



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Trendanalyse van kwaliteit grondwater in drinkwaterwinningsgebieden (2000- 2009)**

RIVM Briefrapport 607402011/2014  
S. Lukács et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Trendanalyse van kwaliteit grondwater in drinkwaterwinningsgebieden (2000- 2009)**

RIVM Briefrapport 607402011/2014  
S. Lukács et al.

## Colofon

© RIVM 2014

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

S. Lukács (RIVM)  
S. Wuijts (RIVM),  
H.F.R. Reijnders (RIVM),  
J.A. Ferreira (RIVM),  
H.H.J. Dik (RIVM),  
L.J.M. Boumans (RIVM)

Contact:  
Saskia Lukács  
MIL/IBW  
saskia.lukacs@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), in het kader van het project Grondwater KRW (M/607402)

## Rapport in het kort

Ongeveer tweederde van de 244 grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening in Nederland heeft een goede kwaliteit ongezuiverd grondwater. Bij ongeveer een derde blijkt het ongezuiverde grondwater (ruwwater) enige mate van verontreiniging te bevatten; de concentratie van vervuilende stoffen lag daar op 75 procent van de norm voor drinkwater of hoger. Per saldo lijkt de kwaliteit van het ruwwater voor een beperkt aantal stoffen in lichte mate slechter te worden. Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM naar de grondwaterkwaliteit bij grondwaterwinningen in Nederland tussen 2000 en 2009.

In verband met de Europese kaderrichtlijn Water (KRW) heeft het RIVM de waterkwaliteit van grondwaterwinningen landelijk geïnventariseerd. Conform de KRW (artikel 7) is per winning onderzocht of de gemiddelde grondwaterkwaliteit aan de normen voldoet en of er meerjarige trends optreden.

Bij 7 winningen zijn de concentraties gestegen bij zes van de 63 onderzochte vervuilende stoffen; bij vier van deze stoffen werd de norm voor drinkwater overschreden. Deze trends leveren aanvullende informatie op voor de concentraties van stoffen (toestand) die elke zes jaar in de desbetreffende grondwaterlichamen als geheel worden bepaald.

Voor de inventarisatie zijn de grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening beoordeeld op basis van de normen uit het Drinkwaterbesluit en aan de hand van REWAB-data (Registratie opgaven van Waterleidingbedrijven). In de REWAB-database rapporteren drinkwaterbedrijven over de drinkwaterkwaliteit in Nederland. De drinkwaterbedrijven zijn hierdoor verantwoordelijk voor de in deze studie gebruikte grondwaterkwaliteitsgegevens.

## Abstract

The Dutch drinking water supply system has 244 groundwater extraction points, and the unpurified groundwater at approx. two-thirds of these extraction points is of good quality. The unpurified water at about one-third of the groundwater extraction points is contaminated to some extent, with pollutant concentration levels at 75 percent or more of the drinking water standard. On balance, the quality of unpurified water appears to be decreasing slightly for a limited number of substances. This is apparent from groundwater quality analyses performed by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) at groundwater extraction points in the Netherlands between 2000 and 2009.

In accordance with the EU Water Framework Directive (WFD), RIVM carried out a nationwide survey of groundwater quality at groundwater extraction points. In accordance with Article 7 of the WFD, analyses were performed for each extraction point to determine if the average groundwater quality levels met the applicable standards, and to identify any multiannual trends.

At seven extraction points, the concentrations of six contaminating substances were found to have increased (out of a total of 63 investigated substances). The standard was exceeded for four of these substances. These trends provide additional information on substance concentrations, which are determined every six years in the relevant groundwater bodies as a whole.

In this survey, the groundwater extraction points were assessed based on the applicable drinking water standards (as contained in the Drinking Water Decree), as well as drinking water quality data reported by Dutch drinking water supply companies in the so-called REWAB database. The drinking water supply companies are therefore responsible for the groundwater quality data used in this study.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding–7</b>
1.1	Achtergrond–7
1.1.1	Doelstellingen Kaderrichtlijn Water–7
1.1.2	Plancyclus KRW –7
1.2	Vraag IenM en afbakening–8
1.3	Werkwijze–8
1.3.1	Statistisch programma R–9
<b>2</b>	<b>Normtoetsing–10</b>
2.1	Werkwijze–10
2.2	Resultaten–10
<b>3</b>	<b>Trendanalyse–13</b>
3.1	Werkwijze– 13
3.2	Resultaten– 14
<b>4</b>	<b>Discussie– 16</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en Aanbevelingen–18</b>
	<b>Literatuur–19</b>
	<b>Bijlage I Protocol–20</b>
	<b>Bijlage II Resultaten trendbeoordeling–27</b>
	<b>Bijlage III Achtergrondinformatie trendberekening–30</b>

## Samenvatting

In het kader van de drinkwatertoets voor de beoordeling van grondwaterlichamen voor de KRW heeft het RIVM in opdracht van IenM een analyse uitgevoerd om na te gaan bij welke winningen en voor welke parameters sprake was van overschrijding van normen uit het Drinkwaterbesluit. En daarnaast is geanalyseerd bij welke winningen en parameters sprake was van een stijgende trend van concentraties in de periode 2000-2009.

In deze analyse is gebruik gemaakt van de REWAB-data. Trendberekening is alleen uitgevoerd voor parameters die in enig jaar tussen 2000 en 2009, een waarde had groter dan 75 % van de norm van het Drinkwaterbesluit overschreden. De trendberekening is uitgevoerd conform het protocol dat zijn basis heeft in de GWR (EU, 2006) en het Technical Report 'Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results' (EU, 2001) en berekeningswijzen zijn ook ontleend aan dit technical report en geprogrammeerd in het statistische programma R. Dit script kan met eenvoudige aanpassingen ook gebruikt worden voor het berekenen van trends in andere grote datasets.

Aanvullend op het protocol is in deze studie, door het toepassen van de Benjamini-Hochberg methode, gekeken naar vals significante trends. Met deze methode wordt bij een "tolerantie niveau" van 10% van vals significante trends een drempel voor p-waarden (soort waarschijnlijkheden) berekend op basis van trendanalyses voor alle pompstations en stoffen. Dit tolerantie niveau van vals significante trends kan naar keuze worden ingesteld. Van welke berekeningswijze de resultaten voor de toetsing worden gebruikt is een arbitraire keuze.

In 80 van de 244 winningen worden in enig jaar tussen 2000 en 2009 een stofnorm van het Drinkwaterbesluit overschreden. In 7 winningen worden significant stijgende trends berekend als berekeningen volgens het protocol worden uitgevoerd. Volgens Benjamini-Hochberg wordt voor 2 winningen een stijgende trend berekend. In grote lijnen zijn de uitkomsten van deze evaluatie in overeenstemming met de analyse van de REWAB-data van Wuijts en Dik (2009).

De validatie van een deel van de REWAB-data is nog niet in een protocol vastgelegd. Dit levert beperkingen voor het gebruik van de REWAB-data voor langjarige trendanalyses. Gelet op de beperkingen die in de REWAB database besloten liggen kunnen resultaten van berekeningen uitgevoerd op de gegevens uit de REWAB database slechts een verkennend karakter worden toegekend. Voor een betere betrouwbaarheid van de trendanalyses met de REWAB-data is een structurele inspanning nodig voor de validatie van aangeleverde data en normalisatie van de database.

Omdat in deze studie gekeken is naar de periode 2000-2009 is het de vraag of de resultaten toereikend zijn voor de drinkwatertoets. Daarnaast is in deze studie niet gekeken naar trendomkering, zoals voorgeschreven in het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013).

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

### 1.1.1 Doelstellingen Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water (KRW, 2000/60/EG) bevat vijf milieudoelstellingen voor grondwater. Deze zijn geformuleerd in Artikel 4 van de KRW. Hierin staat dat lidstaten maatregelen dienen te nemen om:

1. De inbreng van verontreinigende stoffen in grondwater te voorkomen of te beperken (afhankelijk van de aard van de stof);
2. De achteruitgang van de toestand van alle grondwaterlichamen te voorkomen;
3. In grondwaterlichamen de 'goede toestand' te behalen en te behouden;
4. Door de mens veroorzaakte significante en aanhoudende stijgende trends van concentraties verontreinigende stof om te buigen;
5. De doelen voor beschermde gebieden te halen (waaronder waterlichamen bestemd voor menselijke consumptie).

In de Grondwaterrichtlijn (GWR, 2006/118/EG) zijn deze doelstellingen nader uitgewerkt.

De waterbeheerplannen, waaronder de formele stroomgebiedbeheerplannen KRW (SGBP'en), geven invulling aan deze doelstellingen. Ten behoeve van de eerstkomende SGBP'en worden in Nederland zogenaamde 'factsheets' per waterlichaam opgesteld. In deze factsheets wordt aangegeven op welke wijze invulling wordt gegeven aan de hierboven genoemde doelstellingen. Deze factsheets worden ook gebruikt als basis voor rapportage aan de EU en voor de gebiedsprocessen.

### 1.1.2 Plancyclus KRW

#### Karakterisering

De KRW beoordeelt de waterkwaliteit van winningen in cycli van zes jaar die telkens uit twee beoordelingsmomenten bestaat: de karakterisering en de toestandbeoordeling. Tijdens de karakterisering onderzoekt de regio waar de winning zich bevindt (provincies, waterbeheerders) of de doelstellingen op de gestelde termijnen worden gehaald. Als dit niet het geval is, worden maatregelen getroffen. Om kwaliteitsproblemen goed in kaart te kunnen brengen moet alle beschikbare en relevante informatie worden gebruikt. Afgesproken is dat hiervoor de risicoanalyse wordt gebruikt die wordt uitgevoerd bij de zogeheten gebiedsdossiers bij winningen. In deze gebiedsdossiers worden de risico's voor de waterkwaliteit bij alle winningen voor drinkwater in Nederland in beeld gebracht om effectieve beschermingsmaatregelen te kunnen treffen. Daarbij wordt gebruikt gemaakt van meetgegevens van individuele winputten. Gebiedsdossiers maken hiermee deel uit van het karakteriseringsproces.

#### Toestandbeoordeling

Bij de toestandbeoordeling wordt getoetst of de doelstellingen zijn behaald. Hierbij ligt juist de focus op de stoffen die een risico vormen voor het grondwaterlichaam en de verschillende functies daarin (waaronder de drinkwaterfunctie). In deze fase kan worden volstaan met de kwaliteitsinformatie over het totaal uit de putten gewonnen water en het geproduceerde drinkwater (REWAB-database, zie ook Box 1.1).



**Box 1.1** *Gegevens in REWAB-database (Registratie opgaven van Waterleidingbedrijven) (een uitbreiding op Wuijts en Dik, 2009).*

In de REWAB-database wordt informatie verzameld over de drinkwaterkwaliteit in Nederland. Drinkwaterbedrijven leveren hiervoor jaarlijks gegevens aan op basis van het wettelijk voorgeschreven meetprogramma (Drinkwaterregeling, 2011). Voor grondwaterwinningen is er naast het verplichte meetprogramma in reinwater en in het distributienet, een beperkt verplicht meetprogramma in ruw grondwater. De bedrijven meten voor de bedrijfsvoering meer stoffen dan wettelijk voorgeschreven. Deze stoffen worden eveneens in REWAB gerapporteerd, maar die stoffen hoeven niet bij alle bedrijven gelijk te zijn. Ook de meetfrequentie en meetmethode kunnen voor deze stoffen per bedrijf verschillen. Dit meetprogramma kan ook per jaar verschillen, al naar gelang de ontwikkeling in de bedrijfsvoering. Gegevens van individuele waarnemingsputten worden niet gerapporteerd in REWAB. Wel wordt het opgepompte water bemonsterd voor de zuivering (ruwwater). Per onderzochte parameter wordt in elk geval gerapporteerd: de jaargemiddelde, de minimum en maximum concentratie, de rapportagegrens en het aantal uitgevoerde metingen. Een jaargemiddelde concentratie kan zijn berekend op basis van 1 tot 100 meetwaarden. Een concentratie van een parameter die in REWAB wordt gerapporteerd kan dus zijn gebaseerd op een momentopname of een gemiddelde waar ook seizoensinvloeden in zijn verwerkt. Dit gegeven is ook van belang bij de beoordeling van trends.

