

rivm

Rapport 734301031/2008

S. Wuijts | S.A. Rutjes | N.G.F.M. van der Aa | I. Mendizabal | A.M. de Roda Husman

Invloed humane en animale verontreinigingen op grondwaterwinningen

Van veldonderzoek naar beschermingsbeleid

RIVM rapport 734301031/2008

Invloed humane en animale verontreinigingen op grondwaterwinnings

Van veldonderzoek naar beschermingsbeleid

S. Wuijts, RIVM
S.A. Rutjes, RIVM
N.G.F.M. van der Aa, RIVM
I. Mendizabal, Vrije Universiteit Amsterdam
A.M. de Roda Husman, RIVM

Contact:
Susanne Wuijts
Inspectie-, Milieu- en Gezondheidsadviesing
susanne.wuijts@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VROM K&K, in het kader van het project 'Normstelling en Advisering Drinkwaterwet', M/734301.

Verantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van VROM K&K onder begeleiding van een commissie, bestaande uit:

Wennemar Cramer (VROM K&K)
Jan van Essen (Vitens)
Theo Olsthoorn (Technische Universiteit Delft/WaterNet)
Harrie Timmer/Caspar van Genuchten (Oasen)
Sandra Verheijden/ Mark Eck (Brabant Water)
Ans Versteegh (RIVM)
Frans Wetsteyn (VROM)
Paul van der Wielen (Kiwa Water Research)
Piet Jean Boegem (Gemeente Hilversum)

en de leden van het projectteam:

Monique van der Aa (RIVM)
Igor Mendizabal (Vrije Universiteit Amsterdam/Kiwa Water Research)
Ana Maria de Roda Husman (RIVM)
Saskia Rutjes (RIVM)
Susanne Wuijts (RIVM)

Dankwoord

De uitvoering van een aanzienlijk meetprogramma vormt de basis van dit rapport. De monsternamen, analyse en verwerking van de meetgegevens is uitgevoerd door Frans van den Berg, Harold van den Berg, Bert van Dijk, Ellen Dijkman, Arthur de Groot, Harald Dik, Arieke Docters van Leeuwen, Ronald Italiaander, Jack Schijven en Rens van Veen. Zonder hen zou dit rapport er dus niet kunnen zijn. Daarnaast is door medewerkers van waterleidingbedrijven veel informatie aangeleverd over de winningen en is meegedacht over de betekenis van de meetresultaten. Naast de leden van de begeleidingsgroep moeten in dit verband Martin de Jonge (Vitens), Geo Bakker (Vitens), Harry Boukes (Brabant Water), Mark Eck (Brabant Water) en Caspar van Genuchten (Oasen) worden genoemd. Tenslotte gaat onze dank ook uit naar de drinkwaterbedrijven en de gemeente Hilversum, voor het beschikbaar stellen van de meetlocaties en ondersteuning bij de bemonstering.

© RIVM 2008

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'.

Rapport in het kort

Invloed humane en animale verontreinigingen op grondwaterwinningen *Van veldonderzoek naar beschermingsbeleid*

Sommige ondiepe, zandige grondwaterwinningen die worden gebruikt voor de productie van drinkwater kunnen sporen bevatten van verontreinigende stoffen en micro-organismen, afkomstig van mens of dier. Dit blijkt uit een veldonderzoek dat het RIVM heeft uitgevoerd bij vier van deze mogelijk kwetsbare winningen. De aangetroffen gehalten virussen en bacteriën zijn echter veel lager dan op grond van internationale studies werd verwacht.

Deze meetresultaten kunnen niet direct worden getoetst aan de kwaliteitseisen voor virussen en bacteriën. Het toegestane niveau van ziekteverwekkende virussen en bacteriën in drinkwater is namelijk te laag om te kunnen meten. De microbiologische veiligheid van drinkwater wordt daarom sinds enkele jaren vastgesteld met een wettelijk voorgeschreven risicoanalyse (VROM-Inspectierichtlijn 5318). Om meer duidelijkheid over de microbiologische drinkwaterkwaliteit te krijgen beveelt het RIVM aan deze risicoanalyse voor mogelijk kwetsbare grondwaterwinningen te verfijnen. Het rapport doet hiervoor een handreiking.

Het gebruik van grondwater voor de bereiding van drinkwater is aantrekkelijker dan dat van oppervlaktewater. Grondwater is in de bodem in zekere mate beschermd tegen verontreinigingen vanaf het maaiveld. De concentraties van stoffen en micro-organismen die het grondwater toch bereiken worden namelijk in een bepaalde mate afgevlakt en verwijderd. Daarnaast zijn rondom winningen preventief beschermingszones ingesteld om het risico op verontreiniging vanaf het maaiveld te beperken. Zo geldt binnen het waterwingebied een algemeen verbod op activiteiten die niet direct met de productie van drinkwater te maken hebben. De resultaten van deze studie geven geen aanleiding om bij voorbaat de omvang van het waterwingebied in het landelijke beleid aan te passen.

Trefwoorden:

freatische grondwaterwinningen, micro-organismen, chemische stoffen, isotopen, tracers, grondwaterbeschermingsbeleid

Abstract

The influence of human and animal sources on groundwater abstraction

From field study to protection policy

Groundwater that is abstracted for human consumption from shallow, sandy ground can hold traces of pollutants and microorganisms from human and animal sources. This can be concluded from a field study carried out by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) at four of these possibly vulnerable abstraction sites. However, compared to previous international studies, the levels of viruses and bacteria found in the Netherlands were much lower than expected.

The drinking water that is produced cannot be tested for its compliance with the quality standards for viruses and bacteria on these results alone. The permitted level of pathogenic viruses and bacteria in drinking water is so low that direct analysis is not possible. The microbiological safety of drinking water is therefore for several years now, determined by a risk-assessment (VROM-Directive 5318) covered by legislation. In order to gain more information on the microbiological quality of drinking water, the RIVM recommends a further refinement of this risk assessment method for groundwater abstractions that could be considered vulnerable. The present report can act as a guide for this procedure.

Using groundwater for the production of drinking water is an attractive choice, compared to surface water, because the water in the soil is more or less protected from pollutants at ground level. Moreover, the concentrations of substances and microorganisms that do still reach the groundwater will be flattened and to a certain extent removed. In addition, protection zones around abstraction sites have been set to further reduce the risk of pollution at ground level. In this respect, a total ban on all activities not directly related to drinking water production is being enforced within the water collection area. The results of this field study do not indicate that the size of the water collection areas should be adjusted in national groundwater protection policy.

Key words:

phreatic groundwater abstractions, microorganisms, chemicals, isotopes, tracer elements, groundwater protection policy

Inhoud

Samenvatting		7
1	Inleiding	11
1.1	Aanleiding	11
1.2	Doel van het onderzoek	13
2	Achtergrond	15
2.1	Inleiding	15
2.2	Pathogenen in grondwater	15
2.3	Ziekte-uitbraken door pathogenen in grondwater	16
2.4	Potentiële verontreinigingsbronnen	17
2.5	Indicatoren verontreinigingsbronnen	18
3	Opzet en aanpak veldonderzoek	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Selectie winningen	21
3.3	Meetplan	23
4	Methoden en materialen	27
4.1	Bemonstering	27
4.2	Microbiologie	27
4.3	Chemie	29
4.4	Isotopen	30
5	Meetresultaten	31
5.1	Verontreinigingsbron: lekkage riolering	31
5.2	Boxmeer	33
5.3	Goor	40
5.4	Zutphen	47
5.5	Zwijndrecht	52
5.6	Samenvatting meetresultaten	58
6	Discussie	61
6.1	Verontreinigingsbronnen bij mogelijk kwetsbare winningen	61
6.2	Betekenis resultaten voor beschermingsbeleid	63
6.3	Risico's win- en transportmiddelen	65
7	Vertaalslag naar beschermingsbeleid	67
7.1	Inleiding	67
7.2	Huidig beschermingsbeleid van grondwaterwinningen	67
7.3	Bescherming op basis van risicobenadering	69
7.4	Relatie met / inpassing in andere plannen	70
8	Conclusies en aanbevelingen	73
8.1	Conclusies	73
8.2	Aanbevelingen	74

Referenties	75
Bijlage 1 Kenmerken winning Zutphen	79
Bijlage 2 Kenmerken winning Goor	83
Bijlage 3 Kenmerken winning Boxmeer	89
Bijlage 4 Kenmerken winning Zwijndrecht	92
Bijlage 5 Meetresultaten	97

Samenvatting

Aanleiding

Het gebruik van grondwater ten behoeve van de bereiding van drinkwater is om een aantal redenen aantrekkelijk, niet in de laatste plaats omdat tijdens de bodempassage een natuurlijke verwijdering van micro-organismen plaatsvindt. In het grondwaterbeschermingsbeleid wordt voor dit doel een minimale verblijftijd van 60 dagen met een minimum van 30 meter vanaf de individuele winputten aangehouden: het waterwingebied. Binnen de grenzen van het waterwingebied geldt een algemeen verbod op het uitvoeren van activiteiten, voor zover deze niet direct gerelateerd zijn aan de drinkwaterproductie.

De periode van 60 dagen is vastgesteld in 1980 door de Commissie Bescherming Waterwingebieden (CBW) op basis van de afsterving van bacteriën, een laboratoriumonderzoek uit de jaren dertig (Knorr, 1937). Inmiddels is bekend dat ziekteverwekkende micro-organismen, zoals met name virussen, maar ook bacteriën en parasitaire protozoa veel persistenter zijn, waardoor de periode van 60 dagen onvoldoende kan zijn.

Met de herziening van het Waterleidingbesluit (2001) werd het begrip kwantitatieve risicoanalyse met betrekking tot de microbiologische veiligheid van drinkwater geïntroduceerd. Het niveau van ziekteverwekkende micro-organismen in drinkwater, waarboven blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker, is zeer laag en niet rechtstreeks te meten. Een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse is daarom gebaseerd op de gemeten kwaliteit van de grondstof voor drinkwaterproductie en de effectiviteit van de zuivering zoals uitgewerkt in de VROM-Inspectierichtlijn 'Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater' (artikelcode 5318, 2006).

De hernieuwde aandacht voor de duurzaamheid van de bron, de zekerstelling van de drinkwaterkwaliteit, maar ook het gebrek aan wetenschappelijke basis vormt de aanleiding om de 60-dagenzone opnieuw onder de loep te nemen. Om te bepalen of de 60-dagenzone een voldoende barrière voor virussen vormt, zijn door het RIVM en Kiwa Water Research modelberekeningen uitgevoerd (Schijven et al., 2006; Van der Wielen et al., 2005). Beide studies gaven in meer of mindere mate aan dat 60 dagen verblijftijd onvoldoende kan zijn. Dit hangt volgens Schijven et al. (2006) af van de geohydrologische en geochemische omstandigheden in de bodem en van de eigenschappen van het micro-organisme, met name voor virussen. De fysisch-chemische omstandigheden bepalen sterk de mate van hechting van virussen aan het zand en hun overleving. Modelleren van de microbiologische risico's voor grondwaterwinningen behoeft echter veel gegevens vanwege de complexiteit van de ondergrond en de variatie in verontreinigingsbronnen.

Tot dusver is in de Nederlandse situatie zeer weinig bekend over het voorkomen van ziekteverwekkende virussen in grondwater. Dat komt vooral doordat er niet eerder onderzoek naar is gepleegd en er geen uitbraken van ziekte ten gevolge van besmet grondwater in Nederland bekend zijn. De modelmatig berekende benodigde omvang van het waterwingebied van één tot twee jaar, indien er weinig hechting van virussen plaatsvindt (Schijven et al., 2006), en het gegeven dat bij grondwaterwinningen met behulp van analyses niet direct kan worden vastgesteld of er wordt voldaan aan het infectierisico (VROM, 2006), vormden echter toch aanleiding om te onderzoeken of ziekteverwekkende virussen in de praktijk in te hoge concentraties in grondwater zouden kunnen voorkomen.

In 2007 is daarom veldonderzoek uitgevoerd bij een viertal als kwetsbaar bestempelde, freatische grondwaterwinningen, waarbij potentiële verontreinigingsbronnen in de nabijheid van de winputten aanwezig zijn.

De kwetsbaarheid van een winning wordt bepaald door de geohydrologische en geochemische eigenschappen van de winning. In combinatie met mogelijke verontreinigingsbronnen, zoals lekkage van riolering, infiltratie van oppervlaktewater en uitloging van mest, kan er sprake zijn van een risico op verontreiniging van de winning met schadelijke stoffen en ziekteverwekkende micro-organismen. De inventarisaties van de waterleidingbedrijven laten zien dat de combinatie van weinig beschermende eigenschappen van de winning en nabijgelegen verontreinigingsbronnen in de praktijk regelmatig voorkomt. Daarnaast kunnen met tekortkomingen in het ontwerp en de technische staat van de win- en transportmiddelen, zoals pompput, putkelder en leidingwerk, risico's van verontreiniging door humane of animale bronnen worden geïntroduceerd.

Doel

Met het onderzoek moesten twee vragen worden beantwoord:

1. Leidt de combinatie van een als kwetsbaar aangemerkte winning en de aanwezigheid van een potentiële verontreinigingsbron binnen de 60 dagen ook daadwerkelijk tot verontreiniging van het onttrokken grondwater?
2. Welke algemene criteria kunnen uit de proefresultaten worden afgeleid voor de bescherming van kwetsbare grondwaterwinningen en de ruimtelijke inrichting van waterwingebieden?

Aanpak

Op basis van de bodemeigenschappen en de aanwezigheid van mogelijke verontreinigingsbronnen is een viertal winningen geselecteerd. Van deze winningen zijn, op grond van de beschikbare informatie over de grondwaterkwaliteit en –stroming, de meest kwetsbare putten gekozen. Deze putten zijn driemaal onderzocht. Daarbij werd voor de microbiologische parameters in zeer grote volumes bemonsterd (tot 1000 liter). Deze monsters werden onderzocht op de aanwezigheid van indicatororganismen voor fecale verontreiniging (somatische bacteriofagen en *E. coli*) en op humane en animale virussen (humane en porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen) voor tracerings van humane of animale verontreinigingsbronnen.

Daarnaast werden chemische indicatoren, macroparameters, sporenelementen en ook cafeïne en carbamazepine, ingezet om de invloed van verontreinigingsbronnen, zoals oppervlaktewater, rioolwater en mest, vast te kunnen stellen. Om de eventuele sporen terug te kunnen herleiden naar een mogelijke verontreinigingsbron, werd ook de grondwaterkwaliteit in ondiepe waarnemingsputten onderzocht. Daarbij werd naast het hierboven beschreven pakket ook een uitgebreide analyse van sporenelementen en isotopen uitgevoerd, een derde invalshoek om de herkomst van het onttrokken water vast te kunnen stellen. Hydrologische berekeningen werden ingezet, enerzijds om het meetplan op te stellen (stroombanen), anderzijds om vervolgens de bevindingen te staven (responsberekeningen). Tenslotte is berekend of de aangetroffen somatische fagen afkomstig kunnen zijn uit de geïdentificeerde verontreinigingsbronnen.

Resultaten/conclusies

Bij de vier onderzochte grondwaterwinningen werden tenminste één keer *E. coli*-bacteriën of somatische colifagen aangetroffen in één van de bemonsterde winputten, wat duidt op fecale verontreiniging. Adenovirussen en/of polyomavirussen, waarmee kon worden nagegaan van welke bron (mens of dier) de verontreiniging afkomstig is, werden aangetroffen in de potentiële verontreinigingsbronnen maar niet in de win- of waarnemingsputten. De gemeten gehalten, voor zover aangetroffen, zijn in de orde van grootte van min-max <0,01-0,014 plaque vormende units (PFU/L), somatische colifagen en <0,67-1,0 kve/L *E. coli*-bacteriën. Dergelijke verontreinigingen worden vaker geconstateerd bij uitvoering van reguliere meetprogramma's. Onduidelijk is vooralsnog of de indicatoren voor fecale verontreiniging gedetecteerd in het grondwater de bodem hebben gepasseerd of via de putconstructie zijn binnengedrongen. De berekeningsresultaten geven hiervoor wel een nadere indicatie.

Uit de meetresultaten kan niet direct worden afgeleid of het, bij de onderzochte winningen geproduceerde, drinkwater voldoet aan de norm voor het infectierisico. Om vast te kunnen stellen of de winning voldoende veilig is, is verdere analyse van het grondwatersysteem en de toegepaste zuivering noodzakelijk.

De invloed van humane en animale bronnen bleek ook uit de onderzochte chemische indicatoren. Vooral carbamazepine lijkt een veelbelovende tracer voor de kwantificering van de invloed van oppervlaktewater en/of rioolwater. Met carbamazepine als conservatieve stof kan een schatting worden gemaakt van de mate van verdunning van een verontreinigingsbron van menselijke oorsprong. Carbamazepine is daardoor een nuttige parameter bij in de schatting van potentiële doorbraak van micro-organismen.

Binnen het waterwingebied bleken voor de onderzochte winningen de reistijden van maaiveld naar winput veel groter te zijn dan de opgegeven 60 dagen. Mogelijk zijn om deze reden maar enkele malen virussen of bacteriën aangetroffen, en vaker (conservatieve) indicatoren voor de invloed van humane bronnen. De combinatie van verblijftijd, afbraak en verdunning was blijkbaar voldoende groot om de aanwezige virussen tot beneden de detectielimiet te reduceren.

De nu gebruikte hydrologische modellen zijn niet ontwikkeld voor het maken van reistijdberekeningen op de schaal van het waterwingebied, waardoor onzekerheid bestaat over de berekende reistijden en de interpretatie van de resultaten.

