 2014 (T3) op basis van nieuwe metingen. In deze memo worden de resultaten van de T2-analyse beschreven. Voor de onderbouwing van de hier gebruikte onderzoeksmethoden wordt verwezen naar de T0 en T1 rapporten.

2 AANPAK T2-ANALYSE

Er zijn tot dusver drie analysemomenten:

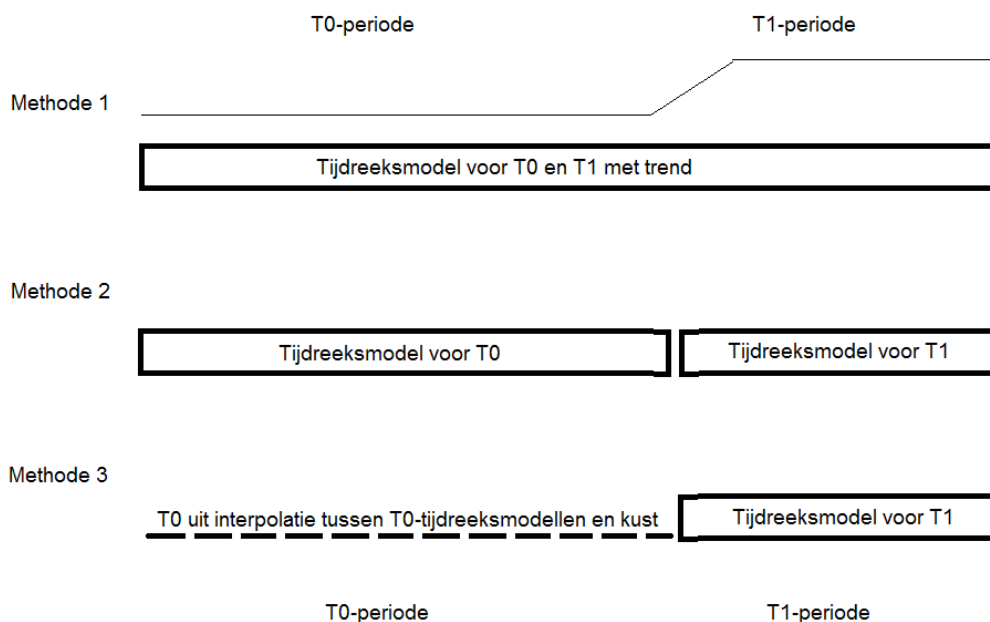
- T0: referentie situatie. De periode van 2000 tot 2010 wordt als referentieperiode aangehouden.
- T1: de eerste analyseronde (2010 - najaar 2012) van de effecten van de zandsuppletie van 2010 / 2011.
- T2: de tweede analyseronde (2010 - najaar 2013) van de effecten van de zandsuppletie van 2010 / 2011.

In voorbereiding op de analyse van de T2 zijn volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Een actualisering van alle beschikbare gegevens tot en met najaar 2013. Het gaat hier om meetreeksen van de grondwaterstand van de verschillende beherende instanties en verklarende reeksen als neerslag, verdamping en getijdebeweging. Van een aantal peilbuizen zijn op ons verzoek gevalideerde meetreeksen aangeleverd door de beherende instanties, aangezien bij de T0 en T1 analyses bleek dat deze niet allemaal even betrouwbaar waren.
- Een tweede validatie van de meetreeksen in de selectie. Ondanks het feit dat beherende instanties nieuwe gegevens hebben aangeleverd bleken er nog steeds onbetrouwbare waarden aanwezig te zijn. Er is door ons dan ook een tweede validatie uitgevoerd.

- Een hernieuwde selectie van geschikte peilbuizen op basis van de geactualiseerde meetgegevens en de geografische ligging van de peilbuizen.

Vervolgens zijn opnieuw tijdreeksanalyses uitgevoerd met behulp van het programma Menyanthes (KWR, 2012). Hierbij is gebruik gemaakt van de twee methoden die in de T1-analyse de meest betrouwbare uitkomsten gaven (methode 1 en methode 2, Figuur 1). Zowel de referentiesituatie (T0) als de periode erna (T2) zijn geanalyseerd. Vervolgens zijn de verschillen beschreven die duiden op een (tijdelijke) verandering in het hydrologisch systeem. Naast tijdreeksmodellering van de T0 en de T2 is gekeken of er visueel effecten van de zandsuppleties kunnen worden bespeurd in de meetreeksen zelf.



Figuur 1. De drie tijdreeksanalysemethoden zoals gehanteerd bij T1-analyse (Bron: T1 rapport LW-AF20122433/MSW, 2012). Voor de T2-analyse zijn alleen methode 1 en methode 2 gebruikt. Voor de T2-analyse kan T1 worden vervangen door T2.

3 SELECTIE VAN PEILBUIZEN

Voorafgaand aan dit onderzoek zijn een viertal meetraaien opgezet met als doel de mogelijke effecten van de zandsuppletie op de grondwaterstanden te monitoren (voor de globale ligging zie Figuur 2). In dit onderzoek zijn ook peilbuizen buiten de meetraaien meegenomen om de resultaten ruimtelijk beter te kunnen interpreteren. De locaties van de meetpunten inclusief filterstellingen zijn gebaseerd op informatie uit DinoLoket en extra dataleveringen van Vitens, Provincie Fryslan en Staatsbosbeheer.

In de T1-analyse zijn een groot aantal peilbuizen geanalyseerd (zie Figuur 2). Ook punten waar vanwege de ligging ten opzichte van de kustlijn eigenlijk geen effect van de zandsuppleties verwacht kan worden. Zoals in de aanbevelingen van de T1-analyse stond zijn voor dit onderzoek minder buizen geanalyseerd.