Voor alle analyses die worden aangeleverd geldt dat zij zijn uitgevoerd door een Sterlaboratorium, en voldoen aan de interne kwaliteitseisen van het waterbedrijf. De drinkwaterbedrijven zijn de eigenaar van de data in REWAB. De REWAB database is bij het RIVM in beheer voor de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). De drinkwaterbedrijven moeten zorgen voor het consistent houden van de database door gegevens in een vast formaat toe te voegen. Het RIVM maakt op basis van de REWAB data jaarlijkse rapportages over de drinkwaterkwaliteit in Nederland. Het RIVM voert daarbij steekproefsgewijze controles uit naar deze consistentie.

## 1.2 Vraag IenM en afbakening

IenM heeft het RIVM gevraagd een toestand- en trendanalyse uit te voeren bij (oever)grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening. De inschatting of er sprake is van een toename van de zuiveringsinspanning maakt hier geen deel van uit. Deze inschatting zullen provincies en drinkwaterbedrijven in overleg zelf maken.

De werkwijze gaat uit van het Protocol Toestand- en Trendbeoordeling (versie maart 2013). Het Protocol is op sommige punten nog niet volledig expliciet. Daar waar dit voor deze analyse het geval is, is beschreven hoe daar mee om is gegaan (zie ook paragrafen 1.3, 2.1 en 3.1).

## 1.3 Werkwijze

De volgende stappen zijn uitgevoerd:

1. Data-analyse voor ruw grondwater over de periode 2000-2009. Voor deze data is vastgesteld of er sprake is van normoverschrijding (100 % en 75 %) van het Drinkwaterbesluit in enig jaar (Protocol Toestand- en Trendbeoordeling paragraaf 4.3 en Bijlage I van dit rapport). Uitgangspunt vormen de gegevens zoals beschikbaar in REWAB.
2. In hoofdstuk 5 van het Protocol staat beschreven dat voor alle parameters een trend zou moeten worden berekend. Het breed screenen van risico's voor de waterkwaliteit maakt echter al deel uit van de gebiedsdossiers. Daarom is alleen voor die parameters en locaties waar er sprake is van

overschrijding van 75 % van de norm ook onderzocht of het een significant toenemende trend betreft.

3. In 2009 is door het RIVM ook de drinkwatertoets uitgevoerd (RIVM rapport 609033006, Wuijts en Dik (2009)). Daarbij bleek dat de REWAB-data vaak nog hiaten vertoont. Destijds zijn de reeksen waarbij er ontbrekende data waren uitgevallen omdat er geen betrouwbare trend kon worden berekend. Inmiddels is er een algoritme ontwikkeld dat met deze hiaten kan omgaan (maakt deel uit van het Protocol Toestand- en Trendbeoordeling). Ten behoeve van voorliggende analyse is het algoritme geprogrammeerd in het statistisch programma R (zie ook paragraaf 1.3.1). Dit is ook bruikbaar voor andere trendberekeningen en kan worden ingebracht in het Informatiehuis Water (IHW). Het R-script is opgenomen in Bijlage IV.1.
4. De resultaten (data-analyse en trendberekeningen) zijn steekproefsgewijs gecontroleerd.

#### **1.4 Statistisch programma R**

Voor de berekening van de trend is door Wuijts en Dik (2009) gebruik gemaakt van het programma GWSTAT dat behoort bij het Technical report 1 van de EU (Grath et al., 2001). Met GWSTAT kunnen alleen trends worden uitgerekend als aaneengesloten tijdreeksen of complete data-matrixen worden aangeboden. GWSTAT kan niet eenvoudig aan de wensen van gebruikers worden aangepast. Gezocht is naar een programma dat flexibeler is en ook publiek toegankelijk. Het statistisch programma R voldoet aan deze wensen. R is een open source programma en scripts zijn gemakkelijk naar behoefte en lage kosten aan te passen. Scripts kunnen worden ontwikkeld waarna anderen het script voor eigen doeleinden kunnen toepassen en zondig aanpassen. In het programma zijn trendberekeningen mogelijk op tijdreeksen die niet aaneengesloten zijn of op onvolledige data-matrixen. In het programma zijn trendberekeningen mogelijk op Een uitgebreide bibliotheek met andere statistische methoden is beschikbaar. Het programma kan ook van command line worden gestart zodat data-files batchwise kunnen worden verwerkt. Het statistisch programma R wordt wereldwijd gebruikt en ook verbeterd. Integratie met geo-informatie behoort ook tot de mogelijkheden. Vanwege de potentiële mogelijkheden van het programma R is voor de huidige rapportage dit programma gebruikt. De ontwikkelde scripts (zie bijlage VI.1) kunnen ook op tijdreeksen uit andere watersoorten of milieucompartimenten worden toegepast. Voorwaarde is dat de in te voeren data telkens op eenzelfde wijze zijn geconfigureerd.

## 2 Normtoetsing

### 2.1 Werkwijze

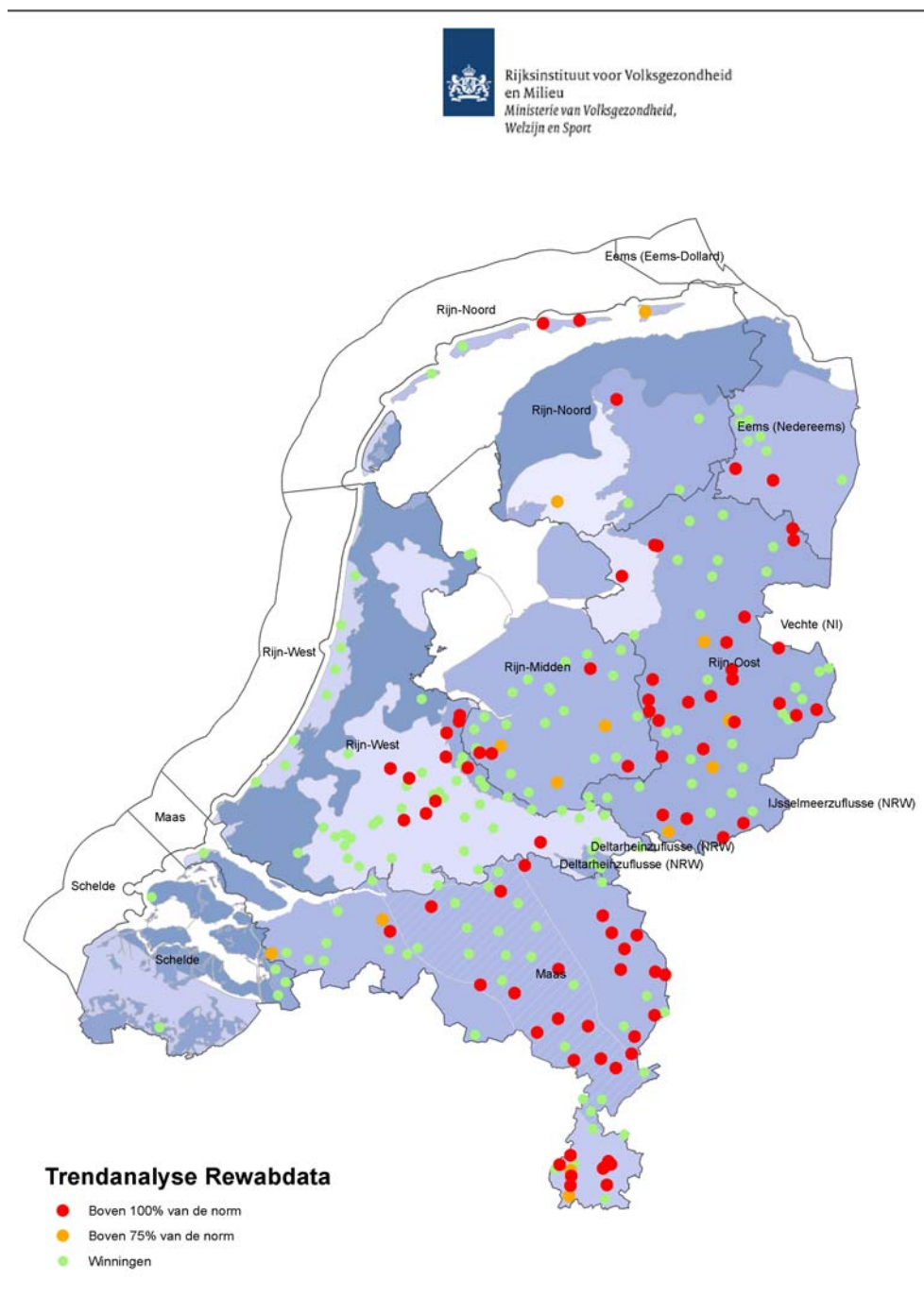
Conform Artikel 7 van de Kaderrichtlijn Water is per winning onderzocht of gedurende de periode 2000-2009 de jaargemiddelde grondwaterkwaliteit aan de normen voldoet en of er meerjarige trends optreden. Voor de toestand zijn de REWAB-data (zie ook Tekstbox 1.1) van grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening beoordeeld op basis van de normen van het Drinkwaterbesluit (2011). Als normen voor parameters ontbreken zijn de signaleringswaarden uit het Drinkwaterbesluit gebruikt. Als voor één of meer stoffen het jaargemiddelde hoger is dan de norm of signaleringswaarde, dan wordt een overschrijding voor de winning gevonden.

#### *Selectie gegevens*

De selectie van gegevens uit de periode van 2000 tot en met 2009 uit de REWAB database leidde tot een tekstfile die als invoer voor het programma R moet dienen. De gegevens zijn jaargemiddelden van metingen in het mengwater uit de bronnen waaruit tijdens de bemonstering water werd opgepompt. In de resulterende file komen in het veld parameternaam 624 stofnamen voor. In de evaluatie in 2009 (Wuijts en Dik, 2010) zijn files gebruikt waarin in het veld parameternamen 326 stofnamen voorkomen. Bovendien komen in de evaluatie uit 2008 51 stofnamen voor die in de selectie in 2013 niet voorkomen. Een verklaring hiervoor is dat met de tijd stofnamen anders worden opgeschreven (bij voorbeeld 1,2 dibroometheen in 2008 ≠ 1,2-dibroometheen in 2013). In de evaluatie van 2013 zijn verder op basis van deskundige-oordeel 80 parameternamen van de evaluatie uitgesloten. Het gaat hierbij vooral om bacteriologische gegevens en gegevens van totaal-metingen.

### 2.2 Resultaten

In deze selectie van de REWAB-data zijn 244 winningen of winvelden onderscheiden. In 80 van deze winningen worden gedurende de periode 2000-2009 in het ruwwater de bij de stof behorende norm van het Drinkwaterbesluit voor één of meerdere stoffen overschreden (Figuur 2.1). In 93 winningen komen de jaargemiddelde concentraties van één of meerdere stoffen boven 75 % van de rereleerde stofnorm. Dit betekent overigens niet dat het geproduceerde drinkwater niet aan de normen van het Drinkwaterbesluit voldoet, omdat het ruwwater nog een verdere zuivering ondergaat. In Tabel 2.1 is weergegeven welke parameters in welke grondwaterlichamen zijn gerapporteerd in REWAB in concentraties hoger dan 75% van de normen van het Drinkwaterbesluit. In totaal zijn er 239 tijdsreeksen waarvoor in enig jaar de norm of 75% van de norm wordt overschreden.



*Figuur 2.1. Drinkwaterwinningen waarbij in de periode 2000-2009 in het ruwwater een of meer stoffen de normen uit het Drinkwaterbesluit hebben overschreden (100% of 75 % van de norm).*

Tabel 2.1: parameters per grondwaterlichaam die in enig jaar tussen 2000 en 2009 de normen van het Drinkwaterbesluit overschrijden of 75% van die normen.