De integriteit van de win- en distributiemiddelen wordt in de praktijk beschouwd als de grootste risicofactor voor de microbiologische veiligheid van drinkwater. Vaak treden verontreinigingen op bij werkzaamheden aan de winmiddelen, waarbij deze niet in productie zijn. Met de uitvoering van de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater, wordt de integriteit van winputten niet expliciet vastgesteld. Er wordt in de opgestelde dossiers wel aandacht aan de integriteit besteed, maar om de integriteit van winmiddelen vast te kunnen stellen is nader onderzoek ter plaatse noodzakelijk. Het verder uitwerken van de richtlijn, of het opstellen van waterveiligheidsplannen zoals voorgesteld door de WHO in de derde editie van de 'Guidelines for Drinking Water Quality,' kan hier wel in voorzien. Dit is echter nog geen wettelijke verplichting.

In de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater wordt gesproken over de bemonstering op zogenaamde kwetsbare momenten, bijvoorbeeld in de periode na het uitrijden van mest, hoge afvoersituaties of na hevige regenval. Pieken vlakken echter sterk af en zijn moeilijk of niet terug te vinden in de kwaliteit van het onttrokken grondwater. Het vaststellen van kwetsbare momenten

en het daarop bemonsteren, lijkt vooral een manier om de integriteit van de winmiddelen vast te kunnen stellen, bijvoorbeeld in geval van lekkage van bovenaf bij hevige regenval.

Aanbevelingen

Het huidige grondwaterbeschermingsbeleid stelt gebruiksbeperkingen aan het maaiveld van het waterwingebied en het grondwaterbeschermingsgebied. De resultaten uit dit onderzoek geven geen aanleiding om de omvang van deze beschermingszones generiek aan te passen. Aanbevolen wordt een nadere locatiespecifieke analyse van mogelijk kwetsbare winningen en het daarvoor ontwikkelen van passende maatregelen. De voorgestelde risicobenadering biedt hiervoor een handreiking.

Chemische indicatoren zouden naast microbiologische indicatoren kunnen worden ingezet bij de uitvoering van de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater. De relatie tussen de chemische en microbiologische indicatoren dient dan nader te worden onderzocht.

In de omgeving van het waterwingebied blijken in droge perioden infiltratiebronnen van gebiedsvreemd oppervlaktewater aanwezig te kunnen zijn. Uit de onderzoeksresultaten blijken deze infiltratiebronnen de grondwaterkwaliteit in de winputten te kunnen beïnvloeden. Aangezien de infiltratie veelal in de zomer optreedt, zou deze periode mogelijk kunnen worden gezien als ‘kwetsbare periode’. Door extra bemonstering in en direct na deze periode kan meer inzicht worden verkregen in de omvang en variatie van deze beïnvloeding.

De verwijdering van virussen en bacteriën in de onverzadigde zone lijkt zeer groot te zijn. Deze bevindingen zijn echter gebaseerd op een eenmalige bemonstering. Aanbevolen wordt om de bemonstering op meerdere diepten, tijdstippen en locaties te herhalen, opdat een statistische analyse van de data mogelijk is.

De wijze waarop de integriteit van winmiddelen kan worden vastgesteld zou nader moeten worden uitgewerkt.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het gebruik van grondwater ten behoeve van de bereiding van drinkwater is om een aantal redenen aantrekkelijk, niet in de laatste plaats omdat tijdens de bodempassage een natuurlijke afname van micro-organismen plaatsvindt door hechting en/of inactivatie. In het grondwaterbeschermingsbeleid wordt voor dit doel een minimale verblijftijd van 60 dagen met een minimum van 30 meter vanaf de individuele winputten aangehouden: het waterwingebied. Binnen de grenzen van het waterwingebied geldt een algemeen verbod op het uitvoeren van activiteiten, voor zover deze niet direct gerelateerd zijn aan de drinkwaterproductie.

De periode van 60 dagen is vastgesteld in 1980 door de Commissie Bescherming Waterwingebieden (CBW) op basis van de afsterving van bacteriën, een laboratoriumonderzoek uit de jaren dertig (Knorr, 1937). Inmiddels is bekend dat ziekteverwekkende micro-organismen, zoals met name virussen, maar ook bacteriën en parasitaire protozoa veel persistenter zijn, waardoor de periode van 60 dagen onvoldoende kan zijn. Dit werd destijds ook al onderkend door de CBW.

Met de herziening van het Waterleidingbesluit (2001) werd het begrip kwantitatieve risicoanalyse met betrekking tot de microbiologische veiligheid van drinkwater geïntroduceerd. Het niveau van ziekteverwekkende micro-organismen in drinkwater, waarboven blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker, is zeer laag en niet rechtstreeks te meten. Een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse is daarom gebaseerd op de gemeten kwaliteit van de grondstof voor drinkwaterproductie en de effectiviteit van de zuivering zoals uitgewerkt in de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (artikelcode 5318, 1 feb 2006). De grondstofkwaliteit wordt bepaald op basis van metingen in het ruwe water conform het Waterleidingbesluit en de VROM-Inspectierichtlijn. Bovendien moeten gegevens verzameld worden over de verwijderingscapaciteit bij de verschillende zuiveringsprocessen (inclusief eventuele bodempassage).

Voor het door middel van deze risicoanalyse berekende theoretische infectierisico geldt een voorlopige grenswaarde van één infectie per 10.000 personen per jaar. De toetsing aan deze (voorlopige) grenswaarde voor het infectierisico dient in elk geval te worden uitgevoerd voor enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*, maar geldt in principe ook voor andere pathogene micro-organismen. Indien het berekende infectierisico groter is dan genoemde grenswaarde, dient de eigenaar met de toezichthouder te overleggen over te nemen maatregelen. In de genoemde VROM-Inspectierichtlijn is bovendien vastgelegd dat ook *Campylobacter* dient te worden geanalyseerd en dat behalve voor oppervlaktewaterwinningen ook voor kwetsbare grondwaterwinningen eenzelfde risicoanalyse wordt uitgevoerd. De ervaringen tot nu toe laten zien dat het systematisch evalueren van mogelijk kwetsbare winningen regelmatig tot dan toe impliciete risico's in beeld brengt en leidt tot een betere borging van de drinkwaterkwaliteit. Bovendien kunnen op deze wijze mogelijke volksgezondheidsrisico's op preventieve wijze worden voorkomen in plaats van alleen achteraf door middel van controles.

De hernieuwde aandacht voor de duurzaamheid van de bron, de zekerstelling van de drinkwaterkwaliteit, maar ook het gebrek aan wetenschappelijke basis vormt de aanleiding om de 60-dagenzone opnieuw onder de loep te nemen. Om te bepalen of de 60-dagenzone een voldoende barrière

voor virussen vormt, zijn door het RIVM en Kiwa Water Research modelberekeningen uitgevoerd (Schijven et al., 2006, Van der Wielen et al., 2005). Beide studies gaven in meer of mindere mate aan dat 60 dagen verblijftijd onvoldoende kan zijn. Dit hangt volgens Schijven et al. (2006) af van de geohydrologische en geochemische omstandigheden in de bodem en van de eigenschappen van het micro-organisme. Dit geldt met name voor virussen. De fysisch-chemische omstandigheden bepalen sterk de mate van hechting van virussen aan het zand en hun overleving. Modelleren van de microbiologische risico's voor grondwaterwinningen behoeft echter veel gegevens vanwege de complexiteit van de ondergrond en de variatie in verontreinigingsbronnen.

Tot dusver is in de Nederlandse situatie zeer weinig bekend over het voorkomen van ziekteverwekkende virussen in grondwater. Dat komt vooral doordat er niet eerder onderzoek naar is gepleegd en er geen uitbraken van ziekte ten gevolge van microbiologisch verontreinigd grondwater in Nederland bekend zijn. De modelmatig berekende benodigde omvang van het waterwingebied van één tot twee jaar, indien er weinig hechting van virussen plaatsvindt (Schijven et al., 2006), en het gegeven dat bij grondwaterwinningen met behulp van analyses niet direct kan worden vastgesteld of er wordt voldaan aan het infectierisico (VROM, 2006), vormden echter toch aanleiding om te onderzoeken of ziekteverwekkende virussen in te hoge concentraties in grondwater zouden kunnen voorkomen in de praktijk.

In 2007 is daarom veldonderzoek uitgevoerd bij een viertal als kwetsbaar bestempelde freatische grondwaterwinningen, waarbij potentiële verontreinigingsbronnen in de nabijheid van de winputten aanwezig zijn.

De kwetsbaarheid van een winning wordt bepaald door de geohydrologische en geochemische eigenschappen van de winning. In combinatie met mogelijke verontreinigingsbronnen, zoals lekkage in een riolering, infiltratie van oppervlaktewater en uitloging van mest, kan er sprake zijn van een risico op verontreiniging van de winning met schadelijke stoffen en ziekteverwekkende micro-organismen. De inventarisaties van de waterleidingbedrijven laten zien dat de combinatie van weinig beschermende eigenschappen van de winning en nabijgelegen verontreinigingsbronnen in de praktijk regelmatig voorkomt. Daarnaast kunnen met tekortkomingen in het ontwerp en de technische staat van de win- en transportmiddelen, zoals pompput, putkelder en leidingwerk, risico's voor verontreiniging door humane of animale bronnen relatief snel en simpel worden geïntroduceerd.

Waarom dit veldonderzoek?

Het uitvoeren van veldonderzoek naar de verwijdering van micro-organismen in de ondergrond is op zichzelf niet nieuw. In het verleden zijn onder meer in de wingebieden van Brabant Water (Dizon), DZH (Solleveld) (Nobel en Cirkel, 2005) en PWN (Castricum) (Schijven et al., 1999) (doseer-)experimenten uitgevoerd. Recentelijk (2006) is door Kiwa Water Research op eigen terrein een veldproef uitgevoerd met een dosering van bacteriofagen (bacterievirussen), onder ongunstige condities voor inactivatie en hechting (anoxisch waterpakket met relatief hoge pH). De rapportage over deze veldproef is onlangs verschenen (Van der Wielen et al., 2008).

Bovendien is door de waterleidingbedrijven zelf een wettelijk vereiste risicoanalyse uitgevoerd voor deze winningen. Daaruit blijkt dat de combinatie van een potentiële verontreinigingsbron en een mogelijk kwetsbare winning in de praktijk regelmatig voorkomt. Er is echter geen zicht op de vraag of deze combinatie in praktijk ook daadwerkelijk leidt tot de aanwezigheid van verontreinigende stoffen en micro-organismen in de winputten, afkomstig vanuit humane en animale bronnen.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van dit veldonderzoek is in beeld te brengen of de aanwezigheid van een mogelijke verontreinigingsbron binnen de 60-dagenzone van een als mogelijk kwetsbaar aangemerkte winning (zie hoofdstuk 3) ook daadwerkelijk tot verontreiniging van het onttrokken grondwater kan leiden. Deze bevindingen worden vervolgens vertaald naar criteria voor de bescherming van kwetsbare grondwaterwinningen.

Het gaat om de beantwoording van een tweetal vragen:

1. Leidt de combinatie van een als mogelijk kwetsbaar aangemerkte winning en de aanwezigheid van een potentiële verontreinigingsbron binnen de 60-dagenzone ook daadwerkelijk tot verontreiniging van het onttrokken grondwater?
2. Welke algemene criteria kunnen uit de proefresultaten worden afgeleid voor de bescherming van kwetsbare grondwaterwinningen en de ruimtelijke inrichting van waterwingebieden?

In dit veldonderzoek zal onderzoek worden gedaan bij verschillende, in de praktijk aanwezige verontreinigingsbronnen en zal het effect op de waterkwaliteit in de winputten worden onderzocht. Er vindt geen dosering van micro-organismen plaats.

Daarbij zullen een aantal kwetsbare praktijksituaties worden ‘doorgemeten’ en zal de grondwaterkwaliteit in de directe omgeving van de verontreinigingsbronnen nader worden geanalyseerd. Voor het ‘doormeten’ van de praktijksituaties zal zoveel mogelijk worden aangesloten op al lopende initiatieven van waterleidingbedrijven.

2 Achtergrond

2.1 Inleiding

Grondwater kan verontreinigd raken met stoffen en micro-organismen door bijvoorbeeld lekkende riolering, infiltratie van oppervlaktewater en uitloging van meststoffen. Aangezien sommige stoffen schadelijk kunnen zijn voor de mens en sommige micro-organismen ziekteverwekkend (pathogeen) kunnen zijn, vormt verontreiniging van grondwater dat is bestemd voor drinkwaterproductie, mogelijk een volksgezondheidsrisico. Verschillende internationale studies beschrijven de aanwezigheid van pathogene micro-organismen in grondwater. Over ziekte-uitbraken ten gevolge van blootstelling aan pathogenen in grondwater door consumptie werd tot dusverre ook meerdere malen gepubliceerd.

Wanneer er sprake is van verontreiniging van grondwater door humane of animale bronnen, zullen er naast schadelijke stoffen en ziekteverwekkende micro-organismen ook kenmerkende indicatoren zoals bepaalde micro-organismen, chemische stoffen en isotopen in het grondwater worden aangetroffen die van nature niet of in zeer lage concentraties voorkomen. De aanwezigheid van dergelijke indicatoren zijn dus een aanwijzing voor invloeden van buitenaf zoals vanuit humane en animale verontreinigingsbronnen. Voor de uitvoering van het veldonderzoek werd een inventarisatie gemaakt van kenmerkende stoffen die bij verontreiniging door één van bovengenoemde bronnen in het grondwater terecht kunnen komen. Op basis van deze inventarisatie werd het meetplan (hoofdstuk 3) opgesteld.

2.2 Pathogenen in grondwater

Grondwater kan verontreinigd raken met micro-organismen, waaronder pathogenen, vanuit humane en animale bronnen. De pathogene micro-organismen kunnen behoren tot de groep van bacteriën, zoals *Campylobacter*; virussen, zoals rotavirus; of parasitaire protozoa, zoals *Cryptosporidium*. Sommige van de pathogenen, zoals *Campylobacter*, hepatitis E-virussen en *Cryptosporidium*, kunnen zowel diersoorten infecteren als ook de mens (WHO, 2003). Verontreiniging van grondwater vanuit humane en animale bronnen kan hierdoor mogelijk een volksgezondheidsprobleem vormen.

In Nederland werd door het RIVM in 2002 en 2003 grondwater van ‘eigen winningen’¹ onderzocht. In 2,7% van de monsters werd *E. coli* O157:H7 aangetroffen (Schets et al., 2005). Dit grondwater voldeed wel aan de Nederlandse drinkwaternormen. De *E. coli* O157-positieve winningen waren gelegen op kampeerterreinen in landbouwgebieden met intensieve veehouderij. De microbiële opsporingsmethodiek ‘Pulsed field gel electrophoresis’ liet zien dat vee mogelijk de oorzaak was van de verontreinigingen bij sommige van de winningen.

Veel virussen zijn persistent in het waterige milieu en negatief geladen, waardoor ze weinig aan vaste oppervlakken hechten, en doordat ze veel kleiner zijn dan bacteriën of protozoa, kunnen ze verder door de bodem met het grondwater getransporteerd worden (Schijven et al., 2003). Hechting en inactivatie zijn de belangrijkste processen voor de reductie van virussen tijdens bodempassage. Belangrijk daarbij

¹ Grondwaterwinningen van bedrijven die in eigen beheer grondwater onttrekken, dit zonodig behandelen, en ter beschikking stellen aan derden, ook wel aangeduid als ‘eigen winningen’.

zijn eigenschappen van het grondwater, zoals pH, ionsterkte, ionsamenstelling, organisch materiaal, alsmede de eigenschappen van de bodem, zoals grondsoort, korrelgrootte, porositeit, watergehalte en de dikte van de onverzadigde zone.

In diverse studies werden in grondwater pathogene virussen zoals reovirus, enterovirus, adenovirus, norovirus, rotavirus en HAV aangetoond met moleculaire dan wel kweekmethoden variërend van 8-75% positieve monsters (Fout et al., 2003; Borchardt et al., 2003; Abbaszadegan et al., 1999).

2.3 Ziekte-uitbraken door pathogenen in grondwater

In *Nederland* zijn vooralsnog geen ziekte-uitbraken beschreven door consumptie van uit grondwater bereid drinkwater, maar hier is ook nooit gericht onderzoek naar gedaan. De consumptie van met pathogenen verontreinigd grondwater heeft in het verleden in het *buitenland* wel tot omvangrijke ziekte-uitbraken geleid. In de maand mei van 2000 werd een geschat aantal van 2300 mensen ernstig ziek en zijn 7 mensen overleden door blootstelling aan microbiologisch verontreinigd drinkwater in Walkerton, Ontario, Canada (Anonymous, 2000a). Door middel van microbiële opsporingsmethodieken werd vastgesteld dat de *E. coli* O157:H7 en *Campylobacter*-isolaten afkomstig van één van de dertien omliggende veehouderijen een exacte match vertoonden met de bacterie-isolaten uit de verontreinigde grondwaterwinning en uit de ziek geworden patiënten (Clark et al., 2005).

In *Europa* heeft verontreiniging van grondwater ook tot grote ziekte-uitbraken geleid. In 2000 werden meer dan 200 inwoners van een Franse gemeenschap ziek, waarbij juist diegenen die kraanwater hadden gedronken een drievoudig verhoogde kans bleken te hebben op ziekte (Gallay et al., 2006). De uitbraak werd geweten aan de verontreiniging van één van de grondwaterbronnen met afspoeling van landbouwgronden en het niet-functioneren van het chloringsstelsel. Meer dan de helft van de inwoners van een Zwitsers dorpje, 1607 consumenten, werden in 1998 ziek na een pompdefect waardoor afvalwater het grondwater wist te bereiken (Maurer and Stürchler, 2000). Het falen van de integriteit van de win-, zuiverings- en transportmiddelen blijkt een belangrijke oorzaak van ziekte-uitbraken te zijn.

Net als bij de Franse uitbraak werd ook uit de publicatie over de Zwitserse uitbraak niet duidelijk om wat voor type bronnen het ging. De eigenschappen van de winningen en de bodemeigenschappen werden niet beschreven. In Finland werden bij drie ziekte-uitbraken 400, 50 en 1000 consumenten ziek door het drinken van kraanwater geproduceerd uit grondwater (Hänninen et al., 2003). Ook in deze publicaties werden de eigenschappen van winningen en bodem niet of nauwelijks beschreven.