Figuur 2 Peilbuizen gebruikt in de T1 tijdreeksanalyse (lijnen geven de suppletielocaties aan, geel = strandoppletie, blauw = vooroeversuppletie)

Er zijn 192 peilbuizen geselecteerd (zie Figuur 3) die aan de volgende criteria voldoen:

- Ligging aan de kust, in of vlak achter het duingebied;
- Voldoende meetwaarden in de periode 2000 – 2013.

De geselecteerde peilbuizen kunnen vervolgens worden ingedeeld in drie groepen, zie ook Figuur 4:

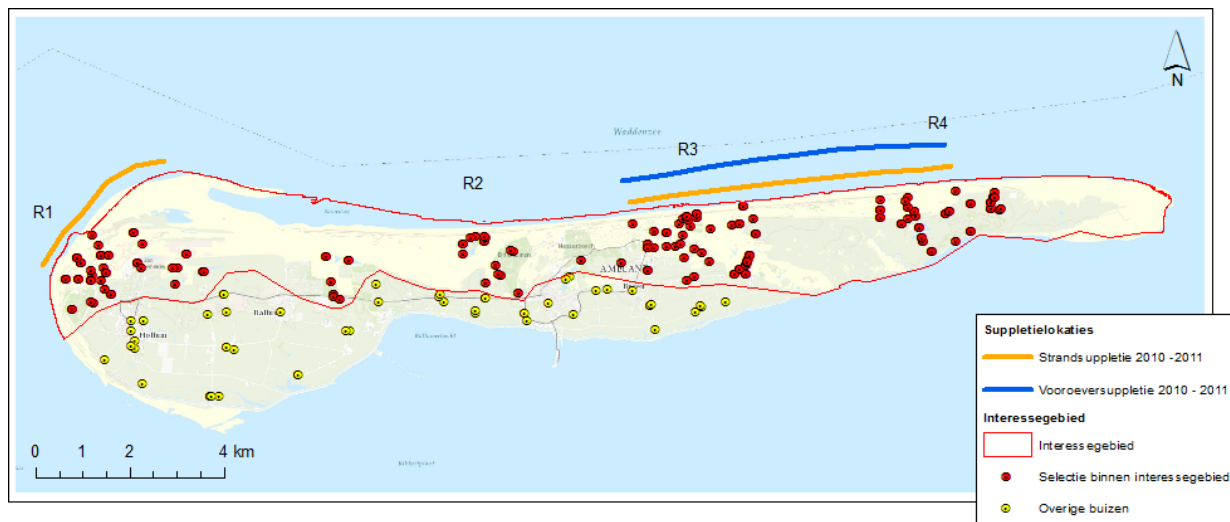
1. Peilbuizen met voldoende meetwaarden in T0
2. Peilbuizen met voldoende meetwaarden in T2
3. Peilbuizen met voldoende meetwaarden in zowel T0 als T2

Hiervoor is als criterium aangehouden dat er minstens 20 metingen binnen deze perioden moeten vallen. Dit zorgt voor iedere peilbuis in de selectie voor voldoende gegevens om een tijdreeksmodel op te zetten.

De laatste groep is geschikt voor trendanalyse met invoer van een lineaire trend als aanvullende parameter in Menyanthes (methode 1 - Figuur 1). Voor methode 2 kunnen in principe de buizen uit de eerste twee groepen worden gebruikt, maar alleen bij de laatste groep zal een goede vergelijking met de referentiesituatie kunnen plaatsvinden.

Tabel 1 Aantal peilbuizen geanalyseerd

Analyse	Aantal peilbuizen
1. T0	168
2. T2	94
3. T0 en T2	73



Figuur 3 Selectie peilbuizen binnen interessegebied



Figuur 4 Selectie peilbuizen voor de T0 en de T2 (de grijze stippen zijn de categorie peilbuizen waarvan onvoldoende gegevens beschikbaar zijn voor zowel de T0 als de T2)