Grondwaterlichaam	Parameters	
	75% normoverschrijding <sup>1</sup>	normoverschrijding
Zand Eems		1,2-dichloorpropaan, 1,3-dimethylbenzeen, pesticiden (som)
Deklaag Rijn Noord	totaal alfa-activiteit	
Wadden Rijn Noord	totaal beta-radioactiviteit	methylbenzeen, nitriet
Zand Rijn Noord	chloride	totaal alfa-activiteit
Deklaag Rijn Oost		totaal alfa-activiteit
Zand Rijn Oost	prometryn, pyrazofos	ametryn, arseen, bentazon, bromacil, chloride, 1,2-dichlooretheen, cis-1,2-dichlooretheen, 1,2-dichloorpropaan, lood, MCPP, MTBE, monuron, naftaleen, nikkel, nitraat, nitriet, pesticiden (som), sulfaat, tetrachlooretheen, totaal alfa-activiteit, trichloormethaan
Zand Rijn Midden	chloride, nikkel, trichloormethaan	aluminium, 1,1,1-trichloorethaan, 3-chloorfenol, dikegulac-natrium, tetrachlooretheen
Deklaag Rijn West	aluminium, chloride,	arseen, bentazon, boor, chlooretheen, dichloormethaan, 3-chloorfenol, dikegulac-natrium, MCPP, MTBE, totaal alfa-activiteit, VOX
Zand Rijn West		alfa-endosulfan, arseen, decaan, cis-1,2-dichlooretheen, trans-1,2-dichlooretheen, dichloormethaan, heptachloorepoxide, naftaleen, tetra- en trichlooretheen (som), tetrachlooretheen, trichlooretheen
Krijt Maas	MCPP, nikkel, nitraat	bromaat, fenamifos, sulfaat, totaal alfa-activiteit
Zand Maas	2-methylaniline, 2,5-dichlooraniline, dichloormethaan, MCPP, methabenzthiazuron, natrium, VOX	1-(3,4-dichloorfenyl)ureum, 1-(4-isopropylfenyl)ureum, 1,2-dichloorpropaan, 2,4-dichlooraniline, 2,4-dichloorfenol, 2,4-dimethylfenol, 2,6-dimethylaniline, 3-methylfenol, 4-(4-chloor-2-methylfenoxy)boterzuur, 4-methylfenol, aldrin, aluminium, arseen, bentazon, boor, chloridazon, chloride, nikkel, nitraat, pentachloorfenol, pirimifos-ethyl, sulfaat, totaal alfa-activiteit

<sup>1</sup> en < 100% van de norm

## 3 Trendanalyse

### 3.1 Werkwijze

In paragraaf 5.3 van het Protocol voor toestand- en trendbeoordeling (maart 2013) staat beschreven dat voor alle parameters een trend zou moeten worden berekend. Deze paragraaf is in Bijlage I van dit rapport opgenomen. Het breed screenen van risico's voor de waterkwaliteit maakt echter al deel uit van de gebiedsdossiers. Daarom is in de huidige verkennende analyse van de REWAB-gegevens volstaan met het uitvoeren van een lineaire regressie van tijdreeksen voor die parameters en locaties waar er sprake is van overschrijding van 75 % van de norm. Lineaire regressie is uitgerekend als een meetreeks tenminste drie gegevens bevat. De gegevens hoeven niet aaneengesloten te zijn.

#### *Omgang rapportagegrenzen*

In databases worden gegevens die beneden een rapportagegrens liggen aangeduid met een kleiner-dan-teken <. Rekentechnisch zijn gegevens met een <-teken niet hanteerbaar en moeten worden verwijderd. Voor een parameter kan in een database met de tijd de rapportagegrens variëren. Als de <-tekens worden verwijderd ontstaat zo bijvoorbeeld in een reeks waarin de rapportagegrens steeds kleiner wordt een nieuwe reeks met gegevens die afnemen en dus een trend vertoont, terwijl deze tot stand komt door voorbehandeling van de gegevens. Om kunstmatige trends goeddeels te voorkomen zijn de gegevens als volgt voorbewerkt:

1. Rapportagegrenswaarden hoger dan de hoogste werkelijke waarneming laten vervallen;
2. Vervolgens alle rapportagegrenswaarden lager dan de hoogste resterende rapportagegrenswaarden ophogen naar de hoogste rapportagegrens.

Door deze voorbehandeling worden weliswaar kunstmatige trends voorkomen maar niet alle. De trendanalyse is daarom als vervolg stap ook visueel geïnspecteerd.

### 3.2 Resultaten

Voor de winningen met overschrijdingen voor parameters van 75% van de norm of meer, is gezocht naar significante trends met behulp van lineaire regressie. Van de 151 winningen waarvoor geen overschrijdingen voor parameters van 75% van de norm zijn gerapporteerd, is dus niet gekeken naar de aanwezigheid van trends. Met deze werkwijze is voor 239 tijdreeksen een trendanalyse uitgevoerd. Dit resulteerde in 27 significante trends, zowel stijgend als dalend en enkele niet eenduidig (Tabel 3.1). De trendfiguren zijn weergegeven in Bijlage II. Na visuele inspectie kan worden geconcludeerd dat in 7 winningen eenduidig toenemende significante trends zijn aangetroffen voor een parameter (Tabel 3.2 en Figuur 3.1).

*Tabel 3.1: Visuele analyse van significante trends in overschrijdingen*

<b>Beoordeling trends</b>	<b>Aantal winningen</b>
Afnemende trends	16
Toenemende trends	7
Niet eenduidig	4
<b>Totaal</b>	<b>27</b>

*Tabel 3.2: winningen met eenduidig toenemende trends in de periode 2000-2009*

<b>Winning</b>	<b>Grondwaterlichaam</b>	<b>parameter</b>
Schiermonnikoog Hertenbos (58)	Wadden Rijn Noord	totaal beta-radioactiviteit
Beegden (126)	Zand Maas	bentazon
Heer Vroendaal (130),	Krijt Maas	nitraat
Maastricht – de Tombe (154)	Krijt Maas	nitraat
Loosdrecht (175)	Zand Rijn West	cis-1,2 -dichlooretheen
Vierlingsbeek (209)	Zand Maas	sulfaat
Espelo (236)	Zand Rijn Oost	MCP



Figuur 3.1: Winningen met stijgende trends voor een stof obv REWAB 2000-2009



## 4 Discussie

### *Kwaliteit REWAB database*

De REWAB database wordt gevuld door de drinkwaterbedrijven en bij het RIVM onderhouden. Voor de aanlevering van gegevens uit de verplichte meetprogramma's zijn duidelijke afspraken gemaakt over de validatie en de standaardisering van de gegevens. Maar omdat de REWAB-database ook gegevens bevat van variërende meetprogramma's voor de bedrijfsvoering van de drinkwaterbedrijven (zie box 1.1.) kent de database verschillende 'onregelmatigheden'. Voor gegevens uit de aanvullende meetprogramma's zijn (nog) geen sluitende afspraken gemaakt met de drinkwaterbedrijven over de standaardisering. Door deze onregelmatigheden was het nodig de data verder te standaardiseren, voor de trendanalyse goed kon worden uitgevoerd. Dit heeft vertraging van de resultaten opgeleverd.

Wanneer de REWAB database in de toekomst vaker gebruikt zal worden voor meerjarige trendanalyse is het nodig te investeren in verder standaardisatie en validatie van de database.

### *Vergelijking resultaten met de trendanalyse REWAB in 2009*

In grote lijnen zijn de uitkomsten van deze evaluatie in overeenstemming met de analyse van de REWAB-data van Wuijts en Dik (2009). In deze studie zijn meer stoffen gevonden met normoverschrijdingen dan in 2009. Toen werden normoverschrijdingen geconstateerd in 79 winningen en nu worden in 80 winningen normoverschrijdingen gevonden. De verklaring hiervoor is dat de lijst met parameters omvangrijker is. De parameters waarvoor overschrijdingen zijn gevonden komen niet exact overeen. In enkele gevallen zijn parameters die in de evaluatie van 2009 75 % van de norm overschreden niet teruggevonden in deze studie. In deze studie is niet dieper ingegaan op deze verschillen. De trendberekeningen in deze studie laten meer significant toenemende trends zien dan in Wuijts en Dik (2009). Dit wordt veroorzaakt doordat nu ook trends bepaald zijn voor onvolledige tijdreeksen.

### *Rapportagegrenzen bij trendanalyse*

Hoe moet worden omgegaan met gegevens beneden de rapportagegrens is doorgaans niet vastgelegd in een protocol. In een database kunnen de rapportagegrenzen in de tijd variëren. Om kunstmatige trends, als gevolg van variërende rapportagegrenzen (zie paragraaf 3.1) goeddeels te voorkomen zijn de gegevens als volgt voorbereid:

1. Rapportagegrenswaarden hoger dan de hoogste werkelijke waarneming laten vervallen;
2. Vervolgens alle rapportagegrenswaarden lager dan de hoogste resterende rapportagegrenswaarden ophogen naar de hoogste rapportagegrens.

Met deze werkwijze blijft het noodzakelijk om de trendplaatsjes visueel te inspecteren. Er kan echter voor worden gekozen om bijvoorbeeld naast rapportagegrenzen (stap 2) ook waarnemingen te verhogen naar de hoogste resterende rapportagegrens en dan niet meer naar de trendfiguren te kijken. Hierdoor worden trends alleen berekend en blijft visuele inspectie achterwege. Er ontstaat het risico dat ook kunstmatige trends als reële trends worden gerapporteerd of dat trends worden gemist.

Een alternatieve methode voor de behandeling van rapportagegrenzen en gegevens beneden de rapportagegrenzen zou kunnen zijn (Roelsma et al., 2013):

1. rapportagegrenswaarden hoger dan de hoogste werkelijke waarneming schrappen;
2. alle resterende rapportagegrenzen te zetten op de helft van de hoogste resterende rapportagegrens en
3. alle waarnemingen lager dan de helft van de hoogste rapportagegrens te verhogen naar de helft van de hoogste rapportagegrens.

Met deze wijze van behandeling van rapportagegrenzen en gegevens beneden de rapportagegrenzen is in deze studie geen ervaring opgedaan.

#### *Correctie voor vals-significante trends*

Zoals is voorgeschreven in het protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) is de bepaling van trends met lineaire regressie gedaan op basis van de "5% regel". Volgens deze regel wordt een trend als significant beschouwd als de p-waarde – die de bewijskracht voor het bestaan van een trend geeft – 5% of kleiner is. Door het hanteren van deze regel kunnen door toeval trends worden uitgerekend waar in feite geen werkelijke trends bestaan – zogenaemde vals-significante trends. Om het aantal vals-significante trends te beperken kan de Benjamini-Hochberg methode toegepast worden. De Benjamini-Hochberg methode is een multiple test correctie methode die een data-gedreven "significantie drempel" bepaalt. Alleen de resultaten met een p-waarde die beneden de drempel ligt worden beschouwd als significant. Zie ook Bijlage IV.2 De drempel wordt zo bepaald dat het aantal vals significante trends op een ingestelde fractie van het totaal aantal trends uitkomt.

Ter vergelijking met de trendanalyse op basis van de 5% regel in deze studie is aanvullend de correctie met Benjamini Hochberg uitgevoerd, waarbij een drempel is gehanteerd van ca. 10%. Van de 27 significante trends, door de 5% regel verkregen, resulteerden na deze correctie nog 11 relevante trends. De betreffende trendfiguren zijn opgenomen in Bijlage III. Van de 7 winningen met toenemende trends (Tabel 3.2) bleven alleen de winningen Beegden (126) met bentazon en Vierlingsbeek (209) met sulfaat over.

De toepassing van zowel de 5% regel als de drempel van 10% met Benjamini-Hochberg is als een verkenning bedoeld. Er zou bijvoorbeeld ook gekozen kunnen worden voor een drempel van 5% met Benjamini-Hochberg wat zou resulteren in een lager aantal vals-positieven. Van welke methode de resultaten worden gebruikt is een arbitraire keuze.