De meeste symptomen betroffen gastro-enteritis zoals buikpijn, braken en diarree, maar ook hersen(vlies)ontsteking of fataliteiten werden beschreven. *Campylobacter* en norovirussen werden bij de Europese ziekte-uitbraken als meest voorkomende ziekteverwekkers aangewezen (zie *Pathogenen in grondwater*). Een kanttekening hierbij is dat vaak een beperkt aantal pathogenen werd meegenomen in de studies (zie ook paragraaf 2.2).

2.4 Potentiële verontreinigingsbronnen

Uit de literatuur blijken verschillende bronnen tot fecale verontreiniging van het grondwater te kunnen leiden. Hier worden beschreven:

- Lekkage van riolering;
- Infiltratie van oppervlaktewater;
- Uitloging van meststoffen.

Lekkage riolering

Het is veelal niet bekend of rioolleidingen lek zijn. Inventariserende studies hebben laten zien dat rioleringen na verloop van tijd veelal gaan lekken op de verbindingen (Tauw Milieu, 1988). Dit geldt met name voor rioolleidingen die zijn aangelegd vóór 1940 (verbindingen met touw) en voor rioolleidingen die zijn aangelegd in de jaren '60/'70. In deze periode werd regelmatig een mindere kwaliteit cement toegepast. Daarnaast moet bij de beschouwing van de kwaliteit van rioolleidingen onderscheid worden gemaakt in de riolering op particulier en openbaar terrein. De openbare riolering wordt geïnspecteerd en is opgenomen in een vervangingsprogramma. De riolering op particulier terrein wordt in de regel pas onderzocht en aangepakt bij technische problemen. Vooral in oude wijken kan de lekkage op particulier terrein aanzienlijk zijn. Ook locatiegebonden factoren zoals bodemopbouw, zettingen, grondwaterstand en de aanwezigheid van bomen, zijn van invloed op het optreden van lekkage. Hoewel er geen gegevens zijn over specifieke lekdebieten op een bepaalde plaats, kan wel gesteld worden dat er sprake is van veel lekkage in de Nederlandse riolering (Tauw Milieu, 1988; Schijven et al., 2004).

Infiltratie oppervlaktewater

Rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) en industriële bedrijven lozen effluent op het oppervlaktewater, maar ook ongezuiverd afvalwater middels overstorten. Ook vindt afspoeling van landbouwgronden plaats, direct of via het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater. Oppervlaktewater bevat dus een scala aan antropogene verontreinigingen die bij het voorkomen van infiltratie in de winputten zouden kunnen worden aangetroffen. De aanwezigheid van virussen in zowel de Rijn als de Maas is in de afgelopen jaren uitgebreid geanalyseerd (De Roda Husman en Ketelaars, 2004; De Roda Husman et al., 2005).

Bemesting en begrazing

Bij winningen in landelijk gebied kunnen uitwerpselen met ziekteverwekkers (virussen, bacteriën en protozoa) in de nabijheid van een winput op het maaiveld worden gedeponneerd, door bijvoorbeeld bemesting of begrazing door wild of (landbouw)huisdieren. Daarnaast kunnen dode dieren die op het maaiveld liggen een bron van ziekteverwekkers zijn. Bij regenval kunnen de ziekteverwekkers uit de feces worden gespoeld en naar het grondwater worden getransporteerd. De invloed van begrazing op de microbiologische kwaliteit van het onttrokken duinwater is enkele jaren geleden vastgesteld voor de winning in Solleveld (Nobel en Cirkel, 2005).

2.5 Indicatoren verontreinigingsbronnen

***E. coli* en bacteriofagen**

In 65% van ondiepe, niet nader gespecificeerde grondwaterwinningen in de VS werden *Helicobacter pylori* bacteriën aangetroffen (Hegarty et al., 1999). Zij concludeerden dat er geen significante correlatie kon worden vastgesteld tussen de aanwezigheid van de zogenaamde indicator bacteriën, totale coliformen of *E. coli*, en de aanwezigheid van pathogene bacteriën. Indicator micro-organismen worden over het algemeen niet beschouwd als een directe indicator voor de aanwezigheid van pathogenen, maar als indicator voor fecale verontreiniging. Daarbij moet de kwaliteit en de intensiteit van monstername en analyse wel voldoende zijn. Bacteriofagen zoals somatische colifagen en F-specifieke fagen worden toegepast als indicator van fecale verontreiniging en het gedrag van pathogene virussen. Hoe meer indicator micro-organismen worden aangetroffen, des te meer fecale verontreiniging en des te groter de kans dat ook pathogenen aanwezig zijn in het onderzochte water. Echter, de kans dat pathogenen worden aangetoond hangt ook af van de reductie in grondwater door bijvoorbeeld hechting en inactivatie, waardoor de micro-organismen op verschillende wijze de bodem passeren. Het kan dus zo zijn dat bepaalde indicator bacteriën zoals *E. coli* al dood zijn terwijl parasitaire protozoa, zoals *Cryptosporidium*, en virussen, zoals adenovirussen, nog infectieus zijn voor mens (en dier).

Carbamazepine, cafeïne en borium

Door Sacher et al. (2001) zijn 105 grondwaterputten in Baden-Württemberg, Duitsland, onderzocht op de aanwezigheid van geneesmiddelen. Carbamazepine werd gevonden in gehalten tot 1,1 µg/L. Carbamazepine blijkt niet te worden verwijderd onder anoxische en oxische condities en ook niet in de onverzadigde zone bij verblijftijden tot acht jaar (Drewes et al., 2003). Carbamazepine wordt daarom beschouwd als een goede indicator voor verontreiniging van grondwater met oppervlaktewater (met rwzi-effluent) en/of rioolwater. Ook in Nederland wordt carbamazepine in oppervlaktewater en oevergrondwater vaak aangetroffen (Versteegh et al., 2007). Over de aanwezigheid van carbamazepine in grondwater in Nederland is minder bekend.

In Oostenrijk is door het Umweltbundesamt (Schramm et al., 2006) de toepasbaarheid onderzocht van carbamazepine en cafeïne als tracers voor verontreiniging door humane bronnen. Een groot aantal grondwaterputten (56 in totaal) zijn hierbij onderzocht op de aanwezigheid van deze stoffen. Juist de combinatie van deze stoffen bleek een goede indicator voor humane bronnen te vormen: carbamazepine omdat het een zeer conservatieve stof is, cafeïne omdat dit op grote schaal wordt geconsumeerd en uitgescheiden. Carbamazepine behoort tot de anti-epileptica, maar wordt ook voorgeschreven bij depressies en neuropatische pijnen.

Cafeïne komt voor in veel levensmiddelen. Ongeveer 3% van de inname wordt door het lichaam uitgescheiden en komt in het riool terecht. Verder komt natuurlijk ook niet geconsumeerde cafeïne direct in het riool terecht. Cafeïne breekt af en wordt goed verwijderd in Rwzi's tot 99,9%. Desondanks is de concentratie in het effluent voldoende hoog om als indicator te kunnen dienen. Ook blijkt de invloed van overstorten goed merkbaar in de gehalten cafeïne in oppervlaktewater (Buerge et al., 2002). Verder geldt natuurlijk dat er bij lekkage van riolering sprake is van infiltratie van ongezuiverd rioolwater. In Tabel 2.1 zijn enkele gegevens uit de literatuur samengevat.

Boor, afkomstig uit wasmiddel (borax), heeft als voordeel dat het al regelmatig gemeten is door de waterleidingbedrijven, maar als nadeel dat het ook van nature in het grondwater in aanzienlijke gehalten aanwezig kan zijn (Tabel 2.2).

Tabel 2.1 Gehalten cafeïne in rwzi's en natuurlijke wateren (Bron: Buerge et al., 2002).

Locatie	Cafeïneconcentratie
Consumptie (excl. medicinaal)	70 mg/persoon/dag (wereldwijd) 440 mg/persoon/dag (Engeland) 210 mg/persoon/dag (Verenigde Staten) 330 mg/persoon/dag (Zwitserland)
Influent rwzi	20-300 µg/L (Canada) 20 µg/L (Verenigde Staten) 147 ± 76 µg/L (Duitsland)
Effluent rwzi	0,06-0,08 µg/L tot 6,7 µg/L (Verenigde Staten) 0,19 ± 0,09 µg/L tot 1,9 µg/L (Duitsland) 2 µg/L (Zweden)
Rivieren, meren	10-100 ng/L (Verenigde Staten) 3-1440 ng/L, mediaan 160 ng/L (Verenigde Staten) 13 ± 28 ng/L tot 115 ng/L (Verenigde Staten) <50-1270 ng/L (Duitsland) tot 171 ng/L (Nederland)
Grondwater	10-80 ng/L mediaan 30 ng/L (Verenigde Staten)

Tabel 2.2 Gehalten boor in natuurlijke wateren (EH 204).

Locatie	Boriumconcentratie
Zeewater	4,5 mg/L
Sprenge	3 µg/L (Meinardi, 2003) (Nederland)
Grondwater	0,08 – 0,6 µg/L (Nederland)
Oppervlaktewater	0,001 – 2 mg/L, gemiddeld < 0,6 mg/L (Europa)
Afvalwater	tot 5 mg/L, gemiddeld 2 mg/L (Europa)

Metalen en macroparameters

De invloed van meststoffen op de grondwaterkwaliteit kan worden herleid uit de gehalten uitspoelingsgevoelige metalen, zoals cadmium (Cd), beryllium (Be), cobalt (Co), nikkel (Ni) en zink (Zn) (Fraters et al., 2001) en nutriënten. Sinds de jaren '50 van de twintigste eeuw worden landbouwgronden in Nederland intensief bemest. Het gaat met name om toediening van stikstof (N), fosfor (P), kalium (K) en sulfaat (S) in de vorm van kunstmest en dierlijke mest. Doorgaans werd en wordt er meer aan meststoffen op de percelen gebracht dan er via het gewas of via het vee weer wordt afgehaald.

De fractie nitraat die uiteindelijk uitspoelt naar het grondwater hangt sterk af van de hoogte van de grondwaterstand en de daarmee corresponderende zuurstofrijkdom van de bodem. Bij een lage grondwaterstand heersen er zuurstofrijke omstandigheden in de bodem en wordt het bij de afbraak van organische mest gevormde ammonium omgezet in nitraat (nitrificatie). Bij hoge grondwaterstand, bijvoorbeeld in natte natuurgebieden, heersen er in de bodem zuurstofarme omstandigheden waarbij

nitraat wordt omgezet in stikstofgas en ontwijkt (denitrificatie). Nitraat kan door aanwezigheid van pyriet (FeS₂) of organische stof worden gereduceerd. Dit is één van de verklaringen waarom onder bemeste, pyriethoudende gronden vaak toch lage nitraatgehalten in het grondwater worden aangetroffen. Onderscheid wordt gemaakt tussen complete en incomplete pyrietoxidatie: bij complete oxidatie wordt zowel S(-1) als Fe(II) geoxideerd tot respectievelijk sulfaat en ijzerhydroxide, terwijl bij incomplete oxidatie alleen S(-1) wordt geoxideerd. Incomplete oxidatie doet zich waarschijnlijk voor bij hoge grondwatersnelheden ten opzichte van de mengsnelheid en/of bij geringe beschikbaarheid van oxidatoren, want dan wordt het gemobiliseerde Fe(II) vanaf het reactiefront afgevoerd met het grondwater. Complete pyrietoxidatie met nitraat is verzurend, incomplete oxidatie heeft daarentegen een pH-stijging tot gevolg. Bij handhaving van het kalkevenwicht neemt de hardheid dus toe voor de eerste situatie en af voor de tweede situatie. Pyrietoxidatie met zuurstof is altijd verzurend en geeft bij kalkevenwicht een stijging in hardheid. Pyrietkristallen kunnen daarnaast van nature hoge gehalten sporenmatalen zoals nikkel, arseen en zink bevatten. Wanneer pyriet oplost door reactie met nitraat worden deze metalen gemobiliseerd en komen in het grondwater. Het risico van mobilisatie van metalen is, behalve voor arseen, groot bij geringe pH-buffering.

Indicatoren voor de beïnvloeding van grondwater door oppervlaktewater en afvalwater zijn chloride en de nutriënten N en P. Daarnaast geven de sporenelementen borium (B), broom (Br), lithium (Li), rubidium (Rb), molybdeen (Mo), vanadium (V), barium (Ba) en gadolinium (Gd) informatie over de aanwezigheid van geïnfiltrerd oppervlaktewater en/of afvalwater.

Isotopen

De aanvulling van het grondwater door regenwater of oppervlaktewater kan worden vastgesteld met de isotopen $\delta^2\text{H}$ en $\delta^{18}\text{O}$. Een inschatting van de leeftijd van het grondwater kan worden gemaakt op basis van tritiumanalyses in combinatie met responsberekeningen van de winningen. Dit is een inschatting in de ordegrrootte van jaren. De bodemprocessen die optreden bij vermesting, kunnen mede worden beschreven op basis van de stabiele isotopen ¹⁵N en ¹⁸O in nitraat en ³⁴S in sulfaat. In Tabel 2.3 is per verontreinigingsbron aangegeven welke parameters daarvoor belangrijk kunnen zijn. Deze lijst is niet volledig.

Tabel 2.3 Belangrijke parameters van potentiële verontreinigingsbronnen.

Bron Parameter	Oppervlaktewater	Riolering	Mest
Chemie	Borium Nutriënten N en P Geneesmiddelen Cafeïne Chloride Isotopen: ● $\delta^2\text{H}$ en $\delta^{18}\text{O}$ ● Tritium	Borium, sporenelementen Geneesmiddelen Cafeïne Chloride	Nutriënten N en P Sulfaat Cadmium, Beryllium, Cobalt, Nikkel, Zink Isotopen: ● ¹⁸ O en ¹⁵ N in NO ₃ ● ³⁴ S in SO ₄
Microbiologie		Bacteriën van de coligroep <i>E. coli</i> Somatische colifagen Adenovirus (humaan) Adenovirus (varken) Bovine Polyomavirus (rond)	

3 Opzet en aanpak veldonderzoek

3.1 Inleiding

Ten behoeve van het op te stellen plan van aanpak voor het veldonderzoek, is de doelstelling van het onderzoek in tweeën gesplitst en zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd die met de uitvoering van het veldonderzoek beantwoord moeten worden:

1. Leidt de combinatie van een als mogelijk kwetsbaar aangemerkte winning en de aanwezigheid van een potentiële verontreinigingsbron binnen de 60-dagen- tot 1-jaarszone ook daadwerkelijk tot verontreiniging van het onttrokken grondwater? Wat is het gedrag van de verontreiniging in de bodem?
2. Welke algemene criteria kunnen uit de proefresultaten worden afgeleid voor de bescherming van kwetsbare grondwaterwinningen en de ruimtelijke inrichting van waterwingebieden?

In Figuur 3.2 is stapsgewijs weergegeven wat de te beantwoorden vragen zijn en hoe deze zijn aangepakt.

3.2 Selectie winningen

De winningen in dit veldonderzoek zijn geselecteerd op basis van de potentiële verontreinigingsbronnen in de nabijheid van de winningen (zie 2.4) en op basis van de geohydrologische en geochemische eigenschappen van de winningen. Daarbij is gebruik gemaakt van een door Kiwa Water Research (Van der Wielen et al., 2006) opgestelde classificatie van grondwaterwinningen.

Door Kiwa Water Research (Van der Wielen et al., 2006) is een classificatie opgesteld van alle freatische winningen in Nederland. Op basis van de verblijftijd, redox, pH en de dikte van de onverzadigde zone is een score aan een winning toegekend (zie Box 3.1). De winning met de hoogste microbiologische kwetsbaarheid kan een maximale score van 6 behalen. Winningen met een score van 4 of hoger worden als mogelijk kwetsbaar bestempeld. Dit zijn 28 winningen. In totaal zijn er in Nederland 204 zandige grondwaterwinningen, waarvan 176 niet kwetsbaar zijn omdat zij onder een beschermende kleilaag liggen, het grondwater oxidisch is ofwel omdat de onverzadigde zone een dikte heeft van meer dan 5 meter (Van der Wielen et al., 2006).

De classificatie bevat alle elementen waarvan wordt aangenomen dat deze een rol spelen bij het transport van virussen en vormt in die zin dus een goede basis voor de selectie van meetlocaties. De puntentoekenning is wel enigszins arbitrair, de cijfers en rangorde moeten daarom genuanceerd worden bekeken. Bij de uitvoering van de Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater zijn de waterleidingbedrijven, in overleg met de VROM-Inspectie, gestart met de analyse van deze winningen, aangevuld met winningen waarvan door het bedrijf zelf wordt ingeschat dat deze mogelijk kwetsbaar zijn.

Box 3.1 Puntentoekening microbiologische kwetsbaarheidskenmerken freatische grondwaterwinningen.

Berekende omvang 60-dagen zone ≥ 75 meter	→	3 punten
pH ≥ 7	→	1 punt
Anoxisch (gehalte zuurstof, nitraat, mangaan en ijzer)	→	1 punt
Dikte onverzadigde zone < 5 meter	→	1 punt
<i>Maximale score</i>	→	<i>6 punten</i>

Van de 28 mogelijk meest kwetsbare winningen werd voor dit onderzoek door de betrokken waterleidingbedrijven informatie aangeleverd over:

- de aanwezigheid van een van de mogelijke verontreinigingsbronnen zoals bebouwing (riolering), landbouw (mest) en oppervlaktewater (effluentlozingen Rwzi's) binnen de 60-dagen en de 1-jaarszone;
- eventuele andere (chemische) verontreinigingen die zijn aangetroffen in het onttrokken grondwater.