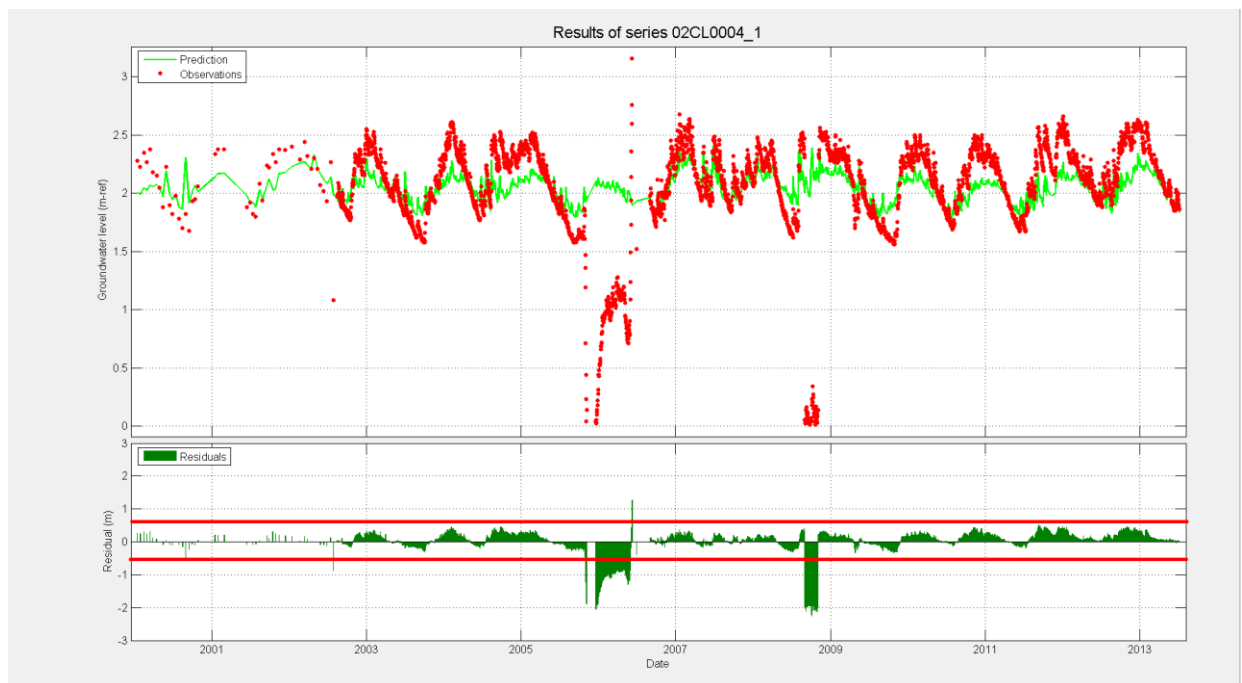
4 VALIDATIE VAN MEETREEKSEN

Uit de T1-analyse bleek dat slechte kwaliteit van de meetreeksen van een aantal peilbuizen een bron van ruis is. In de T2-analyse is dan ook getracht op deze punten een verbetering te bewerkstelligen. De geactualiseerde meetreeksen (aangeleverd door beherende instanties) zijn door ons opnieuw gevalideerd. Daarbij is gekozen voor een geautomatiseerde en generieke aanpak. Allereerst wordt voor alle meetreeksen een eerste tijdreeksanalyse uitgevoerd. Hierbij worden neerslag, verdamping en getij als verklarende variabelen gebruikt. Vervolgens wordt de modelfout berekend door het modelresultaat van de meetwaarden af te trekken. Dit is een tijdreeks met dezelfde

duur en frequentie als de meetwaarden. Waar de modelfout groter is dan twee maal de standaardafwijking wordt de corresponderende waarde verwijderd uit de meetreeks.

Het idee hierachter is dat het verloop van de grondwaterstand grotendeels kan worden verklaard door de relatie tussen neerslag en verdamping. Waar een tijdreeksmodel gebaseerd op deze twee variabelen plaatselijk sterk afwijkt van de meetwaarden hebben we waarschijnlijk te maken met een onbetrouwbare waarde in de meetreeks. Als het model over een langere periode afwijkt van de meetreeks dan is er sprake van een invloedsfactor die niet in het model vertegenwoordigd is. Omdat de modelfout in dat geval toeneemt wordt het criterium op basis waarvan onbetrouwbare waarden worden verwijderd dan ook ruimer.

Een voorbeeld van deze validatiemethode is weergegeven in Figuur 5. De uitbijters in de meetreeks zijn duidelijk te onderscheiden in de tijdreeks van de modelfout ("residuals"), en kunnen op basis hiervan verwijderd worden.



Figuur 5 Tijdreeks buis 02CL0004-1 (screenshot uit Menyanthes), modelresultaat tov meetwaarden en modelfout ("residuals"). De pieken buiten de rode lijnen zijn verwijderd tijdens de validatie.

5 TIJDREEKSANALYSE

5.1 Methode

Een tijdreeksanalyse is uitgevoerd voor de volgende tijdsperioden:

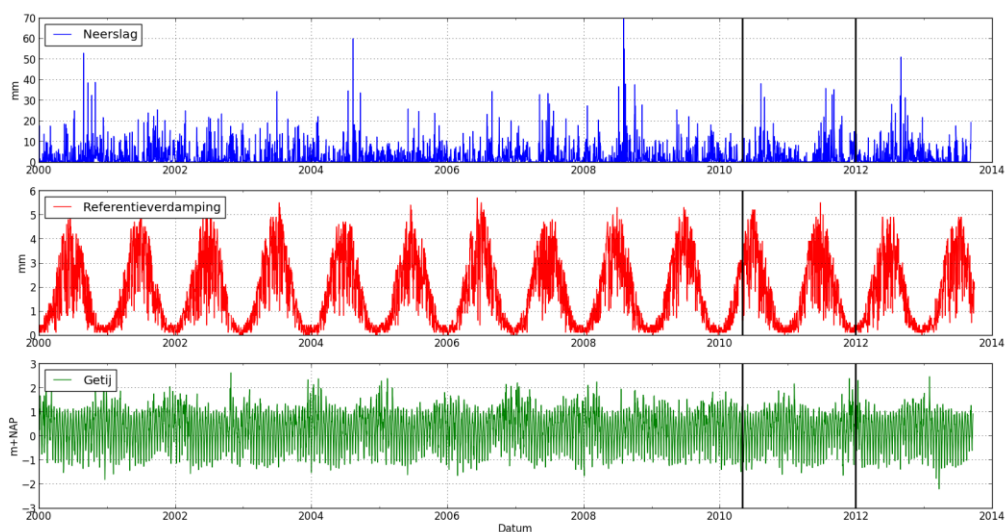
- T0: 2000 – mei 2010
- T2: mei 2010 – september 2013
- Trendanalyse T2: 2000 – september 2013 met lineaire trend voor de periode van de suppletiewerkzaamheden (mei 2010 tot december 2011).