#### *Gebruik van deze evaluatie voor het de drinkwatertoets van de KRW*

Volgens het Protocol, paragraaf 4.3 (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) moet de trendanalyse gedaan worden over de afgelopen 6 jaar. Volgens paragraaf 5.3 van het Protocol hoeft alleen trendanalyse uitgevoerd te worden over stoffen die in de afgelopen 10 jaar 75 % van de norm overschreden. In deze studie is gekeken naar de periode 2000-2009. De vraag is of het gebruik van deze periode toereikend is voor invulling van de drinkwatertoets. Ook wordt in het Protocol beschreven dat gekeken moet worden naar trendomkering. In deze studie is in vier gevallen sprake van 'niet eenduidige trends', die nader onderzocht zouden kunnen worden op trendomkering. Trendomkering heeft geen deel uitgemaakt van deze studie.

## 5 Conclusies en Aanbevelingen

In deze studie zijn trends bepaald op basis van de REWAB-data voor de periode 2000-2009. In deze studie is niet gekeken naar trendomkering, zoals beschreven in het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013). De vraag is of het gebruik van deze periode toereikend is voor invulling van de drinkwatertoets.

Gelet op de beperkingen die in de REWAB database besloten liggen kunnen resultaten van berekeningen uitgevoerd op de gegevens uit de REWAB database slechts een verkennend karakter worden toegekend.

Voor een betere betrouwbaarheid van de trendanalyses met de REWAB-data is een structurele inspanning nodig voor de validatie van aangeleverde data en normalisatie van de database.

Het algoritme uit het Protocol is uitgewerkt in een R script. Dit script kan met eenvoudige aanpassingen ook gebruikt worden voor het berekenen van trends in andere grote datasets.

## Literatuur

Benjamini, Y. and Hochberg, Y. (1995) Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J Roy Statist Soc Ser B*; 57:289-300

EU, 2000. Richtlijn 2000/60/EG van het Europees parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 327.

EU (2001) Technical Report No. 1. Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results. European Commission, Brussels.

EU, 2006. Richtlijn 2006/118/EG van het Europees parlement en de Raad van 12 december 2006 betreffende de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging en achteruitgang van de toestand. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 372.

Grath, J., A. Scheidleder, S. Uhlig, K. Weber, M. Kralik, T. Keimel, D. Gruber (2001) The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results. Final Report. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and GZ 16 2500/2-I/6/00), European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), in kind contributions by project partners. ViennaGrath...

Landelijke Werkgroep Grondwater (2013) Protocol voor toestand- en trendbeoordeling van grondwaterlichamen KRW. Product van de Landelijke Werkgroep Grondwater. Redactie door ministerie I&M.

R Core Team (2013). R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria (<http://www.R-project.org>)

Roelsma, J., P.K. Baggelaar en E.C.J. van der Meulen (2013) Integrae rapportage bodem- en grondwaterkwaliteit Drente. Alterra Wageningen UR, Wageningen. Alterra-rapport 2419.

Wuijts, S. en H.H.J. Dik (2010) Beoordeling grondwater- en oevergrondwaterkwaliteit bij winningen voor drinkwater; Analyse REWAB-data voor SGBP'en 2009-2015. RIVM, Bilthoven. Briefrapport 609033006

## Bijlage I Protocol

In paragraaf 4.3 van het Protocol Toestand en Trendbeoordeling KRW (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) is de zogenoemde 'Drinkwatertest' uitgewerkt. Onderstaande passages zijn aan het Protocol ontleend en dienen als achtergrondinformatie.

...

### **4.3 Winningen voor menselijke consumptie**

Indien in een waterlichaam water wordt onttrokken ten behoeve van menselijke consumptie dan moet conform Artikel 7.3 KRW een beoordeling van deze winningen worden uitgevoerd (EU Guidance Document No. 18, paragraaf 4.4.6). De punten van beoordeling zijn de winningen zelf. Bij deze test wordt beoordeeld of er sprake is van een significante toename van concentraties van stoffen in het onttrokken ruwe water en of dit leidt of heeft geleid tot een toename van de zuiveringsinspanning. Hiertoe wordt voor de betreffende winning voor afzonderlijke stoffen nagegaan of er over de afgelopen 6 jaar sprake is van een stijgende trend en of de zuiveringsinspanning ten opzichte van het referentiejaar 2000 is toegenomen.

Menselijke consumptie is in de KRW omschreven (afgezien van drinkwater) als al het water dat in enig levensmiddelenbedrijf wordt gebruikt voor de vervaardiging, behandeling, conservering of het in de handel brengen van voor menselijke consumptie bestemde stoffen of producten, tenzij de bevoegde autoriteiten ervan overtuigd zijn dat de kwaliteit van het water de gezondheid van de levensmiddelen als eindproduct niet kan aantasten (98/83/EG, artikel 2). De test moet worden uitgevoerd voor winningen voor de openbare drinkwatervoorziening en overige relevante winningen. De test wordt langs twee lijnen uitgevoerd met behulp van de REWAB data. Daarnaast beoordelen provincies samen met drinkwaterbedrijven of er sprake is van een toename van de zuiveringsinspanning. De trendanalyse is hierbij één van de informatiebronnen, maar ook andere informatie, zoals het operationele beheer van onttrekkingen en zuiveringen is hierbij van belang. Volgens de Warenwet, het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling, zijn deze winningen verplicht hun ruwwaterkwaliteit te controleren. Om de deelttest te kunnen uitvoeren moeten de gegevens beschikbaar gesteld worden. Hiervoor is overleg nodig. Provincies zijn primair verantwoordelijk voor het (doen) uitvoeren van de deelttest en daarmee het initiëren van overleg om deze gegevens bij de afzonderlijke winningen beschikbaar te krijgen. In 2013 wordt verkend of het bestaande convenant hierover met waterwinbedrijven kan worden verlengd. Nadere besluitvorming over de hieronder vallende winningen wordt voorzien in 2012/2013.

Als onderdeel van de totaalbeoordeling van het grondwaterlichaam moet de test worden uitgevoerd voor alle stoffen waarvoor een grondwaterkwaliteitsnorm of drempelwaarde bestaat en er sprake is van een concentratie > 75 % van de norm. Daarnaast moet er ook apart op art. 7.3 getoetst worden. Dit moet voor alle stoffen waarvoor een drinkwaternorm in het kader van de Drinkwaterrichtlijn beschikbaar is en die in het ruwe (dus ongezuiverde) water moeten worden gemeten. Zie hiervoor Hoofdstuk 6 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) (ook opgenomen in deze Bijlage). De punten van beoordeling zijn de winningen zelf.

De test is schematisch weergegeven in Figuur 4.2. Deze vormt de Nederlandse uitwerking van Guidance No. 18 On Groundwater Status And Trend Assessment (WFD CIS, 2009).

Essentie van de test is het beantwoorden van de vraag of er bij winningen in een grondwaterlichaam een significante opwaartse trend voor bepaalde stoffen zichtbaar is die wordt veroorzaakt door menselijk handelen en of dit (ten opzichte van het zuiveringsniveau in 2000) geleid heeft of leidt tot een toename van de zuiveringsinspanning. Is dit het geval, dan voldoet de betreffende winningen niet aan de drinkwatertest.

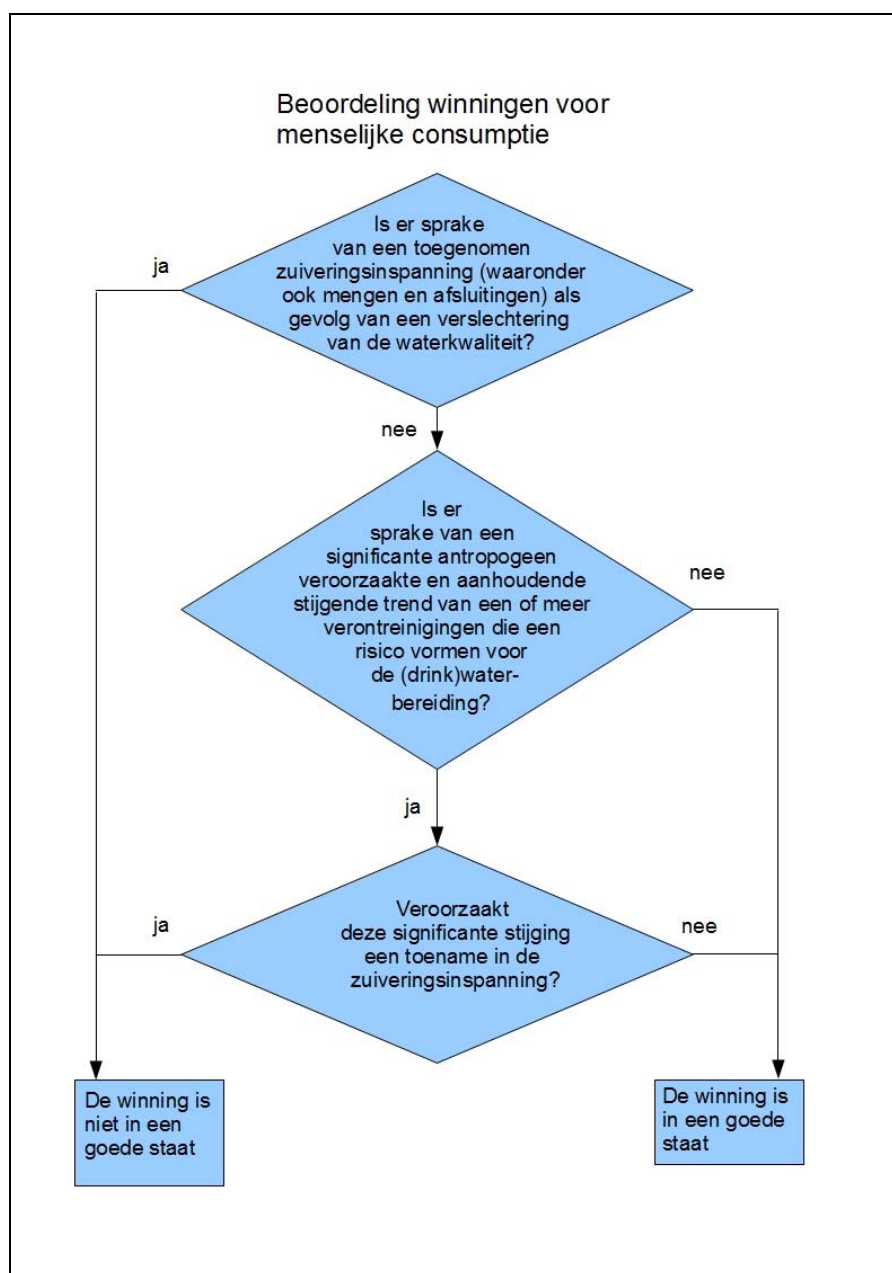
Voor de test wordt gebruik gemaakt van REWAB-data van ruw grondwater (Wuijts et al., 2012). De REWAB-database bevat gegevens over de kwaliteit van het drinkwater en over de bronnen voor drinkwater. Voor grondwater is dit de kwaliteit van het gemengde opgepompte grondwater. Deze gegevens worden verzameld door drinkwaterbedrijven op grond van de Drinkwaterwet in het kader van de jaarlijkse rapportage over de drinkwaterkwaliteit in Nederland (zie bijvoorbeeld Versteegh en Dik (2010)). Het is primair aan de drinkwaterbedrijven zelf om het verzamelen van data en het inrichten van de REWAB-database zo te uniformeren en optimaliseren dat gesignaleerde hiaten en verschillen (zoals meerdere winvelden met 1 meetpunt, verschillen tussen bedrijven in meetprogramma's en detailniveau) zoveel mogelijk worden weggewerkt en de in deze paragraaf besproken KRW-drinkwatertoets zo goed mogelijk kan worden uitgevoerd. Voor industriële winningen en eigen winningen moet het bevoegd gezag (provincie of waterschap) nog afspraken maken over gegevensuitwisseling.