Op basis van de aangeleverde informatie is voor dit onderzoek een selectie gemaakt van:

- Eén landelijke winning met landbouwgronden (*bemesting*) in de directe nabijheid van de winputten. Op basis van de redoxconditie (anoxisch), de dikte van de onverzadigde zone en de aanwezigheid van veel veeteelt is gekozen voor Boxmeer. In de winputten van Boxmeer zijn bestrijdingsmiddelen aangetroffen.
- Eén stedelijke winning met oude *riolering* in de directe nabijheid van de winputten. Gekozen is voor de winning te Goor, een oxische winning met dunne onverzadigde zone met bebouwing direct gelegen aan de rand van het waterwingebied. Bovendien is van de winning veel aanvullende informatie aanwezig, omdat deze winning door de provincie Overijssel ook is gebruikt voor een pilot met betrekking tot gebiedsgericht beheer.
- Eén winning onder invloed van *oppervlaktewater* in de directe nabijheid van de winputten. Voorkeur ging uit naar winning onder invloed van één van de grote rivieren. Gekozen is voor de winning te Zutphen. Deze winning staat ook onder stedelijke invloed.

In Tabel 3.1 zijn de eigenschappen en de omgevingsfactoren van de onderzochte winningen samengevat. Na de eerste bemonsteringsrondes bleek uit nieuwe informatie van het betreffende drinkwaterbedrijf dat de invloed van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit bij de winning in Zutphen niet zo duidelijk was als vooraf was ingeschat. In overleg met de begeleidingsgroep is daarom besloten om een vierde winning te onderzoeken. Gekozen is voor de winning Zwijndrecht. Dit is weliswaar een freatische *oever*grondwaterwinning, maar heeft als voordeel dat er geen twijfels bestaan over de invloed van oppervlaktewater.

Tabel 3.1 Eigenschappen winningen (Van der Wielen et al. 2006), responscurves en omgevingsfactoren en andere kwaliteitsinformatie (informatie waterleidingbedrijven).

Winning	Eigenschappen Winning	% onttr. water <10 j.	Omgeving in zone 60 d- 1 j.	Andere kwaliteitsinformatie
Boxmeer 5 punten	L*: 97,4 m pH: 6,93 Anoxisch D*: 1,5 m	40-50%	<ul style="list-style-type: none"> • Bos, gras- en bouwland. • Geen bebouwd gebied. • Aanvoer via beken. 	Bestrijdingsmiddelen in individuele putten aangetroffen.
Goor 5/6 punten	L*: 87,5 m pH: 7,00 Ox./Anoxisch? D*: 1 m	25-60%	<ul style="list-style-type: none"> • Bebouwing aan rand waterwingebied. • Gras- en bouwland. • Mogelijke invloed Twentekanaal. 	Bentazon, Mecoprop en BAM in individuele putten aangetroffen.
Zutphen 5 punten	L*: 85,9 m pH: 7,3 Oxisch D*: 4,3 m	10%	<ul style="list-style-type: none"> • Winning in stedelijk gebied. • Invloed oppervlaktewater, recreatieplas en mogelijk ook IJssel. 	BAM en MTBE aangetroffen. Ivm. MTBE-verontreiniging vindt in situ sanering plaats. Chloride in sommige putten te hoog (sluiting putten).
Zwijndrecht 6 punten	L*: > 75 m** pH: 7,3 Anoxisch D*: 1 m	100% en >50% <60 d.	<ul style="list-style-type: none"> • Oevergrondwaterwinning. • Infiltratie Oude Maas. • Winning in stedelijk gebied. 	Incidenteel zijn in enkele putten diverse bacteriën aangetroffen. Kwaliteit Oude Maas zichtbaar in grondwater: AMPA, Bentazon, Dikegulac-natrium, MCPP en geneesmiddelen.

* L=lengte 60-dagen verblijftijd; D=dikte onverzadigde zone;

** De berekende bodempassage van Oude Maas tot winput is minder dan 60 dagen.

3.3 Meetplan

Keuze parameters

Uitgangspunt bij het opstellen van het meetprogramma is om een beeld te krijgen van het effect van een verontreinigingsbron op de kwaliteit van het onttrokken grondwater. De aandacht gaat daarbij in eerste instantie uit naar microbiologische verontreinigingen. In dit veldonderzoek werden groot volume bemonsteringen (tot 1000 liter) uitgevoerd. Als het water voor wat betreft pathogenen voldoet aan de eis van een maximum infectierisico van één per tienduizend personen per jaar, dan zijn de pathoconcentraties in het water lager dan 1 per miljoen liter water in ordegrootte. In het algemeen zijn concentraties bacteriofagen ordegroottes hoger dan die van pathogene virussen, echter deze verhouding is niet constant. Het kan dus zijn dat in de aanwezigheid van pathogene virussen geen bacteriofagen worden gedetecteerd en andersom. Tot dusver is geen methode beschikbaar om een miljoen liter water te onderzoeken. Een negatief resultaat betekent daarom ook niet dat hiermee onomstotelijk is vastgesteld dat er (1) geen lekkage optreedt of (2) de bodempassage onder die omstandigheden, voldoende lang is en ook niet dat er voldaan is aan het infectierisico.

Stappen veldonderzoek:	Daarbij te beantwoorden vraag en toelichting stappen:
Veldproef microbiologische veiligheid waterwingebieden	Leidt de combinatie van een mogelijk kwetsbare winning en een potentiële verontreinigingsbron binnen 60-dagenzone in de praktijk tot verontreiniging?
Selectie winningen	→ Op basis van classificatie mogelijk kwetsbare winningen (Van der Wielen et al.,2006). → Aanwezigheid potentiële verontreinigingsbronnen tussen 60-dagen en 1-jaarszone (informatie waterleidingbedrijven).
Keuze meetpunten	→ Informatieanalyse op basis van geohydrologie en kwaliteitsgegevens. Keuze van de te bemonsteren putten.
Vaststellen meetplan en uitvoeren 3 meetrondes.	→ Vaststellen meetplan. Kwetsbare en in bedrijf zijnde putten in groot volume, overige putten brede screening en op basis van tussentijdse resultaten zonodig bijstellen.
Evaluatie tussenresultaten en aanpassen meetprogramma op 3 punten.	→ Invloed oppervlaktewater (IJssel) Zutphen blijkt niet duidelijk aanwezig. Aandacht wordt gericht op herkomst en bodemprocessen door het onderzoeken van een extra winning, het bemonsteren van waarnemingsputten en isotopenonderzoek.
Punt 1: Toevoegen winning aan meetprogramma met directe invloed oppervlaktewater op grondwater kwaliteit	→ Toevoegen Zwijndrecht aan meetprogramma. Microbiologische historie aanwezig.
Punt 2: Vaststellen kwaliteitsontwikkeling in stroombaan van bron → put	→ Bemonsteren bron- en waarnemingsputten in stroombaan: <ul style="list-style-type: none"> ○ Analyse van chemie en microbiologie op meerdere dieptes. ○ Analyse van verontreinigingsbronnen zelf.
Punt 3: Vaststellen herkomst onttrokken grondwater en maatgevende bodemprocessen.	→ Bemonstering verschillende isotopen en uitgebreide screening sporenelementen in win- en waarnemingsputten.
Vertaalslag resultaten veldonderzoek naar criteria voor bescherming wingebieden	Welke algemene bevindingen kunnen uit de proefresultaten worden afgeleid voor de bescherming van waterwingebieden?

Figuur 3.2 Stappenplan uitvoering veldonderzoek.

Er is daarom besloten om naast de microbiologische analyses ook een aantal chemische analyses uit te voeren. Deze analyses kunnen aanvullende gegevens opleveren over de aanwezigheid van een verontreinigingsbron die van invloed is op de kwaliteit van het onttrokken grondwater. In Tabel 3.2 is het meetprogramma per winning op hoofdlijnen weergegeven. In Tabel 3.3 zijn de genoemde parametergroepen verder uitgesplitst.

Tabel 3.2 Meetprogramma veldonderzoek per winning.

Meetpunt	Frequentie	Parameters
Potentiële bronnen	1x	Micro-organismen (virussen en bacteriën), Metalen, Macroparameters, Cafeïne, Carbamazepine Sporenelementen, Isotopen
Winputten	3x	Micro-organismen (virussen en bacteriën), Metalen, Macroparameters, Cafeïne, Carbamazepine
	1x	Sporenelementen, Isotopen
Waarnemingsputten	1x (beperkt)	Micro-organismen (virussen en bacteriën), Metalen, Macroparameters, Cafeïne, Carbamazepine
	1x (uitgebreid)	Sporenelementen, Isotopen

Meetpunten verontreinigingsbron(nen)

In dit veldonderzoek is, door veldmetingen en analyse van eerdere meetcampagnes, de samenstelling van een drietal potentiële verontreinigingsbronnen nader onderzocht:

- lekkage riolering;
- infiltratie oppervlaktewater;
- uitloging van meststoffen.

De mogelijke emissiebronnen zijn bemonsterd en geanalyseerd op de aanwezigheid van virussen, bacteriën en tracerstoffen.

Lekkage riolering

Veelal is niet bekend of rioolleidingen op een bepaalde locatie lek zijn. In het veldonderzoek is als basisveronderstelling aangenomen dat rioolleidingen lekken. Centrale vraag vervolgens is of de lekkage het grondwater bereikt en hoe het rioolwater zich in de onverzadigde zone gedraagt. Omdat de route van het lekkende rioolwater naar het grondwater niet altijd even duidelijk is, is voor de uitvoering van de metingen gezocht naar een locatie waar dit wel duidelijk is.

De gemeente Hilversum beschikt in het centrum over een oud rioolstelsel dat gelegen is in een zeer dik, grof zandpakket zonder doorsnijdingen van klei- of veenlagen. Ook de dikte van de onverzadigde zone varieert van meer dan 5 tot meer dan 10 m. Een voordeel van deze bodemopbouw is dat eventuele lekkages zich verticaal naar beneden zullen verplaatsen. Het rioolstelsel is deels gerenoveerd, maar er zijn stadsdelen die vanuit het oogpunt van lekkage mogelijk interessant zijn. Verwacht wordt dat lekkage met name zal optreden op de verbindingen (touw) en in straten met veel bomen (haarwortels in verbindingen). Bij renovatiewerkzaamheden, waarbij verkleuring van de bodem onder de riolering visueel is waargenomen (lekkage van rioolwater), zijn door het RIVM bodemmonsters genomen onder verschillende buisovergangen en op verschillende dieptes (Figuur 5.1). Deze monsters zijn vervolgens geanalyseerd op aanwezigheid van fecale verontreiniging.

Infiltratie oppervlaktewater

Het oppervlaktewater bij de winningen Zutphen en Zwijndrecht is bemonsterd. Daarnaast is water van zowel Rijn als Maas in andere studies in de afgelopen jaren gedurende de periode van een jaar maandelijks geanalyseerd op de aanwezigheid van humane virussen en bacteriofagen (De Roda Husman en Ketelaars, 2004; De Roda Husman et al., 2005). De resultaten van deze meetcampagnes zijn gebruikt bij de analyse van de resultaten.

Uitloging van meststoffen

Bij de winning Boxmeer zijn mestmonsters genomen, direct op het land en in de gierput op de boerderij.

Meetpunten winputten en waarnemingsputten

Winputten

In Bijlage 1 tot en met 4 is een beschrijving van de winningen opgenomen, waaronder ook kwaliteitsinformatie per winput. Deze gegevens zijn beschikbaar gesteld door de betreffende waterleidingbedrijven. Op basis van deze kwaliteitsinformatie, de bedrijfsvoering en de grondwaterstroming zijn die putten geselecteerd waar de meeste kans lijkt te bestaan op het aantreffen van microbiologische verontreinigingen. In deze putten zijn grote volumes bemonsterd en onderzocht op aanwezigheid van virussen. Van de overige in bedrijf zijnde putten zijn 10 L monsters genomen en onderzocht op de aanwezigheid van *E. coli*. De chemische parameters (Tabel 3.3) zijn voor alle bemonsterde winputten bepaald.

Waarnemingsputten

In de stroombaan van een potentiële verontreinigingsbron naar de winputten is op geringe diepte de grondwaterkwaliteit eenmalig onderzocht op aanwezigheid van virussen (groot volume > 100 L), *E. coli* en de chemische parameters zoals genoemd in Tabel 3.3. Vervolgens is, ter bepaling van de herkomst van het grondwater, een meer uitgebreide bemonstering uitgevoerd van winputten en waarnemingsputten. Deze monsters zijn geanalyseerd op sporenelementen en isotopen (Tabel 3.3).

Tabel 3.3 Parameters in meetprogramma.

	Parameter
Micro-biologie	<u>Bacteriën:</u> <i>E. coli</i> /Bacteriën van de coligroep <u>Fagen/virussen:</u> Somatische fagen (kweek)/Humane adenovirussen (PCR en kweek)/Porcine adenovirussen (PCR)/Polyomavirussen (PCR)
Chemie	<u>Macroparameters:</u> pH/Zuurstof/Temperatuur/EGV Ammonium/Nitraat/Ortho-fosfaat/Totaal-fosfaat Chloride/Sulfaat <u>Metalen:</u> Boor/Kalium/Zink/Cadmium/Nikkel/Aluminium/Arsen/IJzer/Mangaan/ Chroom/Barium/Beryllium/Natrium ^{*)} <u>Overig:</u> Cafeïne/Carbamazepine <u>Isotopen:</u> $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, ^{18}O en ^{15}N in nitraat, ^{34}S in sulfaat en Tritium ^{**)} <u>Sporenelementen:</u> ICP-MS en ICP-AES ^{**)}

*) Dit zijn meer metalen dan alleen de uitspoelingsgevoelige metalen, maar met uitzondering van Boor worden deze metalen in één analysegang gemeten.

***) Bepaling herkomst m.b.v. sporenelementen en isotopen in winputten en waarnemingsputten (eenmalig en uitgebreid).

4 Methoden en materialen

4.1 Bemonstering

Monsterneming voor bacteriologische en chemische parameters

Monsterneming van de grondwaterwinningen, waarnemingsputten, oppervlaktewater en rioolwater werd uitgevoerd volgens NEN 6559 (Anonymous, 1992) en NPR 6600 (Anonymous, 1993). De troebelheid, geleidbaarheid, temperatuur en pH van het water werden in het veld gemeten. Microbiologische bemonstering van de waarnemingsputten is zo goed mogelijk uitgevoerd, waarbij veel aandacht is besteed aan de hygiëne van de monsternameapparatuur en de verversing van de putinhoud. Waarnemingsputten zijn echter niet uitgerust voor microbiologische monsterneming. De meetresultaten kunnen hierdoor hoger uitvallen.

Monsterneming voor somatische colifagen en virussen

Van de grondwaterwinningen bemonsterd vóór 27 juni 2007 zijn volumes van 600 liter gefiltreerd door middel van negatieve membraanfiltratie volgens een conventionele adsorptie-elutiemethode, gevolgd door ultrafiltratie (Rutjes en De Roda Husman, 2004). Vanaf 27 juni 2007 zijn met deze methode uit winputten en waarnemingsputten volumes tot 1000 liter geconcentreerd. Van de oppervlaktewateren zijn volumes van 600 liter geconcentreerd en van het rioolwater 10 liter. Van het concentraat werden monsters onderzocht op de aanwezigheid van kweekbare somatische colifagen en humane adenovirussen en op de aanwezigheid van DNA afkomstig van humane en porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen.

Bemonstering van zand onder lekkende riolering

Tijdens het vervangen van een lekkende riolering zijn met behulp van een guts steekmonsters genomen onder de overgangen tussen twee rioolbuizen. Er is direct onder de overgang bemonsterd, op 10 cm en 30 cm diepte, en 10 cm rechts van de overgang. Als negatieve controle is een zandmonster genomen onder het midden van een rioolbuis en is een verder gelegen zandmonster genomen. In totaal zijn negen overgangen bemonsterd. Ook is het rioolwater uit de buis bemonsterd. Het drooggewicht van het zand is bepaald door 10 gram zand af te wegen, de afgewogen hoeveelheid zand 18 uur te laten drogen bij 105 °C, en het zand vervolgens opnieuw te wegen. Concentraties micro-organismen zijn teruggerekend naar aantallen per gram drooggewicht.

4.2 Microbiologie

Detectie van bacteriologische parameters

Het aantal *Escherichia coli*-bacteriën werd bepaald volgens NEN 6261 (Anonymous, 1990) en het totale aantal bacteriën van de coligroep volgens NEN 6571 (Anonymous, 1982). *E. coli* is in de waarnemings- en winputten onderzocht in volumes die varieerden van 1,5 liter (Boxmeer en Goor) tot 5 liter (Zutphen) per monster. *E. coli* en totale coliformen zijn onderzocht in de waarnemingsputten in

volumes die varieerden van 0,95 liter (Goor) tot 5 liter (Zutphen en Boxmeer), in oppervlaktewater in volumes die varieerden van 0,3 ml (tot. coliformen in de IJssel) tot 110 ml (*E. coli* in de Zuiderparkplas te Zutphen) en in rioolwater (rwzi Goor) een volume van 0,2 µl. De onderzochte volumes per bepaling en locatie staan weergegeven in Bijlage 5. De bepaling van *E. coli* in water is geaccrediteerd.

Voor de bacteriologische bepalingen in zand is steeds 5 gram zand (nat gewicht) afgewogen en opgenomen in 45 ml alkalisch gebufferd pepton water (0,1% caseïne; 2% NaCl; pH 8,6). Na 30 minuten schudden bij kamertemperatuur en centrifugeren is in 10 ml, 1 ml, 0,1 ml en 0,01 ml van het supernatant, het aantal *E. coli*-bacteriën bepaald. Van het rioolwater afkomstig uit de rioolbuis (Hilversum) is 1 ml, 100 µl, 10 µl en 1 µl onderzocht op *E. coli*.