De tijdreeksanalyse resulteert in een set parameters per meetpunt die het grondwaterstandsregime beschrijven. Als invoer wordt hiervoor de lokale neerslag, verdamping en getijdemetingen gebruikt, zie Figuur 6. De bronnen van deze reeksen zijn als volgt:

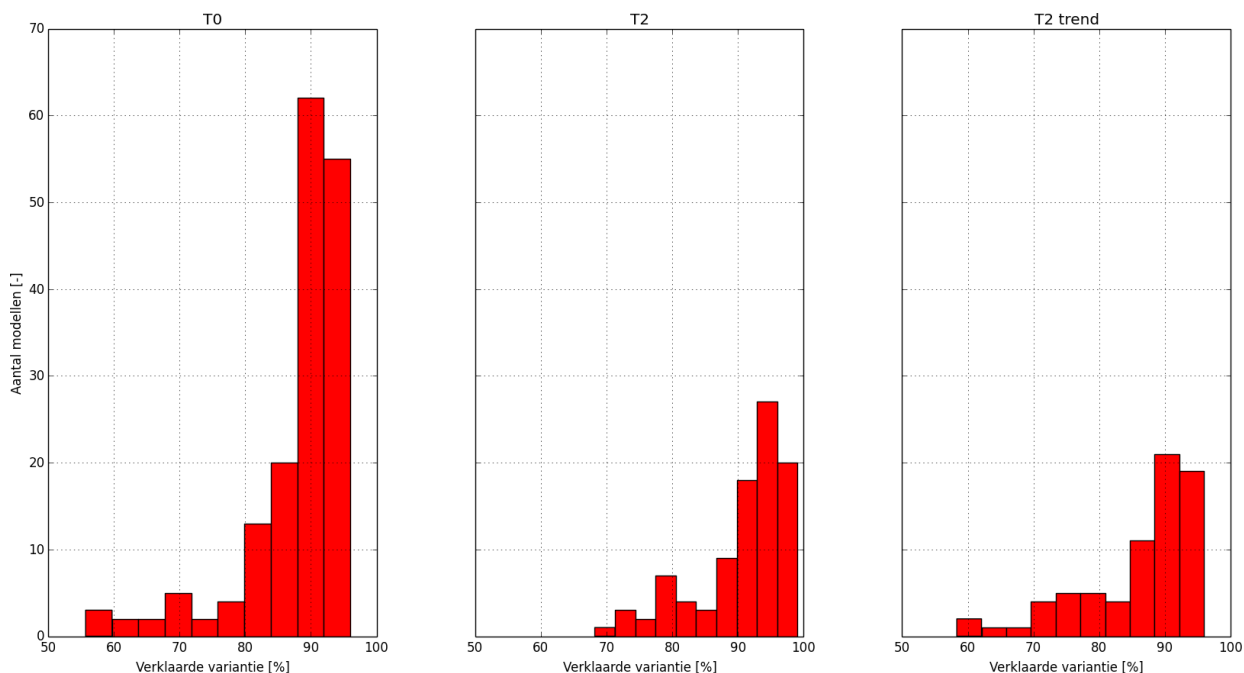
- Neerslag: dagreeks neerslagstation Nes op Ameland (KNMI, www.knmi.nl)
- Verdamping: dagreeks referentieverdamping weerstation Hoorn op Terschelling (KNMI, www.knmi.nl)
- Getij: waterpeil meetpunt Nes bij Ameland (Rijkswaterstaat, www.waterbase.nl)

In de T1-analyse is het getij niet gebruikt omdat dit geen verklarende waarde bleek te hebben. Dit keer is het getij wel toegevoegd omdat blijkt dat dit voor een aantal recent bemeten peilbuizen wel verklarende waarde heeft. Omdat de invloed van het getij rond de nul fluctueert, heeft de toevoeging van deze variabele geen invloed op de berekende effecten.

De betrouwbaarheid van de tijdreeksanalyse wordt beoordeeld aan de hand van de modelfout ten opzichte van de meetwaarden en de plausibiliteit van de verkregen modelparameters. Als criterium is gehanteerd dat tijdreeksmodellen een verklaarde variantie van minstens 50% moeten hebben en een significante neerslagrespons. Tijdreeksmodellen die hier niet aan voldoen zijn uit de analyseresultaten verwijderd. De resultaten van de tijdreeksanalyse op basis van gevalideerde meetreeksen bleken voldoende betrouwbaar waardoor het niet nodig was modellen uit de resultaten te verwijderen. De verdeling van de verklaarde variantie per scenario is te zien in Figuur 7.



Figuur 6 Verklarende variabelen tijdreeksanalyse



Figuur 7 Verklaarde variantie per scenario (De verklaarde variantie is een maat voor de betrouwbaarheid van het tijdreeksmodel en loopt van 0 tot 100%)

5.2 Vergelijking T0 en T2

Een structurele verandering van de grondwaterstand vertaalt zich in een verandering van de drainagebasis van het tijdreeksmodel. Door de drainagebasis voor zowel de T2 als de T0 te bepalen kan een verschilberekening worden gemaakt (methode 2, Figuur 1). De uitkomst is vergelijkbaar met de trendanalyse (paragraaf 5.3) in die zin dat er in beide methoden een verandering van de drainagebasis wordt geschat. Het verschil is dat er in deze methode per meetreeks twee tijdreeksmodellen worden geschat, die dus ook in de overige parameters zoals de neerslagrespons kunnen verschillen.