### **Winput versus winning**

Door het gebruik van REWAB-data kan het zijn dat kwaliteitsproblemen die zich op lokale schaal voordoen, bijvoorbeeld een overschrijding of toenemende trend in één of enkele winputten, niet in deze test en daarmee in de beoordeling van de toestand van het grondwaterlichaam tot uitdrukking komen. Beschikbare informatie op het niveau van individuele winputten kan worden meegenomen bij de beoordeling van Artikel 7 in het kader van de gebiedsdossiers (drink)waterwinningen (zie hoofdstuk 6 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) (ook opgenomen in deze Bijlage)).

### Werkwijze:

Conform Figuur 4.2 vaststellen of er ten opzichte van de situatie rond 2000 sprake is van een toename in de zuiveringsinspanning die het gevolg is van een significante aanhoudende stijgende trend van een parameter in het ruwe water welke een bedreiging vormt voor de (drink)waterbereiding.



*Figuur 4.2 Beoordeling winningen voor menselijke consumptie. Voor stoffen waarvoor er ten opzichte van het jaar 2000 sprake is van een toename in de zuiveringsinspanning als gevolg van een significant antropogeen veroorzaakte stijgende trend is het oordeel 'ontoereikend'.*

Onderdeel van de analyse betreft het vaststellen of er voor afzonderlijke voor de drinkwaterbereiding relevante parameters sprake is van een aanhoudende stijgende trend. Voor toepasselijke methoden voor trendanalyse wordt verwezen naar hoofdstuk 5 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) (ook opgenomen in deze Bijlage).

Conform Figuur 4.2 vallen 'mengen en afsluitingen' onder het begrip 'toename van de zuiveringsinspanning'. Kernpunt bij deze beoordeling is dat in overleg

met het waterwinbedrijf moet worden nagegaan of dit zich voordoet en of dit tot maatregelen heeft geleid waarmee een duurzame oplossing is gerealiseerd. Als de oplossing door beide partijen duurzaam wordt bevonden zijn geen verdere maatregelen meer nodig en kan de toestand van de betreffende winning als 'voldoende' worden beoordeeld. Als de ontstane situatie niet duurzaam wordt bevonden en er maatregelen in de toekomst genomen dienen te worden om de winning in een goede toestand te brengen, dan wordt de huidige toestand als 'onvoldoende' beoordeeld.

### Conclusie

Voor winningen voor de openbare drinkwatervoorziening zijn voldoende gegevens voorhanden om de Drinkwatertest uit te kunnen voeren. Een aandachtspunt voor de drinkwaterbedrijven zelf, vormt nog de eenduidigheid en compleetheid van de data zelf omdat voor de KRW een andere informatiebehoefte geldt dan voor de Drinkwaterwet. Voor andere winningen voor menselijke consumptie moet het bevoegd gezag (provincie, waterschap) nog nadere afspraken maken.

Er is hier sprake van een beoordeling waarbij de grondwaterbeheerder in samenspraak met het waterwinbedrijf nagaat of er bij winningen in een grondwaterlichaam sprake is van een toename in de zuiveringsinspanning die het gevolg is van een significante aanhoudende opwaartse trend voor bepaalde stoffen, veroorzaakt door menselijk handelen. Is dit het geval, dan voldoet de betreffende winning niet en wordt deze als rode punt opgenomen op de toestandkaart. Na uitvoering van de benodigde maatregelen kan de toestand t.z.t. als 'voldoende' worden beoordeeld.

### Is afwijking mogelijk?

Het kan zijn dat er sprake is van een toename in de zuiveringsinspanning die hoofdzakelijk het gevolg is van andere oorzaken of overwegingen dan een aangetoonde significant aanhoudende verslechtering van de kwaliteit van het grondwater. Wanneer dit voldoende wordt toegelicht kan hiermee in de beoordeling rekening worden gehouden.

...

## **5.3 Werkwijze trendanalyse waterwinningen**

Bij de trendanalyse wordt beoordeeld of er sprake is van een significante en aanhoudende toename van concentraties van stoffen bij waterwinningen, of er sprake is van trendomkering en of deze worden veroorzaakt door antropogene invloed. Voor drinkwaterwinningen vinden de analyses plaats op basis van REWAB-gegevens. Het uitvoeren van trendanalyses is alleen nodig voor stoffen die in de afgelopen 10 jaar in enig jaar 75 % van de norm overschrijden.

Een significante trend is alleen relevant als deze trend leidt tot een overschrijding van 75 % van de norm voor het einde van de planperiode.

### *Werkwijze:*

1. Vaststelling of er sprake is van een significant stijgende trend over een tijdreeks waarover meetgegevens voor een parameter beschikbaar zijn.
  - a. Bepaal via lineaire regressie een regressielijn door de meetwaarden van de te analyseren (beschikbare) tijdreeks.
  - b. Bereken de hellingshoek met 95%-betrouwbaarheidsinterval (BI) (zie Bijlage 4 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2012)).



- c. Toets of het betrouwbaarheidsinterval het getal 0 niet bevat. Als beide betrouwbaarheidslijnen een positieve helling hebben is er een significant stijgende trend. Als beide lijnen een negatieve helling hebben een dalende trend. Als de hellingen verschillen (de een positief en de andere negatief) dan is niet vast te stellen of er een trend is.
2. Vaststelling of er sprake is van trendomkering (zie Bijlage 3 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013))
- a. Verdeel de onder punt 1 geanalyseerde tijdreeks in twee verschillende tijdsintervallen die op het oog het best aansluiten bij een eventuele trendomkering.
  - b. Bepaal voor de twee secties via lineaire regressie een regressielijn met bijbehorende BI door de meetwaarden.
  - c. Optimaliseer de keuze van de tijdsintervallen op basis van de fit van de regressielijnen door de twee secties.
  - d. Voor de situatie met de meest optimale fit (resultaat van 2c): voer een statistische test uit om te beoordelen of het twee-sectiemodel een significant betere fit geeft dan het een-sectiemodel (resultaat van 1c).
  - e. Er is sprake van trendomkering als de eerste sectie een significant stijgende en de tweede sectie een significant dalende trend laat zien.

...

## **6 Relatie met gebiedsdossiers waterwinningen voor menselijke consumptie**

De toets aan Artikel 7.3 KRW is de basis voor de deelttest beoordeling van waterwinningen als onderdeel van de toestandbeoordeling van grondwaterlichamen (zie par. 4.3).

Het toetsen van de overige doelen uit Artikel 7 staat los van de toestandbeoordeling voor grondwaterlichamen. De beoordeling van Artikel 7 staat als geheel centraal in de gebiedsdossiers (drink)waterwinningen voor menselijke consumptie en maakt deel uit van de vijfde van de in hoofdstuk 1 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013) (zie ook paragraaf 1.1.1 van dit rapport) beschreven doelstellingen voor een grondwaterlichaam. Volgens Artikel 7 KRW moet de kwaliteit van het opgepompte (grond)water zodanig zijn dat:

- 7.2 met de huidige zuiveringssystemen drinkwater conform de Drinkwaterrichtlijn (98/83/EG) kan worden bereid;
- 7.3 er geen achteruitgang van de grondwaterkwaliteit optreedt teneinde het niveau van zuivering voor drinkwater te verminderen.

De kwaliteitsbeoordeling voor de Artikel 7 (KRW)-doelstellingen moet worden uitgevoerd voor alle parameters uit de Drinkwaterrichtlijn. Dit zijn zowel chemische, radiologische als microbiologische parameters. De Drinkwaterrichtlijn is in Nederland geïmplementeerd in het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling (2011) onder toevoeging van een viertal parameters. Dit zijn PCB's, hardheid, SI (verzadigingsindex) en zink. Het Drinkwaterbesluit schrijft voor dat jaarlijks per put de grondwaterkwaliteit moet worden onderzocht door het drinkwaterbedrijf. Het aantal verplicht te monitoren parameters is beperkt voor het grondwater. Afhankelijk van de lokaal gesignaleerde risico's zal het drinkwaterbedrijf ook aanvullende parameters monitoren. Het drinkwaterbedrijf legt het meetprogramma ter vaststelling voor aan de Inspectie voor Leefomgeving en Transport.

Bij de karakterisering moet worden vastgesteld wat relevante probleemstoffen per winning zijn en moet een link worden gelegd met de maatregelen die genomen worden om aan de (drinkwatergerelateerde) doelen van de KRW te voldoen.

Landelijk is afgesproken om het geheel voor (drink)waterwinningen per winning te beschrijven in een gebiedsdossier. De dossiers beschrijven daarmee:

- risico's (in waarnemingsputten, winputten of winning),
- stoffen waarvoor drempelwaarden zouden moeten worden vastgesteld,
- mogelijke maatregelen.

Naarmate verontreinigingen zich dichterbij of in de winning manifesteren, zijn maatregelen aan maaiveld minder effectief en zullen deze meer gericht moeten zijn op saneren/beheersen of verdergaande zuivering.

Bij de toestandbeoordeling (par. 4.3 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013)) wordt het gebruik van REWAB-data voldoende geacht (Wuijts et al., 2012). Het bewaken van de voortgang van maatregelen bij een winning maakt deel uit van het proces van het gebiedsdossier en behoort tot de taken van de regiehouder (provincie). Het effect van maatregelen wordt meegenomen bij de periodieke actualisatie (NWO, 26 mei 2010) van het gebiedsdossier: daar moet blijken of de getroffen maatregelen ook daadwerkelijk hebben geleid tot het beoogde effect. De actualisatie van het gebiedsdossier is om die reden ook gekoppeld aan de KRW-cyclus.

Om het effect van maatregelen vast te kunnen stellen moet rekening worden gehouden met de responstijd van het grondwatersysteem op maatregelen aan maaiveld en de invloed van geochemische processen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van waarnemingsputten en een conceptueel model (Wuijts et al., 2012 en Spijker et al, 2009).

#### Oevergrondwaterwinningen en infiltratiewaterwinningen

In dit protocol ligt de focus op grondwater en de grondwaterwinningen. De KRW-opgave is echter evenzo van toepassing op oevergrondwater- en oppervlaktewaterwinningen. Ook voor deze winningen kunnen gebiedsdossiers worden gebruikt om input te verzamelen voor de karakterisering van grond- respectievelijk oppervlaktewaterlichamen. Voor oevergrondwater geldt daarbij een bijzonderheid: de kwaliteit van het infiltrerende oppervlaktewater wordt als input gebruikt voor de karakterisering van het oppervlaktewaterlichaam, de kwaliteit van het grondwater in de winputten voor de karakterisering van het grondwaterlichaam. De kwaliteit van het geproduceerde drinkwater is relevant voor beide lichamen.

#### Werkwijze

1. Maak afspraken met eigenaren winningen voor menselijke consumptie over gegevens-uitwisselinggegevensuitwisseling (zie ook actie uit paragraaf 4.3 van het Protocol (Landelijke werkgroep Grondwater, 2013)).
2. Ga voor alle stoffen die zijn geïdentificeerd als risico voor drinkwater per waterwinning na of er sprake is van een significant stijgende trend. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de werkwijze zoals beschreven in Hoofdstuk 5 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013).
3. Bij gesignaleerde significant positieve trend: Identificeren mogelijke maatregelen en neem deze op in de gebiedsdossiers (drink)waterwinningen.
4. Besluit in het kader van de gebiedsdossiers (drink)waterwinningen over te nemen maatregelen en de uitvoering daarvan.
5. Stel via monitoring het effect van de maatregelen vast en neem dit mee bij de actualisatie van het gebiedsdossier.