Detectie van somatische colifagen

Voor de detectie van somatische colifagen werd als gastheer *E. coli* CN (WG5) gebruikt volgens ISO 10705-2 (Anonymous, 2000). Van de win- en waarnemingsputten is een hoeveelheid concentraat onderzocht op de aanwezigheid van somatische colifagen die correspondeerde met minimaal 100 liter water. De onderzochte volumes oppervlaktewater varieerden van 34 ml (Oude Maas in Zwijndrecht) tot 1,7 liter (IJssel in Zutphen). De aanwezigheid van bacteriofagen in het rioolwater is onderzocht in 2,2 µl rioolwater (rwzi Goor). De detectie van fagen in water is geaccrediteerd.

Zandmonsters (5 g nat gewicht) zijn opgenomen in 20 ml beefextract (10%; pH 9,0), 30 minuten geschud bij kamertemperatuur en 30 minuten gecentrifugeerd bij 3000 x g. Het supernatant werd vervolgens geneutraliseerd door toevoeging van 1 ml azijnzuuracetaat buffer (pH 5,0), waarna volumes van 1 ml, 0,1 ml en 0,01 ml onderzocht zijn op aanwezigheid van somatische colifagen.

Detectie van virus-DNA

De detectie van adenovirus- en polyomavirus-DNA berust op de polymerase kettingreactie (polymerase chain reaction: PCR), waarvan het principe is uitgelegd door Rutjes en De Roda Husman (2004). Voor water is uit 5 ml van het concentraat, zoals beschreven onder paragraaf 3.1.2, en voor zand uit 1 ml van het supernatant, zoals beschreven onder paragraaf 3.1.5, met behulp van magnetische silica virus-DNA geïsoleerd, zoals is beschreven door Rutjes et al. (2005). Humane adenovirussen werden gedetecteerd met behulp van een nested-PCR zoals beschreven door Allard et al. (2001), met en zonder toevoeging van een intern controle-DNA om vals negatieve resultaten uit te kunnen sluiten. Porcine adenovirussen werden gedetecteerd zoals beschreven door Maluquer de Motes et al. (2004) en bovine polyomavirussen zoals beschreven door Wang et al. (2004). Virusconcentraties werden berekend als meest waarschijnlijke aantal door de aan- of afwezigheid van viraal DNA te bepalen in tienvoudige verdunningreeksen van het DNA (Westrell, 2006). De gemiddelde virusconcentraties werden gewogen berekend, waarbij de negatieve monsters als nul werden meegenomen. De aangetoonde virussen werden getypeerd door sequentieanalyse van de PCR-producten. Na elektroforese op een 2% agarosegel werden de PCR-producten uitgesneden en gezuiverd. Na klonering in een TA-vector werden de geregenereerde PCR-producten van minimaal vijf klonen gezuiverd en onderworpen aan sequentieanalyse met een BigDye Terminator Cycle Sequencing Kit (Perker Elmer). De DNA-sequenties werden bewerkt met Bionumerics (Applied Math) alvorens te worden vergeleken met sequenties in een internationale en vrij toegankelijke databank ter identificatie van de verkregen sequenties.

Detectie van kweekbare virussen

Voor de detectie van kweekbare humane adenovirussen werd een deel van het concentraat zoals hierboven beschreven geënt op 293 cellen, die geschikt zijn voor het kweken van humane adenovirussen uit watermonsters. De gevolgde procedure is beschreven door Rutjes en De Roda Husman (2007). De onderzochte volumes concentraat corresponderden met ongeveer 100 liter water. Na een incubatieperiode van vijf dagen bij 37°C werden de beënte cellen drie keer bevroren en ontdooid om het virus vrij te krijgen uit de cellen, waarna een DNA-extractie werd uitgevoerd met behulp van de Qiagen Viral RNA kit. DNA werd gedetecteerd met behulp van de real time PCR zoals is beschreven door Hernroth et al. (2002). Virusconcentraties werden berekend als meest waarschijnlijke aantal aan de hand van de aan- of afwezigheid van viraal DNA in de onderzochte volumes concentraat. De gemiddelde virusconcentraties werden gewogen berekend, waarbij de negatieve monsters als nul werden meegenomen. Uit het geanalyseerde volume en het meest waarschijnlijke aantal werden de infectieuze virusconcentraties in het watermonster berekend (Westrell, 2006).

Modelberekeningen

Op grond van het model voor de berekening van beschermingszones tegen virusbesmetting (Schijven et al., 2006) werd berekend of de aangetroffen somatische fagen van een bepaalde potentiële verontreinigingsbron afkomstig zouden kunnen zijn. Dit model beschrijft radiale, horizontale toestroming van grondwater naar een winput, waarbij virusconcentraties afnemen door verdunning, inactivatie en hechting. De bijdrage van verticaal transport is hierin niet meegenomen. Voor verdunning werd uitgegaan van de in dit veldonderzoek beschikbare gegevens, onder andere op grond van de carbamazepine-metingen. Voor inactivatie werd uitgegaan van de door Schijven et al. (2006) gehanteerde waarde van $0,01^{10}$ log/dag. Voor hechting werd een zogenaamde sticking efficiency gehanteerd die varieerde van 10^{-3} tot 10^{-5} . Bij een sticking efficiency van 10^{-3} zou de virusverwijdering door bodempassage zeer efficiënt verlopen. Een dergelijke waarde werd ook in veldstudies vastgesteld (Schijven et al., 1999; 2000).

4.3 Chemie

Carbamazepine en Cafeïne

Cafeïne en carbamazepine zijn door middel van een solide phase extraction (SPE) uit het monster geëxtraheerd en met LC-MS/MS geanalyseerd. Er zijn twee productionen per stof gemeten; een screeningsion en een bevestigingsion. Het screeningsion is gebruikt voor de kwantificering en het bevestigingsion voor de kwalificering. De identiteit van de stof werd bevestigd als de ratio van de twee ionen voldoet aan de EU-beschikking betreffende 'de vaststelling van minimaal vereiste prestatielimieten (MPRL's) voor bepaalde residuen in levensmiddelen van dierlijke oorsprong' (2002/657/EC).

Door, voorafgaande aan de extractie, van beide stoffen een isotoop gelabelde interne standaard toe te voegen, zijn de concentraties in ieder monster gecorrigeerd voor het extractierendement.

De reproduceerbaarheid van de methode is bepaald door bij de extractie van iedere serie monsters blanco leidingwater en toevoegingen op verschillende niveau's aan leidingwater (recovery experimenten) mee te nemen. In het blanco leidingwater is in alle gevallen cafeïne aangetoond, dit in tegenstelling tot carbamazepine dat in geen van de blanco leidingwatermonsters is aangetroffen. De resultaten van de monsters en de recovery experimenten zijn gecorrigeerd voor deze blanco waarde.

De onderste analysegrenzen voor cafeïne en carbamazepine, respectievelijk 10 ng/L en 1 ng/L zijn gewaarborgd door toevoegingen aan leidingwater op deze niveau's. Tenslotte zijn er tien duplometingen uitgevoerd. De duplomsters zijn op verschillende dagen opgewerkt en geanalyseerd.

Metalen/Macroparameters

Direct bij monstername zijn de monsters gefiltreerd over een 0,45 µm-filter. Per monsterpunt zijn monsters van 100 en 250 ml genomen. Het 100 ml-monster is gebruikt voor metaanalyses. Dit is aangezuurd met 0,7 ml geconcentreerd HNO₃. Het 250 ml-monster werd opgesplitst in een deel voor de bepaling van PO₄, Cl- en SO₄ (neutraal) en een deel voor de bepaling van NH₄ en NO₃ (aangezuurd tot pH=2 met H₂SO₄).

De metalen zijn gemeten met Q-ICP-MS. NH₄ en PO₄ zijn fotometrisch bepaald bij 660 resp. 880 nm. en Cl⁻, NO₃ en SO₄ met IC.

Met uitzondering van Borium zijn dit geaccrediteerde verrichtingen.

4.4 Isotopen

Monstername

Monsters voor de analyse van δ²H-H₂O, δ¹⁸O-H₂O en tritium werden verzameld in 30 ml- en 250 ml- (tritium-) flesjes (bruin glas) zonder filtratie of conservering. Monstername voor de analyse van δ³⁴S-SO₄, δ¹⁵N-NO₃ en δ¹⁸O-NO₃ is uitgevoerd volgens de richtlijnen van Clark en Fritz (1997): monsters zijn verzameld in polypropyleen flessen van 1 L. Het monster is ter plaatse gefiltreerd over een 0,45 µm millipore membraanfilter en aangezuurd met HCl (10 %) tot een pH=2 om bacteriële activiteit te voorkomen. Monsters voor de analyse van δ¹³C zijn verzameld in 60 ml bruine glazen flesjes. De monsters zijn voor conservering gesteriliseerd door toevoeging van een I₂-KI-oplossing (5 druppels per 100 ml monster). Deze I₂-KI-oplossing bestaat uit 1,5 g I₂ en 3 g KI dat is opgelost in 100 ml gedemineraliseerd water. Alle monsters zijn koel (0-5 °C) en donker bewaard tot uitvoering van de analyse.

Analyse

De analyse van stikstofisotopen is uitgevoerd volgens de procedure zoals beschreven door Silva et al. (2000). Opgelost nitraat is neergeslagen als zilvernitraat en geanalyseerd op δ¹⁵N middels EA-IRMS (Elemental Analyzer Isotope Ratio Mass Spectrometry). Analyse van δ¹⁸O-NO₃ in silver nitrate is uitgevoerd door een totale omzetting bij 1080 °C in een Quartz Reactor Tube. CO en stikstof zijn gescheiden op een GC-kolom en geanalyseerd middels IRMS. Het sulfaat in het watermonster is neergeslagen als bariumsulfaat en geanalyseerd op δ³⁴S middels EA-IRMS. δ²H-H₂O en δ¹⁸O-H₂O zijn gemeten met een Thermo Finnigan Delta XP massa spectrometer die is uitgerust met een TC-EA pyrolyse oven. δ¹³C is geanalyseerd met een Thermo Finnigan Delta + massa spectrometer uitgevoerd met een GASBENCH II voorbereidingseenheid. Het gehalte ³H is kunstmatig verrijkt door electrolyse gedurende drie dagen met een specifieke verrijkingfactor. 5 ml van het verrijkte water is gebruikt voor de bereiding van ³H. Dit is over heet magnesium geleid en vervolgens toegevoegd aan etheengas, met een lage ³H-concentratie. Hieruit ontstaat ethaan (C₂H₆). Het gehalte ³H in het ethaan is bepaald in een proportionele gasteller. De resultaten van de isotopenanalyses zijn weergegeven in δ-eenheden. Deze zijn gedefinieerd als: δ(‰) = ((R_{sample}/R_{standard})-1) * 1000.

5 Meetresultaten

5.1 Verontreinigingsbron: lekkage riolering

Lekkage van rioolleidingen op een bepaalde locatie is veelal onbekend. Bovendien zal bij een eventuele lekkage het rioolwater vaak ook niet direct verticaal naar het grondwater inzijken. Om meer inzicht te krijgen in het voorkomen van lekkage en het gedrag van het rioolwater in de onverzadigde zone, is een onderzoek uitgevoerd in de gemeente Hilversum. De bodemopbouw is dusdanig dat eventuele lekkages zich verticaal naar beneden zullen verplaatsen. Ook is de grondwaterstand laag (ca. 8 m beneden maaiveld).

Tijdens vervangingswerkzaamheden is visueel beoordeeld of er sprake was van lekkage (verkleuring van het zand). Bij één van deze projecten zijn onder de overgangen tussen de rioolbuizen steekmonsters genomen. Het betreft een straatriolering in een vooroorlogse wijk (jaren '20-'30). De betonnen buizen bestaan uit segmenten van 1 m lengte. Het riool ligt op een diepte van ca. 2 m, de grondwaterstand dus 6 m dieper. Aangezien de bodem grof zandig is, het gehalte humus en lutum bedraagt ca. 2 mg/kg droge stof, wordt verondersteld dat de stroomrichting van het lekwater verticaal is. Zeer lokaal zouden kleine leemlaagjes de stroomrichting kunnen beïnvloeden. Er zijn daarom ook steekmonsters schuin naast de buis en tussen de overgangen van de segmenten genomen.

Het riool dat werd vervangen was bij de monsternamen nog in gebruik (restwater). Op alle onderzochte overgangen was verkleuring van het onderliggende zand opgetreden en werden steekmonsters verzameld voor microbiologische analyses op verschillende afstanden onder de rioolbuizen, zoals weergegeven in Figuur 5.1 en Figuur 5.2A.

Microbiologie

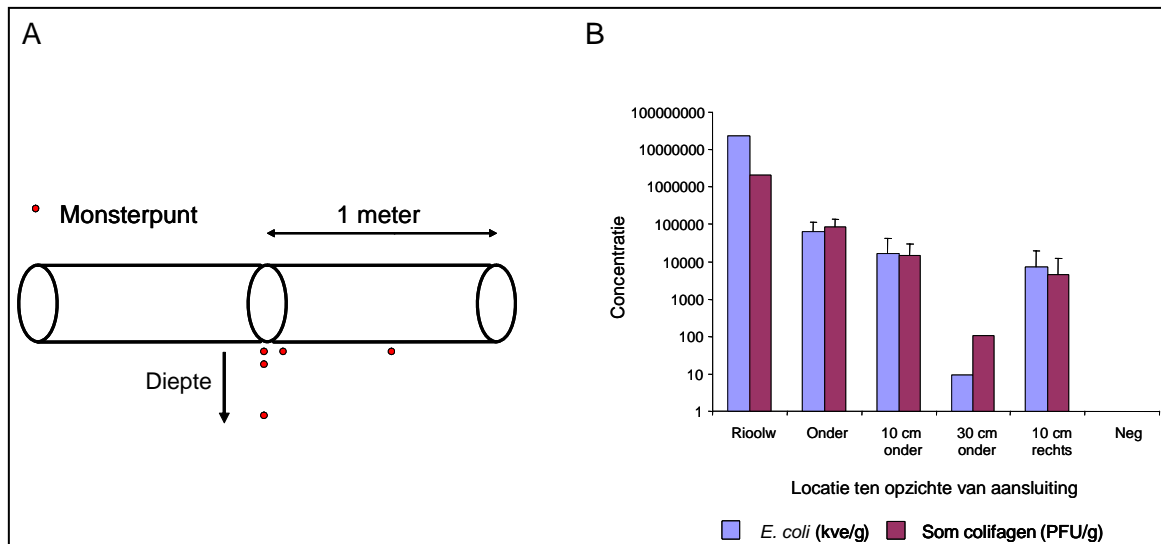
In alle monsters werden grote aantallen *E. coli*-bacteriën en somatische colifagen aangetroffen, behalve in het monster dat genomen was onder het midden van een rioolbuis en in het verder weg gelegen monster. Gemiddeld werden de concentraties *E. coli*-bacteriën en somatische colifagen lager naarmate de afstand tot de rioolbuis groter werd (Figuur 5.2B). Zowel in het rioolwater als in het sediment werden geen virussen aangetroffen, wat betekent dat de concentratie kleiner is dan 4 virus deeltjes per gram zand.

Interpretatie van de resultaten

Uit de resultaten blijkt dat er bij lekkage uitloging van microbiologische parameters naar de ondergrond optreedt. De uitloging is zeer lokaal (direct onder de buisovergangen), voor locaties met andere bodemeigenschappen zal de uitloging zich mogelijk ook meer in andere richtingen verspreiden. In de resultaten is een sterke afname van de aantallen *E. coli*-bacteriën en somatische colifagen met de diepte te zien, het aantal metingen is echter beperkt. Interessant zou zijn om meer groot volume monsters te nemen, ook op grotere diepte onder de buisovergangen. Bovendien is het van grote waarde om ook grondwatermonsters uit de verzadigde zone onder de rioolbuisovergangen te analyseren.



Figuur 5.1 Bemonstering grond onder lekkende riolering (Hilversum).



Figuur 5.1 Resultaten bemonstering bodem onder riolering (Hilversum).

Toelichting grafieken:

A: Schematische weergave van de monsterpunten ten opzichte van de overgangen tussen de rioolbuizen.

B: (Gemiddelde) concentraties *E. coli*-bacteriën (kve/l) en somatische colifagen (som colifagen; PFU/L).

5.2 Boxmeer

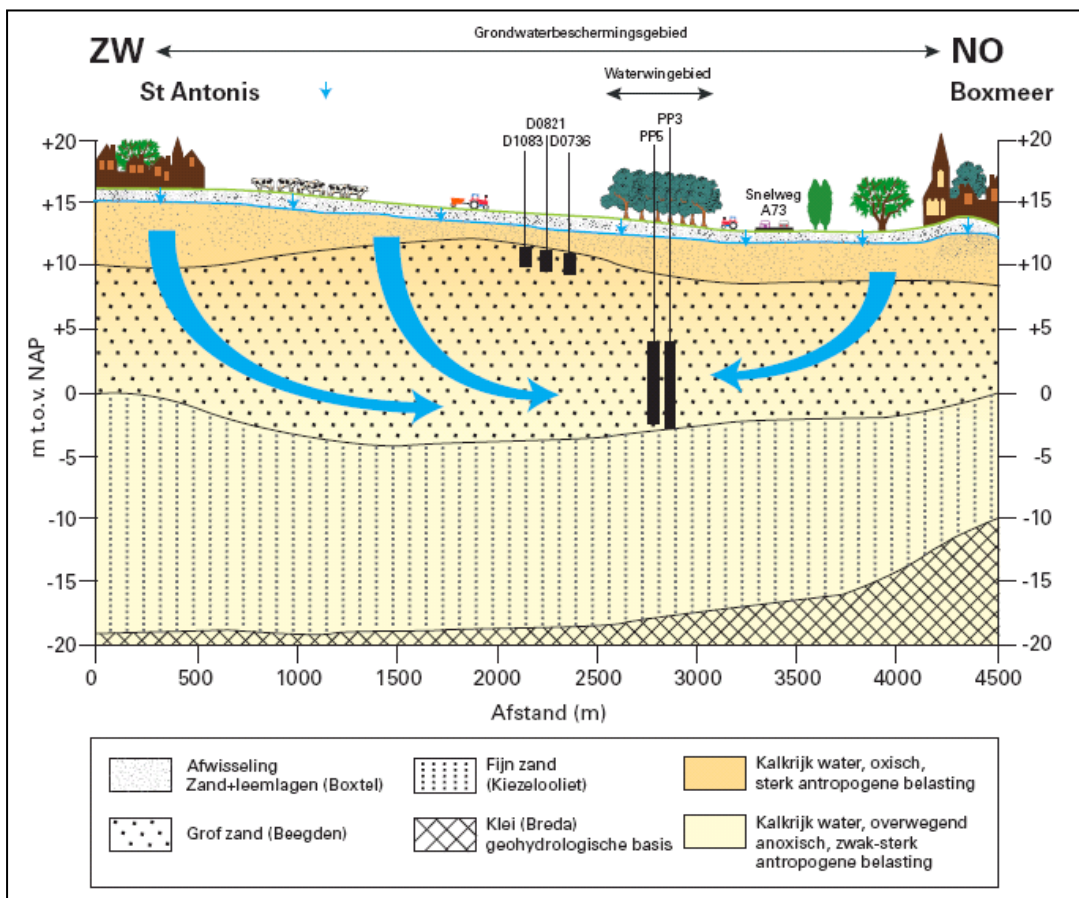
Boxmeer is een winning in het landelijk gebied (Figuur 5.3). Een mogelijke verontreinigingsbron vormt de uitspoeling van mest. Het gebied wordt getypeerd als een zogenaamd ‘broekgebied’. Van oudsher is het gebied zeer nat en zeer ijzerhoudend. Hierdoor waren er ijzerbanken in de bodem aanwezig, die in de afgelopen decennia omwille van de landbouw gebroken zijn. Plaatselijk zijn er nog restanten, waardoor er na hevige regenval enige tijd water op het land blijft staan. De eigenschappen van de bodem, zoals pH, redox en dikte van de onverzadigde zone, alsmede de verblijftijden van het grondwater zijn opgenomen in Tabel 3.1. Nadere achtergrondinformatie over de winning is opgenomen in Bijlage 3.