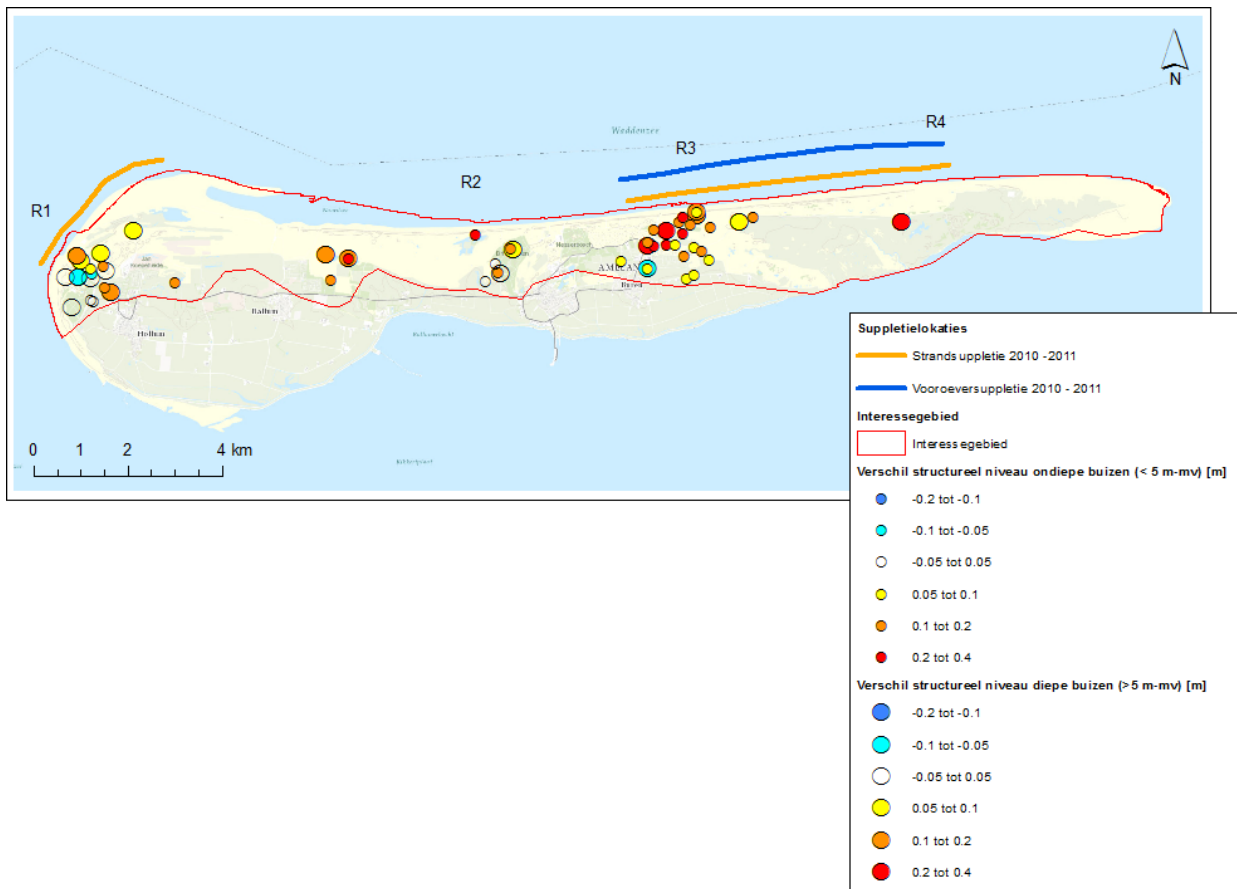
Met behulp van de drainagebasis, de neerslagrespons en het gemiddelde neerslagoverschot kan een gemiddeld grondwaterniveau worden afgeleid uit de tijdreeksmodellering, het zogenoemde structureel niveau. Uit vergelijking met de hoogtekaart blijkt dat het verkregen structureel niveau grotendeels het maaiveld volgt. Het structureel niveau bepaald voor de T0 en de T2 is op kaart getoond in Figuur 8 en Figuur 9. De verandering van het structureel niveau is te zien in Figuur 10.



Figuur 8 Structureel niveau grondwaterstand T0 (referentiesituatie)