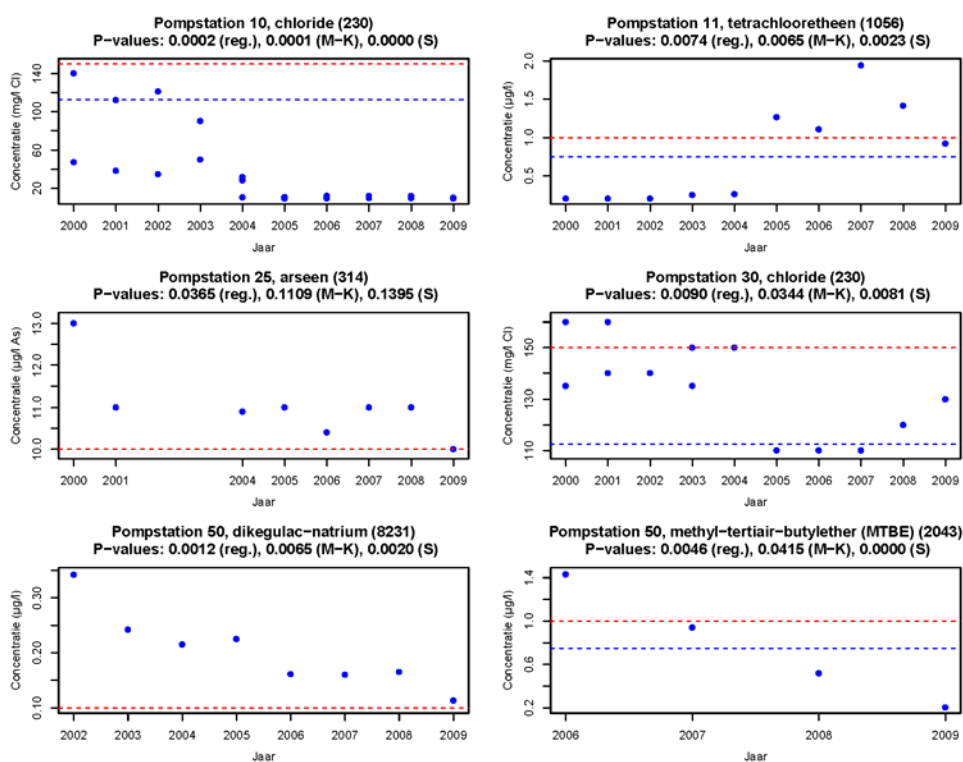
### Conclusie

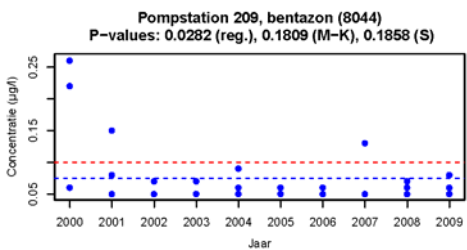
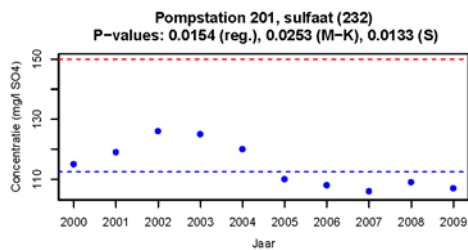
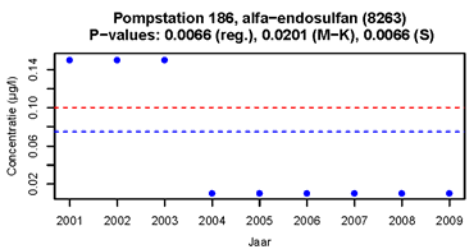
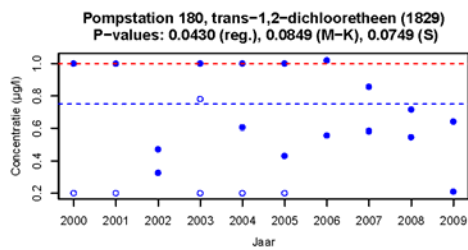
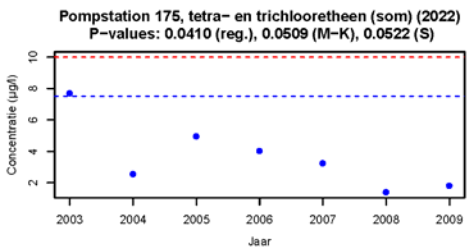
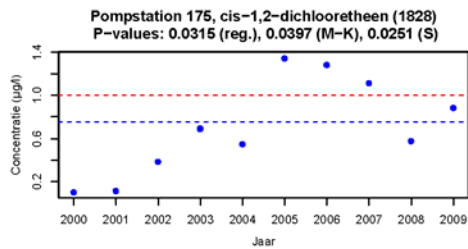
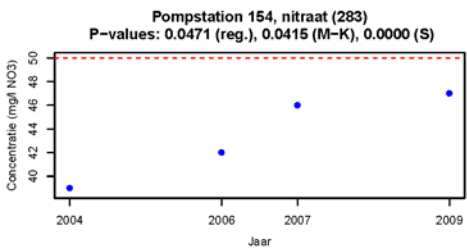
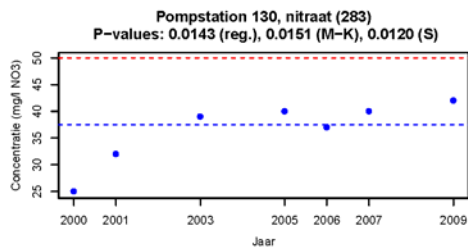
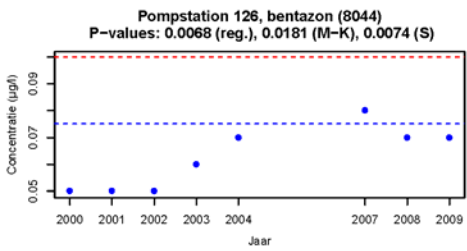
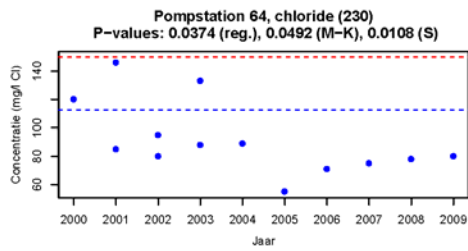
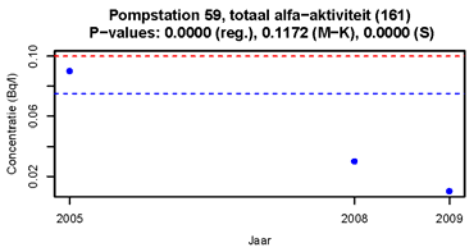
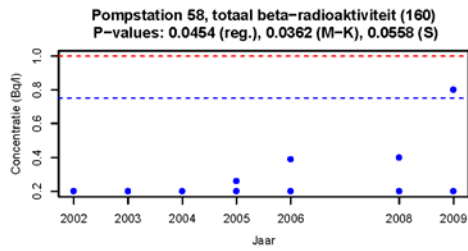
Voor de toetsing aan Artikel 7.2 kan gebruik worden gemaakt van de jaarlijkse landelijke rapportage over de drinkwaterkwaliteit (Versteegh en Dik, 2010). Voor industriële en eigen winningen moeten provincies nog afspraken maken over gegevensuitwisseling (zie ook paragraaf 4.3 van het Protocol (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2013)).

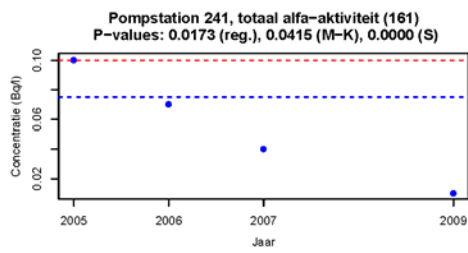
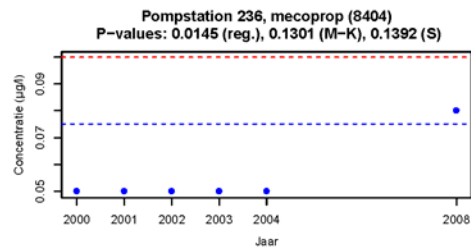
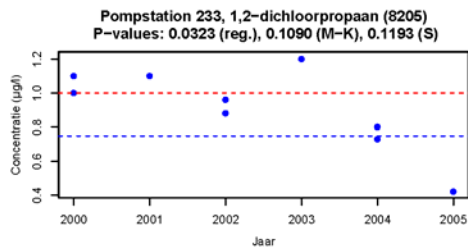
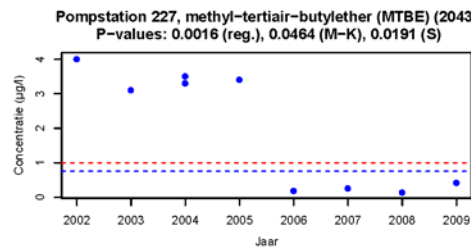
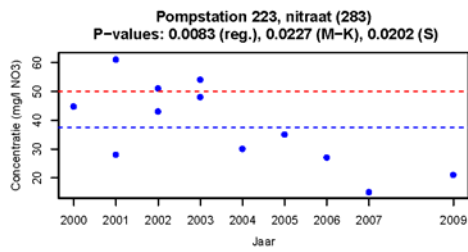
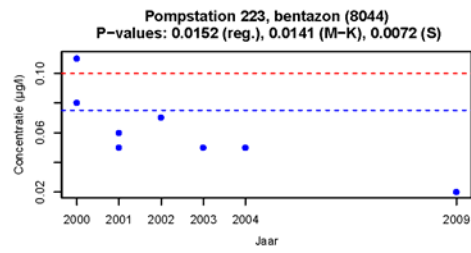
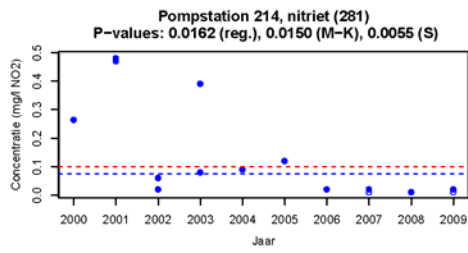
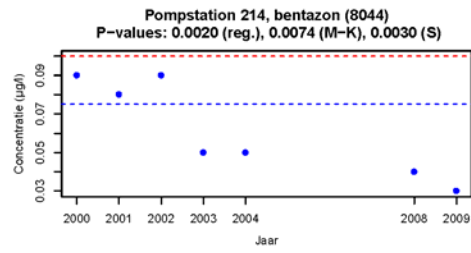
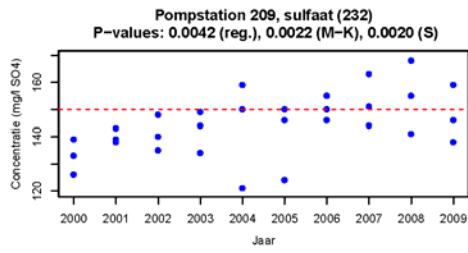
## Bijlage II Resultaten trendbeoordeling

Aanwezige trends, berekend met behulp van lineaire regressie en geselecteerd op basis van de 5% regel (resultaten met p-waarde gelijk of kleiner is dan 0.05 worden als significant beschouwd), in tijdreeksen waarin stoffen minimaal één jaar 75% van de norm overschreden.

Uit onderstaande figuren blijkt dat in een aantal winningen voor sommige jaren sprake is van meerdere meetgegevens. Dit heeft te maken met voeding van de zuiveringsstations. Binnen één zuiveringsstation kan via meerdere strengen water aangeleverd worden. Voor sommige jaren zijn ook de meetgegevens van de afzonderlijke strengen aangeleverd. Dit is één van de inconsistenties in de REWAB-database, maar is voor de gebruikte methode voor trendberekening niet van belang.