Microbiologie

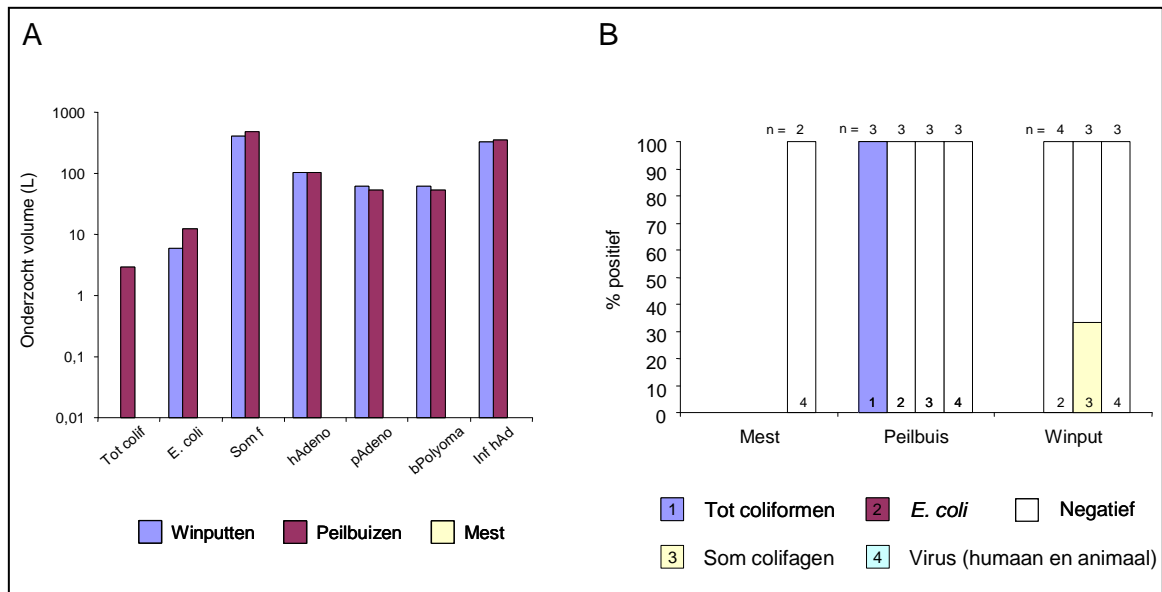
In Boxmeer zijn op drie verschillende dagen twee winputten bemonsterd en geanalyseerd op de aanwezigheid van indicatoren voor fecale verontreiniging. In geen van de zes monsters zijn *E. coli*-bacteriën aangetroffen. Echter, in twee van de zes monsters gaf de positieve controle onvoldoende kolonies, waardoor de (negatieve) uitslag van de hierbij behorende monsters onbetrouwbaar is geworden en uit de resultaten is verwijderd. Effectief is dus 6 liter grondwater onderzocht op de aanwezigheid van *E. coli*-bacteriën. De resultaten voor de indicatoren voor fecale verontreinigingen zijn weergegeven in Figuur 5.4.

Eén put is op drie verschillende dagen bemonsterd en gefiltreerd voor de analyse van somatische colifagen. In het concentraat van één van de drie monsters zijn somatische colifagen aangetroffen in een concentratie van 0,01 (0,0006 – 0,048) plaque vormende units per liter (PFU/L). Om de herkomst van eventuele fecale verontreiniging te kunnen bepalen, is in deze drie concentraten bepaald of humane adenovirussen, porcine adenovirussen en/of bovine polyomavirussen aanwezig waren. In geen van de monsters konden deze virussen met behulp van PCR worden aangetoond, wat betekent dat de concentratie van deze virussen in het grondwater < 0,05 PCR-detecteerbare eenheden per liter (PDU/L) was. In totaal is ruim 400 liter grondwater onderzocht op aanwezigheid van somatische colifagen, 60 tot 100 liter op aanwezigheid van humane of porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen en 330 liter op aanwezigheid van infectieus humaan adenovirus (Figuur 5.4).

In Figuur 5.5 zijn de meetresultaten voor de microbiologie kwalitatief weergegeven.



Figuur 5.3 Waterwingebied en grondwaterbeschermingsgebied Boxmeer.

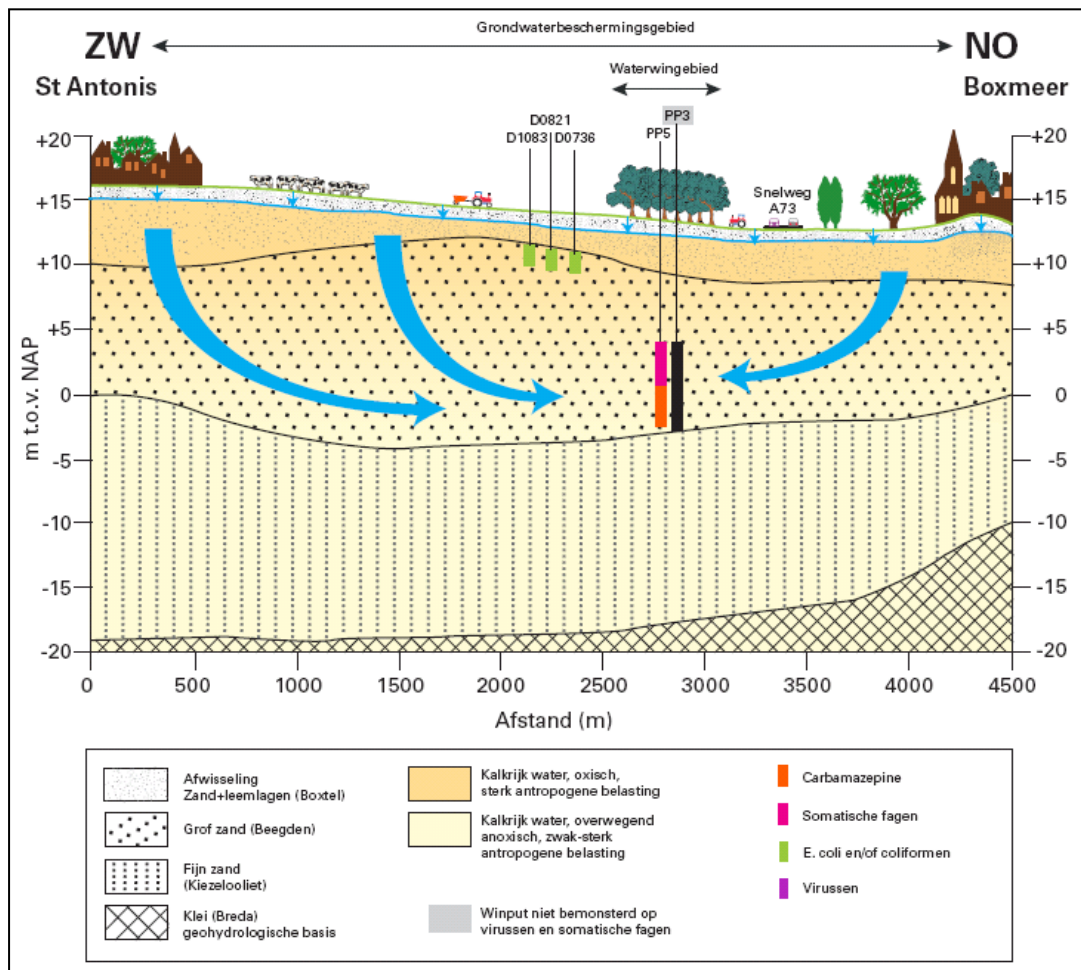


Figuur 5.4 Resultaten microbiologie monstername Boxtmeer.

Toelichting grafieken:

- A:** Totaal onderzocht volume monster uit winputten en waarnemingsputten opgesplitst per micro-organisme; bacteriën van de coligroep (Tot colif), *E. coli*, somatische colifagen (Som f), humaan adenovirus (hAdeno), porcine adenovirus (pAdeno), bovine polyoma virus (bPolyoma) en infectieus humaan adenovirus (Inf hAd).
- B:** Percentage positief gevonden monsters in de onderzochte bron, waarnemingsput en winput staat in kleur weergegeven per indicator; bacteriën van de coligroep (Tot coliformen), *E. coli*, somatische colifagen (som colifagen) en humane en animale virussen. Het percentage negatieve monsters is weergegeven in wit. Het aantal onderzochte monsters staat boven de balken in de grafiek weergegeven.

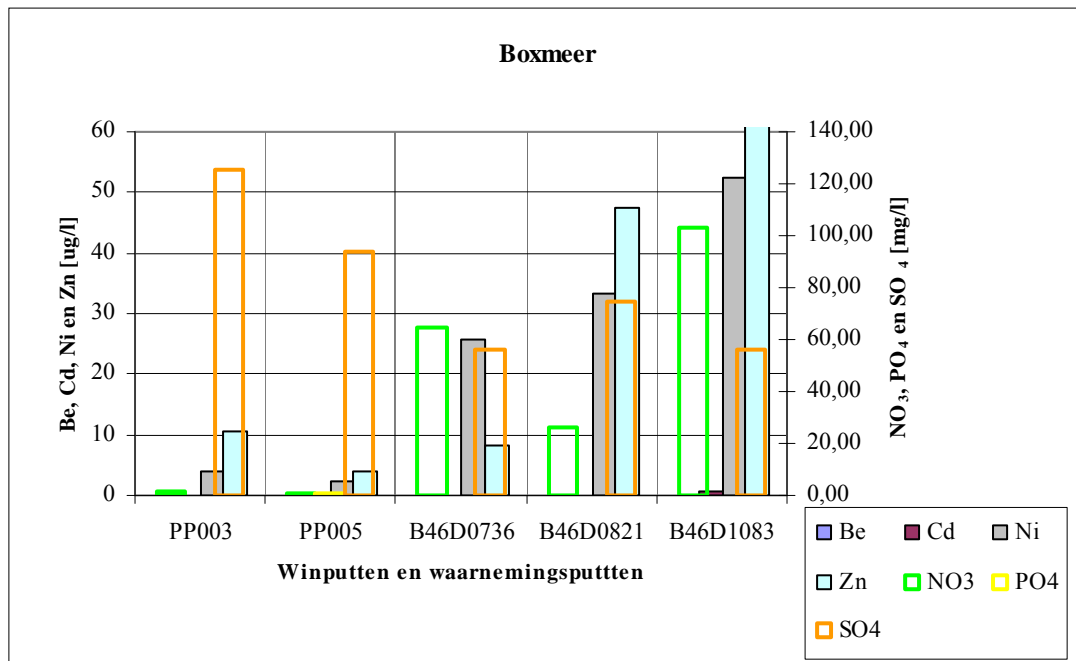
Om het effect van potentiële verontreinigingsbronnen op de kwaliteit van het ondiepe grondwater in de stroombaan van de bron naar de winput te kunnen bepalen, zijn vervolgens drie waarnemingsputten in de nabijheid van mogelijke verontreinigingsbronnen bemonsterd. Als indicator voor fecale verontreiniging zijn, naast *E. coli* en somatische colifagen, tevens bacteriën van de coligroep bepaald. In de drie waarnemingsputten zijn alleen bacteriën van de coligroep aangetroffen in concentraties van 6,4 tot 228 kve/L (Bijlage 5). Dit resultaat moet met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, aangezien deze waarnemingsputten niet zijn ingericht voor microbiologische bemonstering. In volumes die varieerden van 2,5 tot 5 liter zijn geen *E. coli*-bacteriën aangetroffen en in volumes van 105 tot 196 liter, geen somatische colifagen. Concentraties *E. coli* zijn dus < 0,4 kve/L en somatische colifagen < 0,01 PFU/L. Humane adenovirussen, porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen waren met PCR niet detecteerbaar in volumes van 10 tot 43 liter per watermonster, infectieuze adenovirussen waren niet detecteerbaar in volumes van 104 tot 141 liter. Omdat bemesting en afspoeling van mest voor deze landelijke winning een potentiële verontreinigingsbron is, zijn twee mestmonsters verzameld van lokale melkveebedrijven en onderzocht op de aanwezigheid van bovine polyomavirussen. Dit virus is in beide mestmonsters niet aangetroffen (Figuur 5.4).



Figuur 5.5 Grafische weergave meetresultaten Boxmeer.
De kleuring geeft aan dat een parameter één of meerdere keren is aangetroffen. De kleuring doet geen uitspraak over de hoogte van het meetresultaat.

Macrochemie

In figuur 5.6 zijn de analyseresultaten van de macroparameters weergegeven. De grafiek laat zien dat het nitraatgehalte hoog is in het ondiepe grondwater van de waarnemingsputten door de invloed van vermisting. Het nitraat is echter afwezig in de winputten, terwijl het sulfaatgehalte hoger is dan in de waarnemingsputten. Dit kan wijzen op oxidatie van pyriet met een toename van de hardheid en een afname van de pH tot gevolg. Deze pH-verlaging is echter niet direct zichtbaar in de meetresultaten. De pH in de waarnemingsputten en in de winputten is van dezelfde orde grootte en varieert rondom 7. Een lage pH (< 7) wordt beschouwd als een van de factoren die bijdraagt aan hechting van virussen aan de bodem en dus aan verwijdering van het virus (Van der Wielen et al., 2006). Opvallend is verder dat in PP005 bij alle bemonsteringen carbamazepine is aangetroffen, in zeer lage gehalten, juist boven de detectielimiet (1-3 ng/l). In dezelfde winput zijn bij één van de bemonsteringen somatische fagen aangetroffen in een concentratie van 0,01 (0,0006 – 0,048) PFU/L.



Figuur 5.6 Metalen en macroparameters winning Boxmeer in winputten (codering met PP..) en waarnemingsputten (codering met B..P....).

Leeftijd van het onttrokken water: responscurves

Voor de winning Boxmeer zijn door Brabant Water responscurves aangeleverd (Bijlage 3). In de responscurves is voor de verzadigde zone berekend welk percentage van het onttrokken grondwater jonger is dan een bepaalde leeftijd. Het transport door de onverzadigde zone is niet meegerekend.

De totale responscurve is weergegeven in Figuur B3.2a. De afzonderlijke putten vertonen een afwijkende respons, maar mediane en kortste verblijftijden zijn nauwelijks verschillend. Uit Figuur B3.2a blijkt dat de berekende mediane verblijftijd circa 10 jaar bedraagt. Hoewel de berekeningen bij korte verblijftijden onbetrouwbaarder worden (de gebruikte modelschematisatie is hiervoor wat grof), is als indicatie ook het berekeningsresultaat over de eerste 100 dagen weergegeven in Figuur B3.2b. Deze laat zien dat circa 2% van het onttrokken water jonger is dan 100 dagen en circa 1% jonger dan 60 dagen. Ongeveer 5% van het onttrokken water is jonger dan een jaar. Juist in de directe omgeving van de pompputten hebben de modelberekeningen de meeste last van het discrete karakter van de modelschematisatie (100 x 100 m). Door Brabant Water is daarom een eigen inschatting gemaakt van de verticale reistijd van het jongste water in de directe omgeving van de winput. Op basis van het potentiaalverschil en de weerstand is de minimale reistijd geschat op 100 tot 300 dagen.

In voldoende hoge concentraties kunnen virussen in de bodem na 1-2 jaar nog aantoonbaar zijn. Onthechting speelt minder een rol van betekenis hierbij.

Sporenelementen en isotopen

De invloed van landbouw is duidelijk zichtbaar in de kwaliteit van het onderzochte ondiepe grondwater, met hoge concentraties nitraat, nikkel, sulfaat, kalium en hardheid.

Het onttrokken water uit de winputten bevat echter geen nitraat als gevolg van:

- het ontbreken van landbouw in de directe omgeving van het puttenveld;
- de reducerende werking van de bodem door de aanwezigheid van organische stof en/of pyriet;
- het effect van verdunning door menging met ouder grondwater.

De invloed van oppervlaktewater, zichtbaar in de aanwezigheid van carbamazepine in het onttrokken water, is waarschijnlijk dusdanig klein dat er geen significante verhoging van andere kenmerkende parameters optreedt.