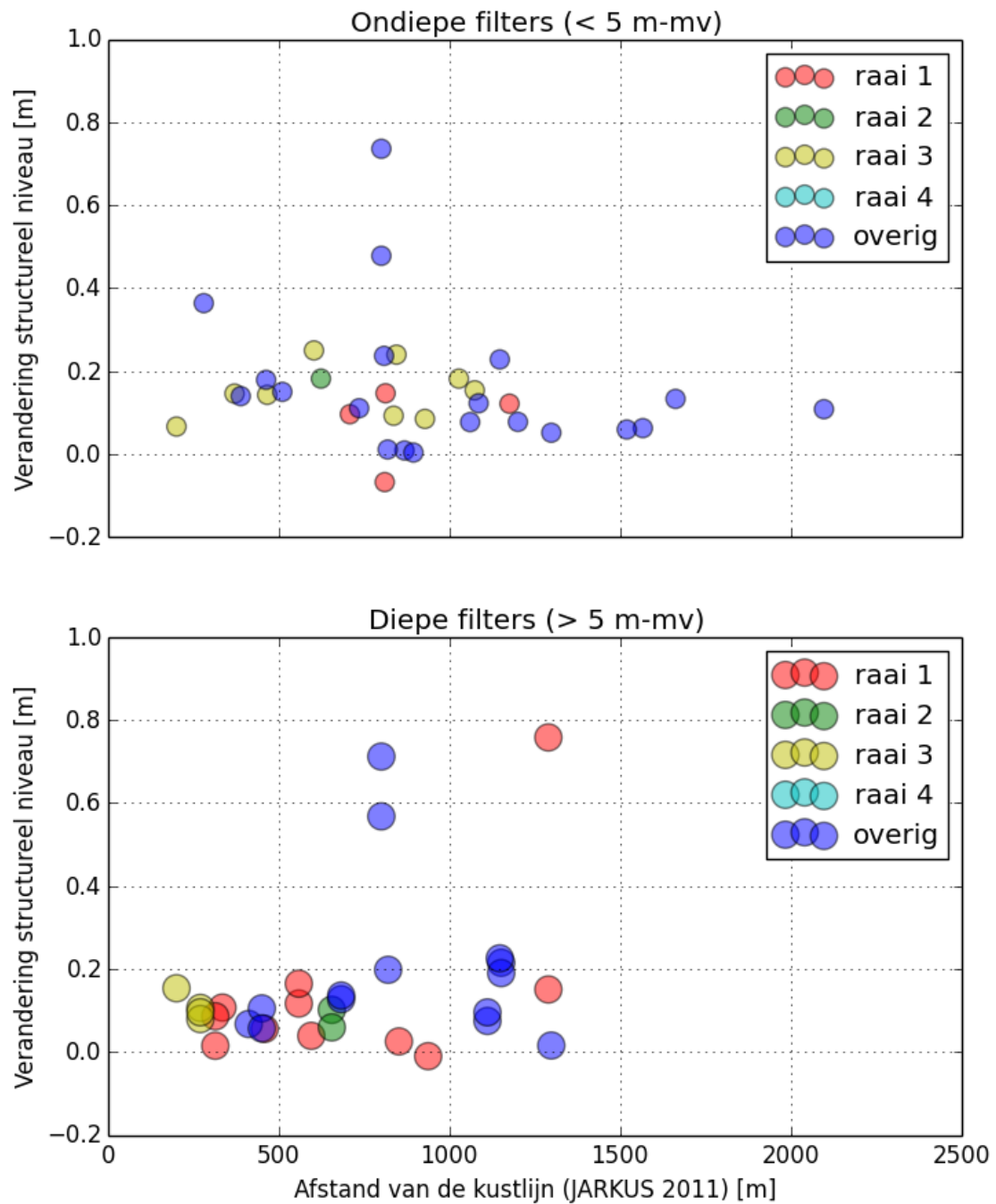


Figuur 9 Structureel niveau grondwaterstand T2 (2010 – 2013)



Figuur 10 Verandering structureel niveau T2 t.o.v. T0

Er is in de gemodelleerde tijdreeksen sprake van een verhoging van het structureel niveau in T2 t.o.v. T0. De waarden variëren grotendeels tussen de 0 en de 0,2 m. De gemiddelde verhoging bedraagt 0,15 m. Omdat 2011 en 2012 relatief droge jaren waren is dit niet terug te zien in de gemeten grondwaterstanden. De variatie in neerslag en verdampingshoeveelheden wordt in de analyse namelijk uit de tijdreeks gefilterd. Modelparameters als het structureel niveau gelden voor een gemiddeld jaar in de betreffende periode. De verandering van het structureel niveau tussen T0 en T2 is geplott in relatie tot de afstand tot de kustlijn (Figuur 11). Hieruit blijkt geen duidelijke relatie met de afstand tot de kustlijn.



Figuur 11 Verandering structureel niveau t.o.v. afstand tot de Noordzeekust (T2 t.o.v. T0)

5.3 Trendanalyse

Voor de trendanalyse wordt gebruik gemaakt van één tijdreeksmodel voor de periode voor, tijdens en na de zandsuppletie. In het tijdreeksmodel wordt een trendperiode aangegeven waarin de drainagebasis van het model mag veranderen en waarbij de overige modelparameters zoals de neerslagrespons gelijk blijven. Hier is dit de periode waarin de zandsuppletie heeft plaatsgevonden (mei 2010 tot 31 december 2011). De trendgrootte (verandering in verticale richting) wordt geschat door de modelfout ten opzichte van de meetwaarden in en na de trendperiode zo klein mogelijk te maken. De trendgrootte staat dan voor een verandering van de gemiddelde situatie tijdens en na de trendperiode.

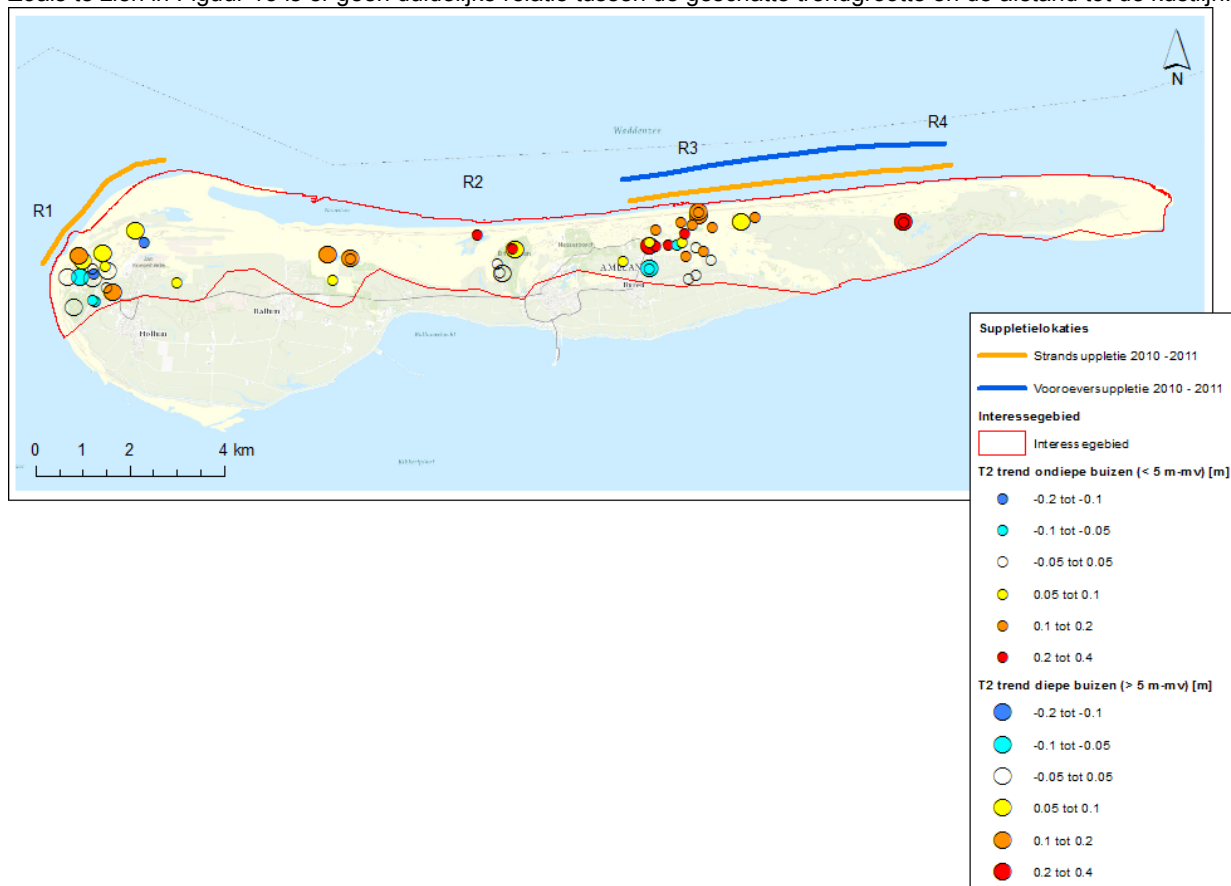
De geschatte trend per peilbuis (onderverdeeld in ondiepe en diepe buizen) is in Figuur 12 op kaart te zien. De geschatte trend varieert van -0,2 tot maximaal 0,4 m. De gemiddelde geschatte trend bedraagt 0,08 m. Op de kaart zijn alleen de peilbuizen getoond waarbij de geschatte trend significant verschilt van nul i.e. groter is dan 2 maal de standaardafwijking. De buizen waarin een absolute trend groter dan 0,1 m is geschat zijn te zien in Tabel 2.