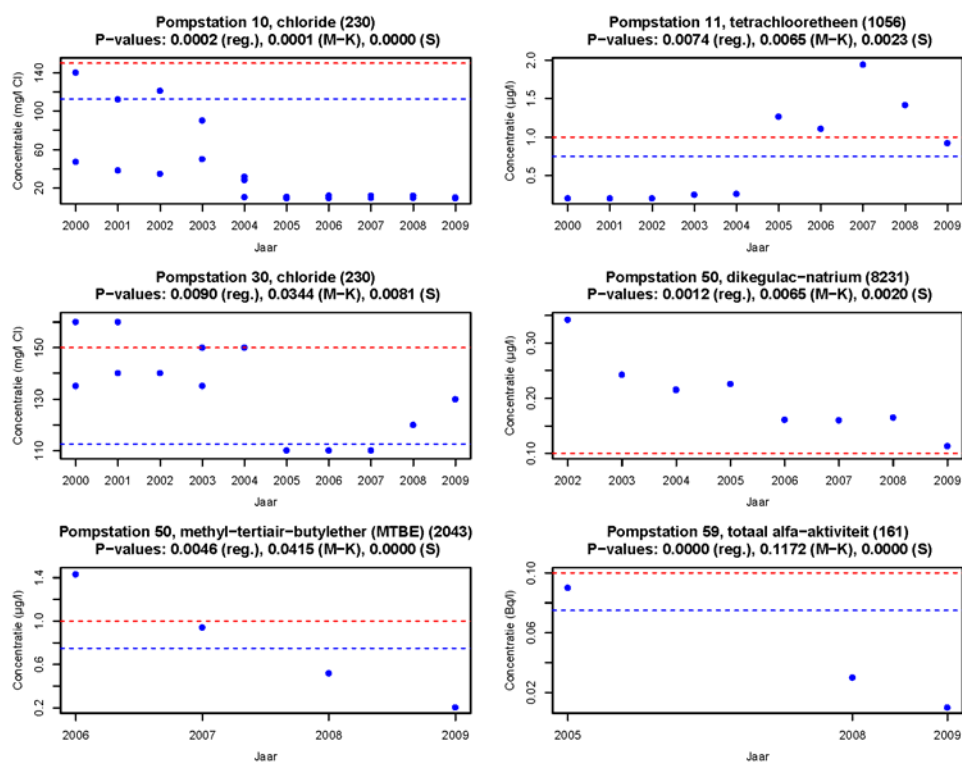


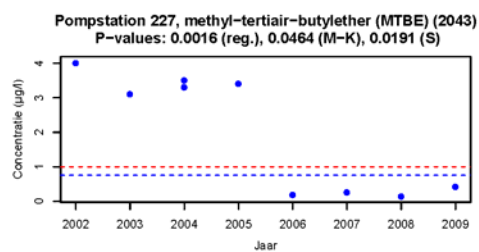
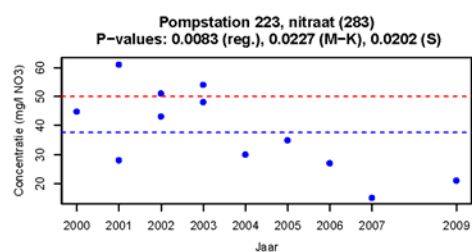
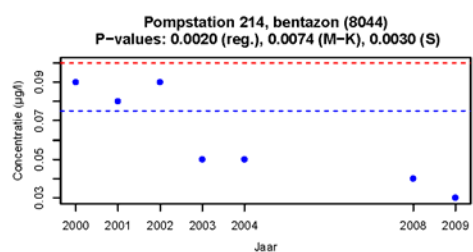
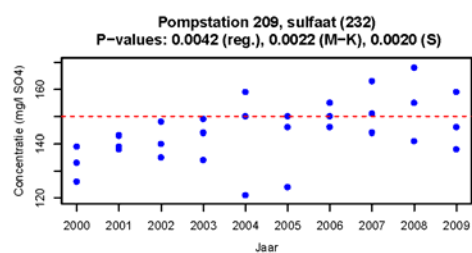
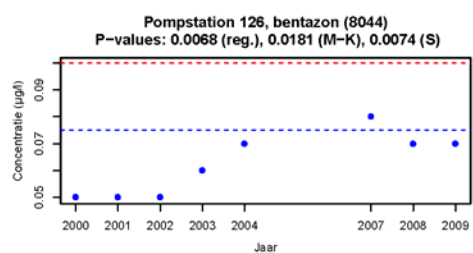




## Bijlage III Uitkomsten Benjamini Hochberg

Aanwezige trends, berekend met behulp van lineaire regressie, na correctie voor vals significante trends met Benjamini Hochberg in tijdreeksen waarin stoffen minimaal één jaar 75% van de norm overschreden.







## Bijlage VI Achtergrondinformatie trendberekening

### VI.1 R-script

```

# Choose files
setwd("C:/SIMPLE.VERSION.2/data")
FILE <- choose.files()

# Create output directory
file.name <- sort(basename(FILE))
aux.file.name <- strsplit(file.name,split=".txt")[[1]]
data.directory <- dirname(FILE)
output.directory <- paste(data.directory,"/OUTPUT ",aux.file.name,sep="")
dir.create(output.directory)
#
# Identify main and script directories
aux <- unlist(strsplit(data.directory,split="/"))
main.directory <- paste(aux[-length(aux)],collapse="/")
scripts.directory <- paste(main.directory,"scripts",sep="/")
#
setwd(scripts.directory)
source("functions.R",local=FALSE)
source("analysis.R",local=FALSE)
#
# quit R
quit(save="no")

#####
# DEFINITION OF FUNCTIONS
#####
# ADJUST.SERIES
#####
adjust.series <- function(series){
  aux.series <- subset(series,Detectielimiet!="<")
  max.measured <- Inf
  if(nrow(aux.series)>0){
    max.measured <- max(aux.series$Waarde)
    series <- transform(series,
      Detectielimiet=ifelse(Detectielimiet=="<" &
        Waarde>=max.measured,"*",Detectielimiet))
    series <- subset(series,Detectielimiet!="*"); rownames(series)
  }
  <- NULL
  }
  if(nrow(aux.series)<nrow(series)){
    max.not.measured <-
    max(subset(series,Detectielimiet=="<")$Waarde)
    series <-
    transform(series,Waarde=ifelse(Detectielimiet=="<",max.not.measured,Waarde
  ))
  }
  return(series)
}
#####

```

```

# TREND.TEST
#####
trend.test <- function(x,y,method){
  if(cov(x=series.s.p$Jaar,y=series.s.p$Waarde)==0){
    p.value <- 1
  }else{
    p.value <-
cor.test(x=x,y=y,method=method,exact=FALSE)$p.value
  }
  return(p.value)
}
#####

# Analysis of time series
#####
# READ AND PREPARE DATA
#####
setwd(data.directory)
#
#file.name <- "reduced.CSNquery7a.txt"
data.set <- read.table(file=file.name,header=TRUE,sep=";",dec=",")
data.set$Detectielimiet <- as.character(data.set$Detectielimiet)
data.set$Parameternaam <- as.character(data.set$Parameternaam)
data.set$Eenheid <- as.character(data.set$Eenheid)
data.set$Hoofdgroep <- as.character(data.set$Hoofdgroep)
data.set$Groep <- as.character(data.set$Groep)
data.set$Subgroep <- as.character(data.set$Subgroep)
data.set <- subset(data.set,is.na(Waarde)==FALSE & is.na(Jaar)==FALSE);
rownames(data.set) <- NULL
#
stations <- sort(unique(data.set$Pompstation))
#
setwd(output.directory)
#
#####
# CARRY ## OUT TESTS
#####
results <- NULL
counter <- 0
for(s in stations){
  series.s <- subset(data.set,Pompstation==s)
  parameters.s <- sort(unique(series.s$Parameternaam))
  for(p in parameters.s){
    counter <- counter+1
    series.s.p <- subset(series.s,Parameternaam==p);
rownames(series.s.p) <- NULL
    original.series.s.p <- series.s.p
    series.s.p <- adjust.series(series.s.p)
    no.of.years.s.p <- length(unique(series.s.p$Jaar))
    units.s.p <- series.s.p$Eenheid[1]

    critical.value <- -Inf
    exceeds.75.pc.norm <- exceeds.100.pc.norm <-
norm.is.available <- 0
    if(length(na.omit(original.series.s.p$MaxNorm))>0){

```

```

        norm.is.available <- 1
        critical.value <- na.omit(original.series.s.p$MaxNorm)[1]
        exceeds.75.pc.norm <-
any(subset(series.s.p, Detectielimiet!="<")$Waarde >= 0.75*critical.value)
        exceeds.100.pc.norm <-
any(subset(series.s.p, Detectielimiet!="<")$Waarde >= critical.value)
    }

    if(nrow(series.s.p)>2 & length(unique(series.s.p$Jaar))>2){
        p.value.1.s.p <- 1
        trend.coefficient.s.p <- 0
        p.value.2.s.p <-
trend.test(x=series.s.p$Jaar,y=series.s.p$Waarde,method="kendall")
        p.value.3.s.p <-
trend.test(x=series.s.p$Jaar,y=series.s.p$Waarde,method="spearman")
        if(p.value.2.s.p<1){
            model.s.p <-
summary(lm(Waarde~Jaar,data=series.s.p))
            p.value.1.s.p <- model.s.p$coefficients[2,4]
            trend.coefficient.s.p <-
model.s.p$coefficients[2,1]
        }
        }else{
            trend.coefficient.s.p <- p.value.1.s.p <- p.value.2.s.p <-
p.value.3.s.p <- NA
        }
        results.s.p <-
data.frame(s,p,trend.coefficient.s.p,p.value.1.s.p,p.value.2.s.p,p.value.3.s.p,
            nrow(series.s.p),no.of.years.s.p,

as.numeric(exceeds.75.pc.norm),as.numeric(exceeds.100.pc.norm),
            as.numeric(norm.is.available))
        results <- rbind(results,results.s.p)
    }
}

names(results) <-
c("Pompstation","Parameter","Helling","P.value.regression","P.value.Mann.Kenda
ll",

"P.value.Spearman","Aantal.metingen","Aantal.jaren","75.pc.norm","100.pc.nor
m","Norm.beschikbaar")
#
results$Pompstation <- as.numeric(as.character(results$Pompstation))
results$Parameter <- as.character(results$Parameter)
#
write.table(results,file=paste("OUTPUT
",file.name,sep=""),row.names=F,sep=";")
#
#####
# CREATE TABLE WITH INFORMATION ON THE AVAILABILITY OF
MEASUREMENTS
#####
if(nrow(results)>0){

        stations <- sort(unique(data.set$Pompstation))

```

```

parameters <- sort(unique(as.character(data.set$Parameternaam)))

aux.matrix.1 <- as.matrix(stations)
aux.matrix.2 <-
matrix(rep(NA,length(stations)*length(parameters)),nrow=length(stations),ncol
=length(parameters))
availability.of.data <- data.frame(aux.matrix.1,aux.matrix.2)
names(availability.of.data) <- c("Pompstation",parameters)

aux.results <- subset(results,Aantal.jaren>=1); rownames(aux.results)
<- NULL

stations <- sort(unique(aux.results$Pompstation))

aux.file.name <- paste("AVAILABILITY OF DATA
",strsplit(file.name,split=".txt")[[1]],".txt",sep="")

for(s in stations){
  aux.results.s <- subset(aux.results,Pompstation==s)
  parameters.s <-
sort(unique(as.character(aux.results.s$Parameter)))
  for(p in parameters.s){
    aux.results.s.p <- subset(aux.results.s,Parameter==p)
    column.s.p <-
(1:ncol(availability.of.data))[names(availability.of.data)==p]
    row.s.p <-
(1:nrow(availability.of.data))[availability.of.data$Pompstation==s]
    availability.of.data[row.s.p,column.s.p] <-
ifelse(aux.results.s.p$Aantal.jaren<3,".",
aux.results.s.p$Aantal.jaren)
  }
}
write.table(availability.of.data,file=aux.file.name,row.names=F,sep=";")
}
#
#####
# CREATE TABLE WITH INFORMATION ON THE EXCEEDENCE OF NORM VALUES
#####
if(nrow(results)>0){

stations <- sort(unique(data.set$Pompstation))
parameters <- sort(unique(as.character(data.set$Parameternaam)))

aux.matrix.1 <- as.matrix(stations)
aux.matrix.2 <-
matrix(rep(NA,length(stations)*length(parameters)),nrow=length(stations),ncol
=length(parameters))
exceedence.of.norm.values <- data.frame(aux.matrix.1,aux.matrix.2)
names(exceedence.of.norm.values) <- c("Pompstation",parameters)

aux.results <- subset(results,Aantal.jaren>=1); rownames(aux.results)
<- NULL
stations <- sort(unique(as.character(aux.results$Pompstation)))