Interpretatie van de resultaten

In de twee bemonsterde winputten van Boxmeer zijn éénmaal somatische colifagen aangetroffen waarvan onduidelijk is of deze afkomstig waren van humane en/of animale bronnen. Er zijn in de onderzochte volumes geen adeno- of polyomavirussen aangetroffen waarmee met meer zekerheid uitspraken hadden kunnen worden gedaan over de herkomst van de aangetroffen somatische fagen. In dezelfde winput (PP005) is ook bij alle bemonsteringen carbamazepine aangetroffen, maar wel in zeer lage concentraties. De carbamazepine zou kunnen duiden op humane bronnen dus in dit geval op infiltratie van oppervlaktewater.

Net buiten de begrenzing van het waterwingebied, aan de noordnoordwestelijke zijde, loopt de Oploesche Molenbeek vanuit de richting St. Anthonis/Oploo. Via deze beek kan in droge perioden water in het gebied ingelaten worden. Dit water wordt via het Peelkanaal aangevoerd en is afkomstig van de Maas. De aanvoer is voor de zeer droge periodes te gering, dan komt de beek droog te staan.

Van Maaswater is bekend dat het rijk is aan medicijnresten en virussen en bacteriën (Versteegh et al., 2007; De Roda Husman en Ketelaars, 2004). Bij analyse van Maaswater in groot volume (600 L) zijn somatische fagen aangetroffen in concentraties van 17000 (15000-190000) PFU/L (De Roda Husman en Ketelaars, 2004) en adenovirussen in concentraties van 110 – 50000 PDU/L (Rutjes en De Roda Husman, 2007). Aangezien de Maas verder weg ligt van het onttrekkingspunt dan de Oploesche Molenbeek zijn hiervoor geen berekeningen uitgevoerd. Carbamazepine is bij Heel aangetroffen in gehalten van 39 – 138 ng/L.

De herkomst van de sporen van carbamazepine zou hiermee verklaard kunnen worden, de herkomst van de aangetroffen somatische fagen mogelijk ook. Door de afwezigheid van adeno- en polyomavirussen in mest is niet te zeggen of de somatische fagen mogelijk afkomstig waren uit mest. Echter, gezien de verwijdering van bacteriofagen in de studie te Solleveld (Nobel et al., 2006) is anderhalve meter onverzadigde zone te overbruggen door virussen vanuit mest. Put PP005 ligt van de bemonsterde putten het dichtst bij de Oploesche Molenbeek. Put PP006 ligt er nog dichterbij maar is niet onderzocht. De aanwezigheid van somatische fagen geeft aan dat virussen worden verwijderd tijdens bodempassage tot het niveau van 0,01 (0,0006 – 0,048) PFU/L. Het verschil in concentraties somatische fagen tussen put PP005 en Maaswater bedraagt ongeveer 5^{10} log. De bijdrage van infiltrerend water wordt, op basis van de carbamazepineconcentraties in PP005 en het Maaswater bij Heel, ingeschat op 1 – 5 %. De verdunningsfactor ligt dus tussen 20 – 70. De resterende verwijdering van virussen door bodempassage kan worden toegeschreven aan inactivatie en/of hechting.

Tabel 5.1: Berekende concentraties somatische fagen (vetgedrukt) in bron of put

Lokatie	Bron	α	C_{bron} (N/l)	C_{put} (N/l)	q (m ³ /d)	h (m)	r (m)	T (d)	vz (m)	Verd. Factor
Boxmeer	Oploosche Molenbeek	10^{-5}	4×10^7	0.01	2880	23	265	616	1.5	20
Goor	Sloot	10^{-5}	0,6	0.01	480	49	20	45	1	15
		10^{-4}	10							
		10^{-3}	$2,3 \times 10^{13}$							
Goor	Lekkend riool	10^{-5}	$3,6 \times 10^{23}$	0.01	480	49	130	1897	1	q
			10^8				75			
Zutphen	Zuiderpark-plas	10^{-5}	$1,2 \times 10^2$	10^{-15}	2400	30	300	1237	4.3	10
Zutphen	Lekkend riool		10^8	4×10^{-12}	2400	30	300	1237	4.3	q
Zwijndrecht	Oude Maas	10^{-3}	1110	$2,3 \times 10^{-4}$	360	12	20	15	4.3	0.95

Toelichting: α = sticking efficiency (hechting); C_{bron} en C_{put} is de gemeten concentratie somatische fagen in de bron, respectievelijk winput. **Vetgedrukt** is de berekende waarde; q = pompdebiet; h = dikte watervoerend pakket; r = radiale afstand; T = reistijd; vz = dikte onverzadigde zone.

Berekend is vervolgens of de aangetroffen somatische fagen afkomstig kunnen zijn uit de geïdentificeerde verontreinigingsbronnen. In Tabel 5.1 zijn de resultaten van de modelberekeningen samengevat (vetgedrukt). Indien al het gebiedsvreemde water van de Oploosche Molenbeek afkomstig zou zijn (hetgeen onwaarschijnlijk is), in combinatie met de laagst mogelijke verdunningsfactor en de laagste waarde voor hechting, dan zouden er in de verontreinigingsbron (Oploosche Molenbeek) 4×10^7 fagen per liter aanwezig moeten zijn. Dit is ongeveer de concentratie die in ongezuiverd rioolwater kan worden aangetroffen, maar niet in oppervlaktewater. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat de Oploosche Molenbeek de aangewezen verontreinigingsbron is. De aangetroffen carbamazepine zou echter wel afkomstig kunnen zijn van de Oploosche Molenbeek.

Het ondiepere grondwater van de drie waarnemingsputten toont duidelijk invloeden van vermesting. Hierin zijn echter geen van de onderzochte virussen aangetroffen en geen carbamazepine. Ook in de twee mestmonsters (de potentiële verontreinigingsbron) zijn geen virussen aangetroffen.

Een andere mogelijke verklaring voor het aantreffen van somatische fagen en dus voor fecale verontreiniging in de winput, is het falen van de infrastructuur. Een goede afwerking van de winputten is van belang, om te voorkomen dat water vanaf maaiveld via putwand/boorgat naar het grondwater kan stromen. In de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (Inspectierichtlijn 5318) komt het onderwerp integriteit van de winmiddelen ook aan de orde. Om echter vast te kunnen stellen of er daadwerkelijk sprake zou zijn van een falende integriteit, zijn uitgebreidere, aanvullende gegevens nodig.

5.3 Goor

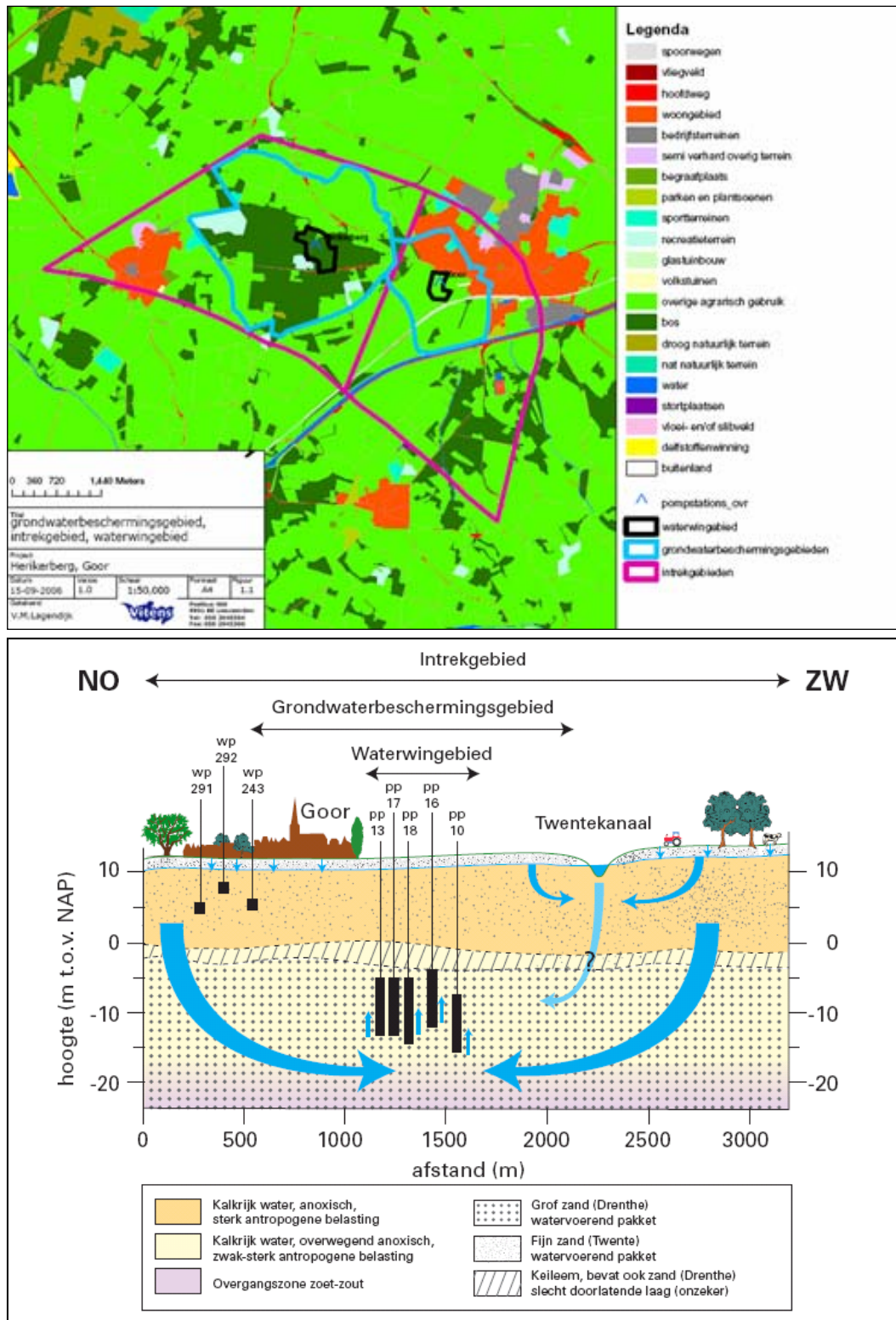
De winning in Goor wordt aan de noordoostelijke zijde begrensd door bebouwd gebied en aan de andere zijdes door landelijk gebied (Figuur 5.7). Het Twentekanaal loopt langs de zuidzijde van het grondwaterbeschermingsgebied. De Boven Regge loopt langs de noordzijde van de gemeente Goor en bevindt zich aan de rand van het intrekgebied van de winning Goor. Mogelijke verontreinigingsbronnen voor de winning in Goor vormen lekkende riolering vanuit het bebouwd gebied, infiltratie van de Boven-Regge en het Twentekanaal. De Rwzi Goor loost effluent op de Holddijkse Beek. De Holddijkse Beek stroomt uit op de Boven-Regge. De Boven-Regge stroomt in noordwaartse richting. Gelet op de afstand tot de winning lijkt de bijdrage door infiltratie van de Holddijkse Beek en/of de Boven-Regge minimaal. Het Twentekanaal, dat de IJssel en de regio Twente verbindt, wordt van beide zijden gevoed met water waarop meerdere (grote) effluentlozingen plaatsvinden (> 150000 i.e.). In de zomermaanden wordt, ter bestrijding van verdroging, water uit het Twentekanaal ingelaten in het grondwaterbeschermingsgebied. Dit infiltreert ook in het waterwingebied. De bijdrage van deze infiltratie aan de grondwaterbalans voor het intrekgebied is door Vitens ingeschat op 10%. De eigenschappen van de bodem, uitgedrukt in verblijftijd, pH, redox en dikte van de onverzadigde zone, zijn opgenomen in Tabel 3.1. Nadere achtergrondinformatie over de winning is opgenomen in Bijlage 2.

Microbiologie

In Goor zijn vijf winputten geanalyseerd op de aanwezigheid van *E. coli* en twee van deze winputten ook op aanwezigheid van somatische colifagen. Putten zijn één, twee of drie keer bemonsterd. In geen van de putten is *E. coli* aangetroffen in 1,5 liter water ($< 0,67$ kve/L). Somatische colifagen zijn in beide bemonsterde putten bij één van de drie bemonsteringen aangetroffen in concentraties van respectievelijk 0,014 (0,0023 – 0,042) PFU/L en 0,0087 (0,0005 – 0,038) PFU/L (Bijlage 5). Humane adenovirussen, porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen waren met PCR niet detecteerbaar in volumes van 11 tot 104 liter water. In totaal is ruim 900 liter grondwater onderzocht op aanwezigheid van somatische colifagen, 180 tot 350 liter op aanwezigheid van humane of porcine adenovirussen en bovine polyomavirus en 740 liter op aanwezigheid van infectieus humaan adenovirus (Figuur 5.8).

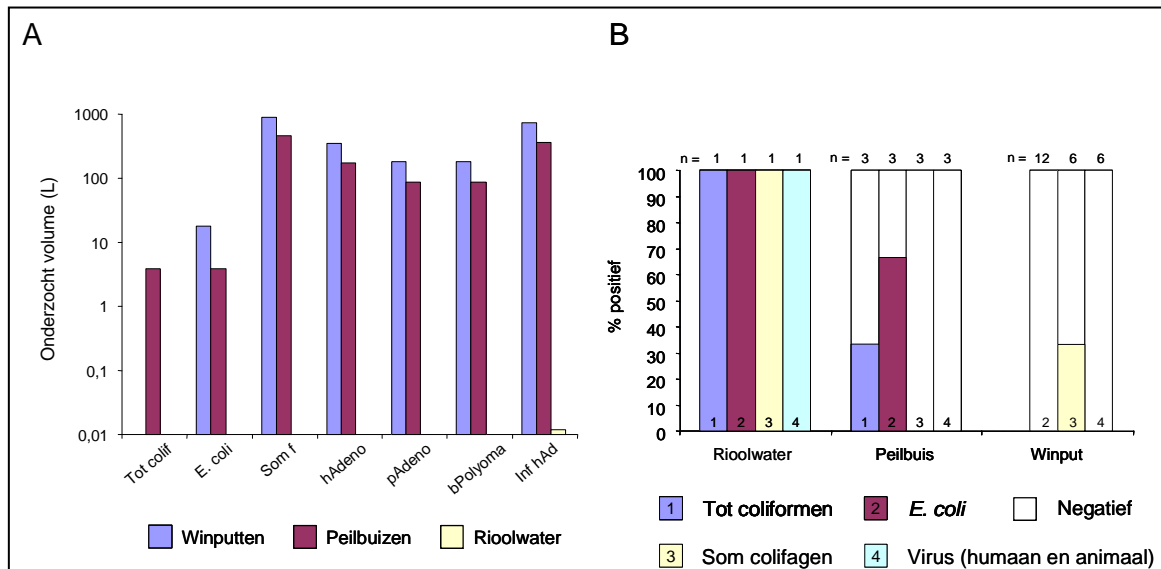
Net als in Boxmeer zijn ook in Goor drie waarnemingsputten bemonsterd om te bepalen of microbiologische verontreinigingsbronnen de kwaliteit van het ondiepe grondwater in de stroombaan naar de winputten, aantoonbaar beïnvloeden. Indicatoren van fecale verontreiniging zijn in alle drie de waarnemingsputten aangetroffen; in twee putten is *E. coli* aangetroffen in een concentratie van 0,67 (0,38 – 2,9) kve/L, in de derde put zijn bacteriën van de coligroep aangetroffen in een concentratie van 29,5 (19,9 – 41,8) kve/L. Laatstgenoemde resultaten moeten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden, aangezien deze waarnemingsputten niet zijn ingericht voor microbiologische bemonstering. Somatische colifagen zijn niet aangetroffen in volumes van 100 tot 205 liter, waardoor de concentratie in de waarnemingsputten $< 0,01$ PFU/L was. Humane en porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen waren met PCR niet detecteerbaar in volumes van 24 tot 67 liter water, en de concentratie was dus $< 0,04$ PDU/L.

Omdat het waterwingebied in Goor onder invloed staat van stedelijk afvalwater is eenmalig de rwzi van Goor bemonsterd. Zoals verwacht waren indicatoren van fecale verontreiniging in hoge concentraties aanwezig; bacteriën van de coligroep, *E. coli*, en somatische colifagen waren in concentraties van $> 10^8$ kve/L en PFU/L aanwezig. De herkomst van fecale verontreiniging bleek met name humaan en bovine te zijn; 1×10^6 PDU/L voor humane adenovirussen en 4×10^5 PDU/L voor bovine polyomavirussen. Vergelijking van de concentraties *E. coli* en somatische colifagen in de bron met de maximale concentraties die zijn gevonden in de winputten laat



Figuur 5.7 Waterwingebied en grondwaterbeschermingsgebied Goor.

zien dat het verschil in concentratie van deze micro-organismen tussen bron en winning minimaal $8 \log^{10}$ is en verschil van virussen minimaal $6 \log^{10}$.