Tabel 2 Buizen waarin een significante trend groter dan 0,1 m is geschat

Buisnummer	X	Y	Bovenkant filter [m+NAP]	Onderkant filter [m+NAP]	Maaiveld [m+NAP]	Referentiepunt [m+NAP]	Afstand kustlijn [m]	Trend [m]
01HP0094-1	170565	607575	-10,55	-11,55	3,25	3,88	314	0,11
01HP0096-4	171295	606805	-37,70	-38,70	3,30	3,14	1289	0,18
02CL0001-1	182838	607793	-0,10	-1,10	2,90	2,80	808	0,27
02CL0002-1	183116	607806	0,32	-0,68	2,85	2,76	844	0,36
02CL0005-1	183863	607673	0,10	-0,90	2,65	2,55	1027	0,17
02CL0013-1	183490	607580	1,04	0,04	2,75	3,28	1074	0,11
02CL0026-1	183460	608050	0,35	-0,65	3,25	3,84	603	0,22
02CL0027-1	184950	608390	-1,49	-2,49	2,35	3,14	388	0,11
02CL0030-1	184050	608190	-0,10	-1,10	3,10	3,67	510	0,10
02CL0031-1	183610	608230	-0,05	-1,05	3,30	3,83	466	0,12
02CL0032-1	183380	608280	-0,90	-1,90	2,85	3,46	370	0,20
02CP0034-1	182850	608140	-0,35	-1,35	4,50	5,06	462	0,16
02CP0127-1	182720	607780	-16,20	-17,20	2,80	2,69	820	0,28
02CP0128-3	183755	608430	-30,25	-31,25	2,75	3,39	270	0,11
B01H0011-001	179850	607695	-7,25	-8,25	2,73	3,50	655	0,12
B01H0012-001	175860	607600	-12,70	-13,70	3,30	4,21	1151	0,14
B01H0012-002	175860	607600	-23,70	-24,70	3,30	4,21	1151	0,11
B01H0200-001	179050	608020	0,34	-0,16	1,85	2,27	280	0,31
B01H0241-001	179794	607723	-0,99	-1,99	2,01	3,17	623	0,39
B01H0251-001	176360	607520	0,40	-0,10	2,40	3,04	1147	0,16
B01H0251-002	176360	607520	-3,60	-4,10	2,40	3,02	1147	0,16
B02C0010-003	183750	608500	-25,70	-26,70	2,74	3,48	200	0,13
B02C0028-001	188100	608300	1,65	1,56	2,63	2,55	800	0,21
B02C0028-002	188100	608300	1,53	-7,47	2,63	2,52	800	0,24