```

```

aux.file.name <- paste("EXCEEDENCE OF NORM VALUES
",strsplit(file.name,split=".txt")[[1]],".txt",sep="")

for(s in stations){
  aux.results.s <- subset(aux.results,Pompstation==s)
  parameters.s <-
sort(unique(as.character(aux.results.s$Parameter)))
  for(p in parameters.s){
    aux.results.s.p <- subset(aux.results.s,Parameter==p)
    column.s.p <-
(1:ncol(exceedence.of.norm.values))[names(exceedence.of.norm.values)==p]
    row.s.p <-
(1:nrow(exceedence.of.norm.values))[exceedence.of.norm.values$Pompstation
==s]
    if(aux.results.s.p$Norm.beschikbaar==0){
      exceedence.of.norm.values[row.s.p,column.s.p]
<- "."
    }else{
      exceedence.s.p <-
as.character(ifelse(aux.results.s.p[length(aux.results.s.p)-2]==1,"+","-"))
      exceedence.s.p <- c(exceedence.s.p,
as.character(ifelse(aux.results.s.p[length(aux.results.s.p)-1]==1,"+","-")))
      exceedence.of.norm.values[row.s.p,column.s.p]
<- paste(exceedence.s.p,collapse="")
    }
  }
}
write.table(exceedence.of.norm.values,file=aux.file.name,row.names=F,
sep=";")
}
#
#####
# SELECT INTERESTING RESULTS by applying the "0.05 rule"
#####
nominal.FDR <- 0.11
tests <- subset(results,P.value.regression<1); rownames(tests) <- NULL
#
tests <- tests[order(tests$P.value.regression),]; rownames(tests) <- NULL
bounds.FDR <- nrow(tests)*tests$P.value.regression/(1:nrow(tests))
tests <- transform(tests,bound.FDR=bounds.FDR)
tests$Pompstation <- tests$Pompstation; tests$Parameter <-
as.character(tests$Parameter)
all.tests <- tests
tests <- subset(tests,P.value.regression<=0.05); rownames(tests) <- NULL
#
if(nrow(tests)>0){
  write.table(tests,file=paste("SELECTION
",file.name,sep=""),row.names=F,sep=";")
}
#
# ILLUSTRATE SELECTED RESULTS
#####
if(nrow(tests)>0){

```

```

stations <- sort(unique(tests$Pompstation))
aux.file.name <- paste(paste("SELECTION
",strsplit(file.name,split=".txt")[[1]],sep=""),"pdf",sep=".")

pdf(file=aux.file.name,width=9,height=7)

par(mfrow=c(3,2),mgp=c(2.5,1,0),mai=c(0.5,0.5,0.5,0.25))
counter <- 0

for(s in stations){
  tests.s <- subset(tests,Pompstation==s)
  parameters.s <- sort(unique(tests.s$Parameter))
  for(p in parameters.s){
    series.s.p <- subset(data.set,Pompstation==s &
Parameternaam==p)
    original.series.s.p <- series.s.p
    series.s.p <- adjust.series(series.s.p)
    identifier.s.p <- paste("Pompstation ",s," ",p,"
(",series.s.p$Parametercode[1],")",sep="")
    tests.s.p <- subset(tests.s,Parameter==p)
    aux.p.values <-
formatC(as.vector(as.matrix(tests.s.p[,4:6])),format="f",digits=4)
    information.s.p <- paste(identifier.s.p,"\n P-values:
",aux.p.values[1]," (reg.), ",
aux.p.values[2]," (M-K), ",aux.p.values[3],"
(S)",sep="")
    units.s.p <- series.s.p$Eenheid[1]
    ylab.s.p <- paste("Concentratie",
(",units.s.p,"),sep="")
    ylim.s.p <-
c(min(original.series.s.p$Waarde,series.s.p$Waarde)-
0.01*abs(min(original.series.s.p$Waarde,series.s.p$Waarde)),
max(original.series.s.p$Waarde,series.s.p$Waarde)+
0.01*abs(max(original.series.s.p$Waarde,series.s.p$Waarde)))
    critical.value <- -Inf
    if(length(na.omit(original.series.s.p$MaxNorm))>0){
      critical.value <-
na.omit(original.series.s.p$MaxNorm)[1]
      ylim.s.p <-
c(min(ylim.s.p[1],critical.value),max(ylim.s.p,critical.value))
    }
    if(counter==6){

par(mfrow=c(3,2),mgp=c(2.5,1,0),mai=c(0.5,0.5,0.5,0.25))

plot(Waarde~Jaar,data=original.series.s.p,xaxt="n",col="blue",pch=1,yl
ab=ylab.s.p,ylim=ylim.s.p)

points(Waarde~Jaar,data=series.s.p,col="blue",pch=19,ylab=ylab.s.p)

axis(side=1,at=sort(unique(series.s.p$Jaar)),labels=sort(unique(series.s
.p$Jaar)))

title(main=information.s.p)

```

```

        abline(h=critical.value,col="red",lty=2)
        abline(h=0.75*critical.value,col="blue",lty=2)
        counter <- 0
      }else{

        plot(Waarde~Jaar,data=original.series.s.p,xaxt="n",col="blue",pch=1,yl
ab=ylab.s.p,ylim=ylim.s.p)

        points(Waarde~Jaar,data=series.s.p,col="blue",pch=19,ylab=ylab.s.p)

        axis(side=1,at=sort(unique(series.s.p$Jaar)),labels=sort(unique(series.s
.p$Jaar)))

        title(main=information.s.p)
        abline(h=critical.value,col="red",lty=2)
        abline(h=0.75*critical.value,col="blue",lty=2)
      }
      counter <- counter+1
    }
  }

  dev.off()
}

#
#####
# CREATE TABLE WITH CONCISE OUTPUT
#####
if(nrow(tests)>0){

  stations <- sort(unique(data.set$Pompstation))
  parameters <- sort(unique(data.set$Parameter naam))

  concise.output <-
cbind(stations,matrix(rep(NA,length(stations)*length(parameters)),nrow=length
(stations),
                        ncol=length(parameters)))
  concise.output <- as.data.frame(concise.output)
  names(concise.output) <- c("Pompstation",parameters)

  stations <- sort(unique(tests$Pompstation))
  aux.file.name <- paste("CONCISE OUTPUT
",strsplit(file.name,split=".txt")[[1]],".txt",sep="")

  for(s in stations){
    tests.s <- subset(tests,Pompstation==s)
    parameters.s <- sort(unique(as.character(tests.s$Parameter)))
    for(p in parameters.s){
      tests.s.p <- subset(tests.s,Parameter==p)
      column.s.p <-
(1:ncol(concise.output))[names(concise.output)==p]
      row.s.p <-
(1:nrow(concise.output))[concise.output$Pompstation==s]
      concise.output[row.s.p,column.s.p] <-
ifelse(tests.s.p$Helling>0,"+","-")
      if(tests.s.p[length(tests.s.p)-3]==1){

```

```

                concise.output[row.s.p,column.s.p] <-
paste(concise.output[row.s.p,column.s.p],"+",sep="")
                }else{
                concise.output[row.s.p,column.s.p] <-
paste(concise.output[row.s.p,column.s.p],"-",sep="")
                }
        }
    }
    write.table(concise.output,file=aux.file.name,row.names=F,sep=";")
}
#
#####
# CREATE TABLE WITH LESS CONCISE OUTPUT
#####
aux.results <- subset(results,Aantal.jaren<=2); rownames(aux.results) <- NULL
#
if(nrow(aux.results)>0 & nrow(all.tests)>0){

    less.concise <- concise.output

    stations <- sort(unique(aux.results$Pompstation))

    aux.file.name <- paste("LESS CONCISE OUTPUT
",strsplit(file.name,split=".txt")[[1]],".txt",sep="")

    for(s in stations){
        aux.results.s <- subset(aux.results,Pompstation==s)
        parameters.s <- sort(unique(aux.results.s$Parameter))
        for(p in parameters.s){
            aux.results.s.p <- subset(aux.results.s,Parameter==p)
            column.s.p <-
(1:ncol(less.concise))[names(less.concise)==p]
            row.s.p <-
(1:nrow(less.concise))[less.concise$Pompstation==s]
            less.concise[row.s.p,column.s.p] <- "."
        }
    }

}

#
if(nrow(all.tests)>0){

    stations <- sort(unique(all.tests$Pompstation))

    for(s in stations){
        all.tests.s <- subset(all.tests,Pompstation==s)
        parameters.s <- sort(unique(all.tests.s$Parameter))
        for(p in parameters.s){
            all.tests.s.p <- subset(all.tests.s,Parameter==p)
            column.s.p <-
(1:ncol(less.concise))[names(less.concise)==p]
            row.s.p <-
(1:nrow(less.concise))[less.concise$Pompstation==s]
            if(all.tests.s.p$bound.FDR>0.1){
                less.concise[row.s.p,column.s.p] <- "*"
            }
        }
    }
}

```



```

    }
  }
}
write.table(less.concise,file=aux.file.name,row.names=F,sep=";")
}
#
#####

```

## VI.2 False discovery rate (FDR)

The concept of FDR was introduced by Benjamini and Hochberg (1995), who invented a method—now known as the Benjamini-Hochberg (BH) method—to *control it*.

If we carry out 100 tests for trend (or 100 tests of any other type) based on 100 data sets in a situation where *no trends exist*, and if each test is carried out at the significance level of 0.05 (which means that each null hypothesis of no trend is rejected if and only if the p-value of the corresponding test is  $\leq 0.05$ ), then we expect to get an average of five *false discoveries*, that is, five instances where one unduly concludes that a trend exists.

If instead of 100 we carry out 10,000 tests “under the null” then we expect 500 false discoveries on average.

A large number of false discoveries is obviously undesirable. And it is seen from these examples that using a fixed threshold (e.g. 0.05) for discovering ‘significant results’ in a *multiple testing situation* usually leads to unacceptable numbers of false discoveries.

Benjamini and Hochberg have invented a multiple testing correction method based on a *random, data-driven threshold*. As any other multiple testing method, the BH method works by calling ‘significant’ those results with p-values below a threshold; however, the BH threshold is such that *it controls the FDR at a desired level*.

What do we mean by “controlling the FDR”? The *false discovery proportion* (FDP) associated with a threshold  $t$  is a random variable, namely

$$FDP(t) = F(t)/D(t)$$

Where  $D(t)$  denotes the number of (true or false) discoveries made by using the threshold  $t$  and  $F(t)$  the number of *false* discoveries among those  $D(t)$  discoveries. The BH procedure of level  $q$  ( $0 < q < 1$ ) computes a threshold  $t_q$  with the property that

$$FDR = E[FDP(t_q)] \leq q;$$

that is, the expected value (denoted by  $E$ ) of the random variable  $FDP(t_q)$ , which by definition is the FDR of the BH procedure, is bounded above by the specified level  $q$ .

It is not important here to know how the BH threshold is computed (though the formula for computing it is quite simple). However, it is important to understand the significance of the BH method in a practical application: Suppose that we

have carried out 10,000 tests and applied the BH method of level 0.1 (say) to the resulting 10,000 p-values: we compute  $t_{0.1}$  and then consider the results whose p-values are  $\leq t_{0.1}$  as 'significant' (as discoveries). Suppose further that we end up by making  $D(t_{0.1})=100$  discoveries. Then what the BH method guarantees is that of those 100 discoveries not more than about 10 ( $=0.1 \times 100$ ) of those discoveries are false (which ones could be false is not known to us though).

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)