B02C0028-003	188100	608300	-7,49	-8,49	2,63	2,51	800	0,25
B02C0028-004	188100	608300	-21,50	-22,50	2,63	2,50	800	0,22

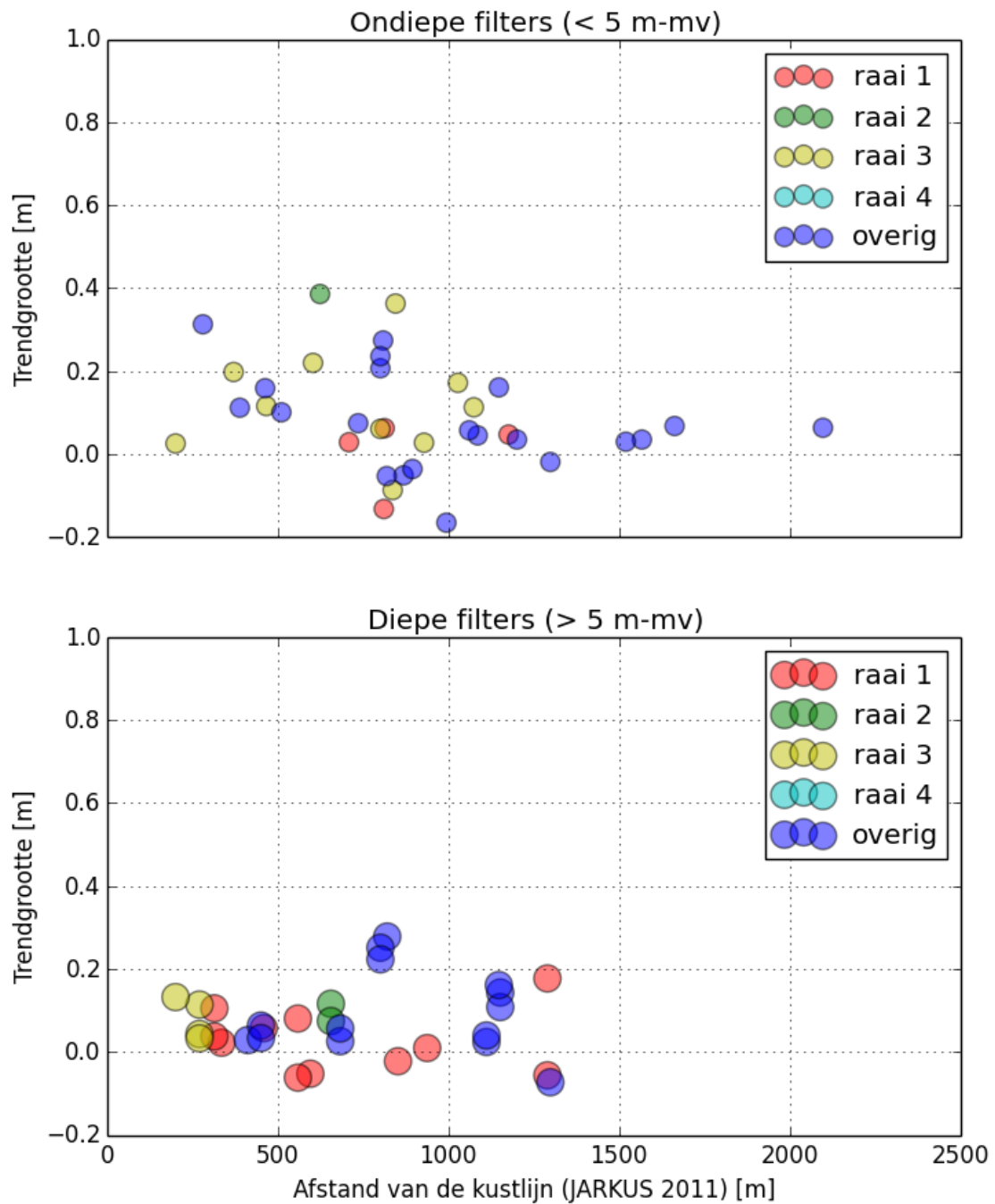
Zoals te zien in Figuur 13 is er geen duidelijke relatie tussen de geschatte trendgrootte en de afstand tot de kustlijn.



Figuur 12 Geschatte trendgrootte (m) per peilbuis

Ook hier zijn de resultaten geplot in relatie tot de afstand tot de kustlijn (Figuur 13). Hieruit blijkt geen duidelijke relatie met de afstand tot de kustlijn.

De resultaten van de trendanalyse komen sterk overeen met de vorige methode. Hoewel er iets minder uitschieters zijn komt het ruimtelijk patroon bij beide methoden sterk overeen.



Figuur 13 Geschatte trendgrootte (m) t.o.v. afstand tot de Noordzeekust

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de T2 analyse is de selectie van peilbuizen en de validatie van de meetreeksen verfijnd. Daarom worden de resultaten betrouwbaarder geacht dan de resultaten van de T1. Voor de meeste peilbuizen in de T2 wordt ten opzichte van de T0 een verandering van het structureel niveau berekend tussen de 0 en 0,2 m. De geschatte trendgrootte ligt globaal tussen de -0,1 en 0,2 meter. Ten opzichte van de referentiesituatie wordt voornamelijk een verhoging van de gemiddelde grondwaterstand voorspeld. In de T1-analyse wordt een verwachte verhoging van circa 0,15 m genoemd. De resultaten van deze studie wijken hier niet van af.

Bij een zandsuppletie is de verwachting dat de zoetwaterbel onder de duinen zich in zeewaartse richting uitbreidt. Dit leidt tot een grondwaterstandsverhoging en een verschuiving van de waterscheiding onder de duinen. De resultaten van deze analyse lijken dit effect aan te tonen. Omdat er geen duidelijke relatie is met de afstand tot de kustlijn is het minder aannemelijk dat de verhoging van de drainagebasis werkelijk wordt veroorzaakt door de zandsuppleties. Andere mogelijke oorzaken zijn de verhoging van oppervlaktewaterpeilen, een verandering van het landgebruik of een beheermaatregel als het plaggen van de duinen. Bij strandsuppleties kan bovendien een kortstondige verhoging van het grondwater ontstaan door het uitzakken van zout zeewater. In de grondwaterstandsmeetreeksen die in deze studie zijn gebruikt is dit effect niet waargenomen.

Geadviseerd wordt dan ook om na te gaan of er op Ameland maatregelen worden getroffen die een effect hebben op de hydrologische toestand. Zo is bekend dat Staatsbosbeheer op Terschelling gronden heeft aangekocht waar maatregelen worden getroffen om het zoetwater langer vast te houden. Wij hebben geïnformeerd of dit op Ameland ook het geval is maar hebben daar tot op heden geen eenduidig antwoord op gekregen. Omdat over het hele eiland verhogingen van de grondwaterstand zijn geconstateerd kunnen deze maatregelen alleen verklarend zijn als deze op meerdere plekken hetzelfde effect teweeg hebben gebracht.

Daarnaast kunnen tijdreeksmodellen uiteraard ook een modelfout bevatten. Een tijdelijk effect kan in de trendanalyse doorwerken op de periode na de opgegeven trendperiode. Er wordt dan ook aanbevolen om in de T3 analyse een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Verder kan de T3 worden vergeleken met de T0 exclusief de periode van suppletiewerkzaamheden. Zo wordt alleen de eindsituatie vergeleken met de T0 en een eventueel structureel effect in beeld gebracht.