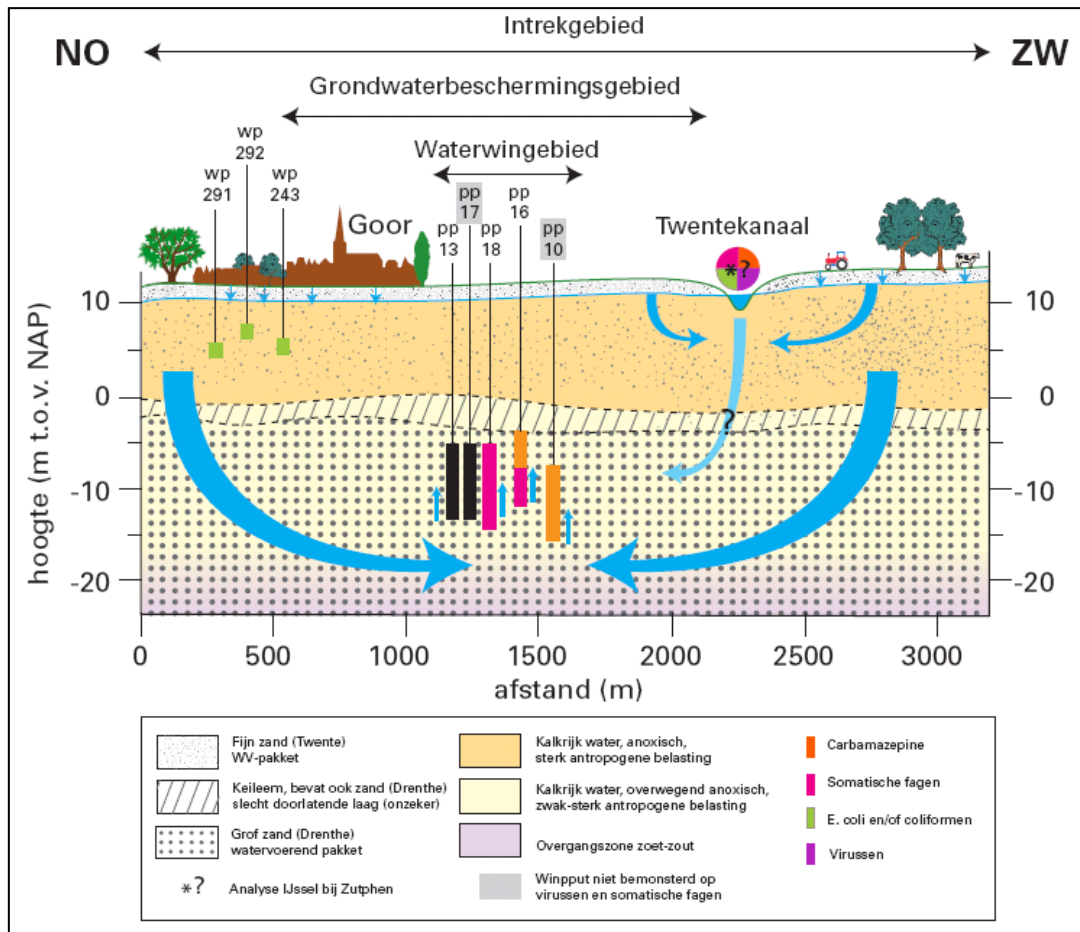
Figuur 5.8 Resultaten microbiologie monstername Goor.

Toelichting grafieken:

- A:** Totaal onderzocht volume monster uit winputten en waarnemingsputten opgesplitst per micro-organisme; bacteriën van de coligroep (Tot colif), *E. coli*, somatische colifagen (Som f), humaan adenovirus (hAdeno), porcine adenovirus (pAdeno), bovine polyomavirus (bPolyoma) en infectieus humaan adenovirus (Inf hAd).
- B:** Percentage positief gevonden monsters in de onderzochte bron, waarnemingsput en winput staat in kleur weergegeven per indicator; bacteriën van de coligroep (Tot coliformen), *E. coli*, somatische colifagen (som colifagen) en humane en animale virussen. Het percentage negatieve monsters is weergegeven in wit. Het aantal onderzochte monsters staat boven de grafiek weergegeven.

Macrochemie

In Figuur 5.9 zijn de meetresultaten voor de microbiologie en de chemische tracers, cafeïne en carbamazepine, kwalitatief weergegeven. In Figuur 5.10 zijn de analyseresultaten van de macroparameters weergegeven. De grafiek is beperkt tot de parameters die relevant zijn voor lekkage van riolering en infiltratie van oppervlaktewater (zie ook Tabel 2.3). Carbamazepine wordt in de winputten wel aangetroffen en in de waarnemingsputten niet. Cafeïne wordt daarentegen in alle waarnemingsputten aangetroffen en maar in enkele winputten. Mogelijk zijn er geen gebruikers van carbamazepine in de betreffende straat. Daarnaast wijzen ook de analyses van Ca, Sr en $\delta^{34}\text{S}$ (zie 'Isotopen en sporenelementen') op kwaliteitsbeïnvloeding door verstedelijking.



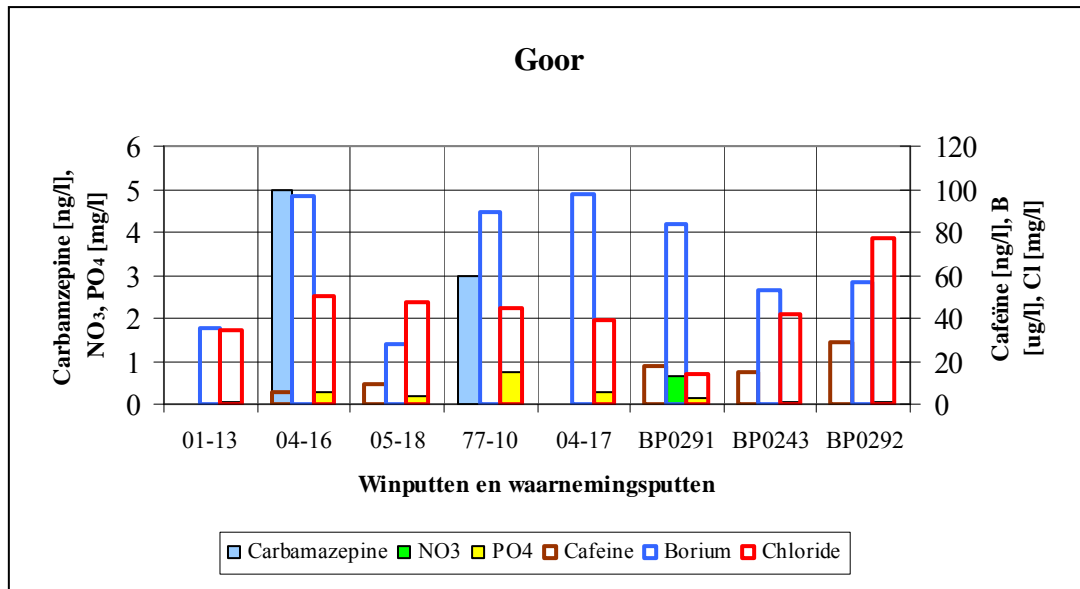
Figuur 5.9 Grafische weergave meetresultaten Goor.
 De kleuring geeft aan dat een parameter één of meerdere keren is aangetroffen. De kleuring doet geen uitspraak over de hoogte van het meetresultaat.

Leeftijd van het onttrokken water: responscurves

Voor de winning Goor zijn door Vitens responscurves aangeleverd (Bijlage 2). In de responscurves is voor de verzadigde zone berekend welk percentage van het onttrokken grondwater jonger is dan een bepaalde leeftijd. Niet alle huidige winputten zijn gemodelleerd in het grondwatermodel van het waterleidingbedrijf omdat een aantal putten jonger is dan het grondwatermodel zelf. De responscurves zijn dan ook niet voor alle onderzochte winputten beschikbaar.

De totale responscurve is weergegeven in Figuur B2.3a. De totale berekende mediane verblijftijd bedraagt 30 jaar. De responscurves van de individuele putten blijken aanzienlijk onderling te verschillen. De berekende mediane verblijftijd varieert tussen 9 en 30 jaar. Van de bemonsterde winputten in het hier beschreven onderzoek was alleen van put 10 een responscurve beschikbaar. Deze laat zien dat circa 25% van het onttrokken water jonger is dan 10 jaar. De mediane verblijftijd is circa 30 jaar en de maximale verblijftijd circa 120 jaar. De responscurve van put 4, die zich in de buurt van de bemonsterde winputten 13 en 18 bevindt, heeft het jongste water: circa 60% van het onttrokken water is jonger dan 10 jaar. Het aandeel onttrokken grondwater dat jonger is dan 1 jaar wordt geschat op maximaal enkele procenten (5%). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat deze verblijftijden

moeten worden beschouwd als grove indicatie aangezien het model niet opgezet is om dergelijke gedetailleerde berekeningen te doen.



Figuur 5.10 Tracers en macroparameters winning Goor in winputten (codering jaartal-nr) en waarnemingsputten (codering BP....).

Sporenelementen en isotopen

De kwaliteit van het grondwater in Goor wordt beïnvloed door landbouw (westelijk), oppervlaktewater (zuidoostelijk) en verstedelijking (noordwestelijk deel van de winning). Alhoewel deze verontreinigingsbronnen op verschillende plaatsen zijn gesitueerd, wordt de kwaliteit van het grondwater door een combinatie van deze bronnen beïnvloed. Afhankelijk van de ligging van de winput is één van de verontreinigingsbronnen meer of minder bepalend. Bij de analyse van de meetresultaten van isotopen en sporenelementen kon onderscheid worden gemaakt tussen een drietal groepen (Figuur 5.11):

1. Westelijke putten onder invloed van landbouw:
De invloed van landbouw is relatief sterker in de westelijke putten, met hoge concentraties sulfaat, kalium, hardheid. Er is geen nitraat in het onttrokken water meer aanwezig, als gevolg van omzetting in de bodem door organische stof of pyriet. De negatieve waarden voor $\delta^{34}\text{S}$ wijzen wel op het optreden van pyrietoxidatie. De invloed van verstedelijking is in deze groep weliswaar aanwezig, maar niet significant. De invloed van oppervlaktewater (Twentekanaal) is in deze groep alleen zichtbaar in winput 12, met een relatief lage Ca/Sr-verhouding.
2. Zuidoostelijke putten onder invloed van oppervlaktewater:
De grondwaterkwaliteit in de zuidoostelijke putten staat ook onder invloed van landbouw, maar vooral ook onder invloed van oppervlaktewater. Dit is zichtbaar in de lagere Ca/Sr-verhouding (Sr is veel hoger in oppervlaktewateren), de hogere Br-concentraties en de $\delta^{34}\text{S} > 6$. Deze putten hebben ook de hoogste boriumconcentraties. Deze concentraties kunnen van nature hoog zijn, maar ook een indicatie vormen voor de invloed van oppervlaktewater en/of verstedelijking.

3. Noordoostelijke putten onder invloed van verstedelijking:
De noordoostelijke putten staan het meest onder invloed van verstedelijking (Goor). De kwaliteit van het grondwater in deze winput is vergelijkbaar met de waarnemingsputten in het stedelijk gebied. Ook hier worden positieve waarden voor $\delta^{34}\text{S}$ aangetroffen. Kwantificering van de invloed van verstedelijking is op grond van de beschikbare gegevens niet mogelijk.

Interpretatie van de resultaten

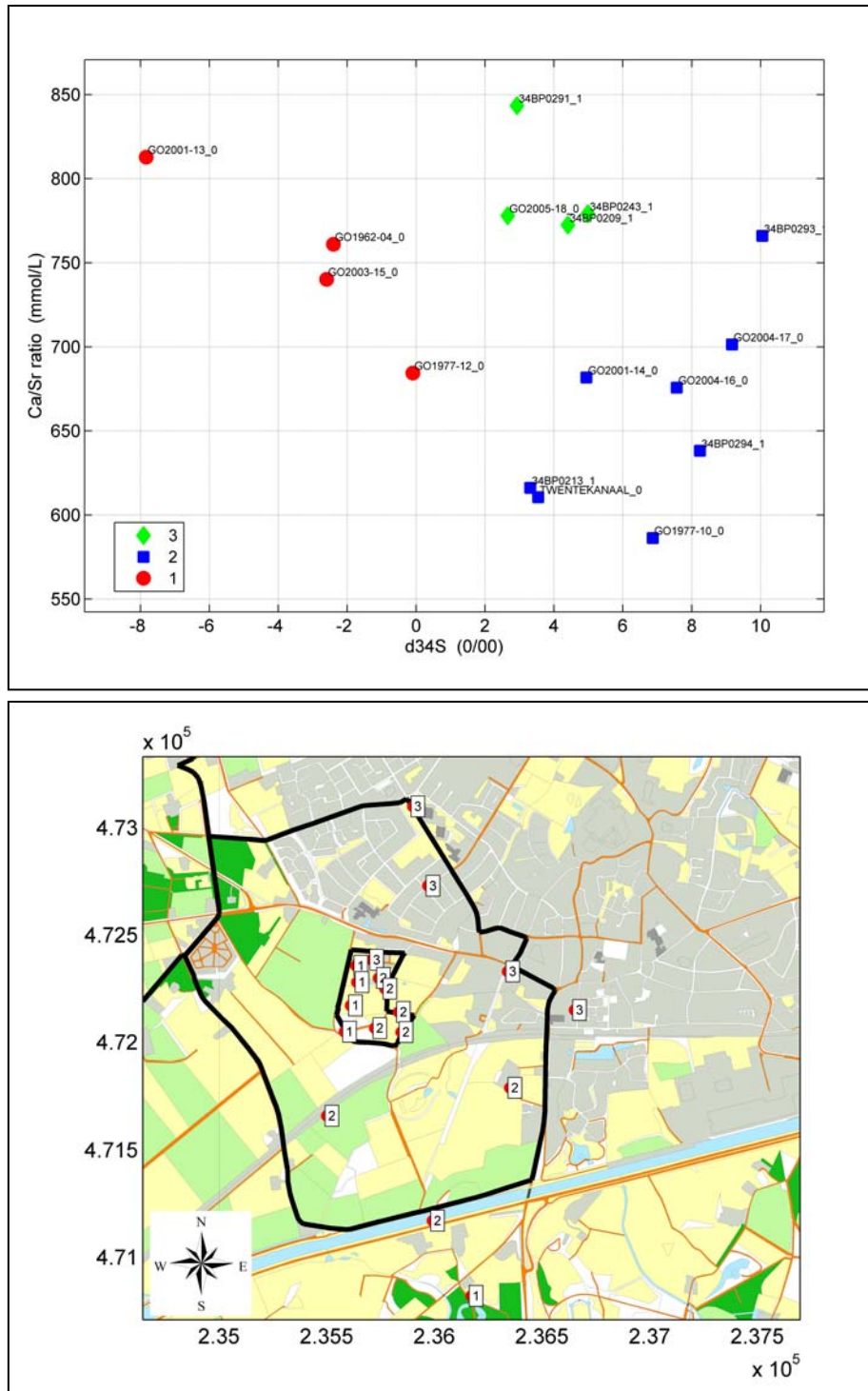
In de twee daarop onderzochte winputten van de winning Goor zijn in beide putten éénmalig somatische fagen in het monster gedetecteerd. In deze putten is ook carbamazepine en/of cafeïne aangetroffen. Het is echter niet zo dat in alle overige putten waarin carbamazepine en/of cafeïne is waargenomen, sporen van fecale verontreiniging zijn aangetroffen. In deze putten is echter alleen de aanwezigheid van *E. coli* onderzocht.

In Bijlage 2 (Figuren B2.1 en B2.2) zijn de stroombanen en verblijftijden van het grondwater in het intrekgebied weergegeven. De bemonsterde waarnemingsputten liggen in de stroombaan van het bebouwd gebied, met mogelijk lekkende riolering of andere potentiële verontreinigingsbronnen, naar de noordnoordwestelijke winputten. Zowel uit de gemeten microbiologische parameters, als uit de chemische parameters blijkt niet dat er sprake is van verontreiniging van rioolwater of infiltratie van de Regge uit deze richting. Van microbiologische parameters zou nog verondersteld kunnen worden dat deze door inactivatie en hechting zijn gereduceerd tot onder de detectielimiet, maar de gemeten chemische parameters betreffen conservatieve stoffen (cafeïne in mindere mate). Dit betekent niet dat er geen stoftransport kan plaatsvinden vanuit het stedelijk gebied, maar wel dat de emissies op dit moment waarschijnlijk beperkt zijn. Ook uit de $\delta^{34}\text{S}$ -waarde en Ca/Sr-verhouding blijkt dat de grondwaterkwaliteit in de noordelijke onttrekkingsput GO2005-18 en waarnemingsputten wordt beïnvloed door stedelijke emissies, maar lekkage van rioleringen kan niet bevestigd worden aan de hand van de beschikbare gegevens. Het meest nabijgelegen riool te Goor ligt op een afstand van 130 meter van de winput (Tabel 5.1). Ook op basis van de meest behoudende berekening is het uitgesloten dat dit een potentiële verontreinigingsbron van virussen is voor het grondwater in de winputten. Een lekkend riool op een afstand van ongeveer 75 m zou volgens de berekening dit wel kunnen zijn.

In de boriumgehalten lijkt een ruimtelijk patroon zichtbaar: de winputten met de hogere gehalten liggen aan de zuidzuidoostelijke zijde van het waterwingebied, de winputten met de lagere gehalten aan de noordnoordwestelijke zijde. Bij de putten met lagere boriumgehalten zijn geen sporen van carbamazepine en soms sporen van cafeïne aangetroffen.

Het ruimtelijk patroon lijkt te kunnen worden verklaard door de inlaat van water uit het Twentekanaal. Het ingelaten water kan via een tweetal kleinere verdeelkanalen in het waterwingebied infiltreren (Bijlage 2, Figuur B2.4). Juist de winputten waarin carbamazepine is aangetroffen, liggen vlak langs deze infiltratiekanalen. In twee van deze winputten zijn eenmaal somatische fagen aangetroffen. De aanwezigheid van somatische fagen en virussen is in de overige winputten niet onderzocht. In het grondwatermodel en de daarmee berekende responscurves, zijn de infiltratiekanalen in het waterwingebied niet meegenomen in de schematisatie. Uit de gemeten $\delta^{34}\text{S}$ -waarde en Ca/Sr-verhouding blijkt ook dat de zuidzuid-oostelijke putten worden beïnvloed door oppervlaktewater. Er kan echter niet eenduidig uit de data worden afgeleid of het oppervlaktewater via de kleine verdeelkanalen in het waterwingebied infiltreert of dat dit 'direct' vanuit het Twentekanaal plaatsvindt.

Uit de berekeningen volgt dat, indien er weinig hechting van virussen in de bodem plaatsvindt, de kleine verdeelkanalen een verontreinigingsbron van betekenis kunnen zijn. Echter virusconcentraties in deze kanalen zijn niet onderzocht om dit te onderbouwen. Het Twentekanaal ligt op 940 meter afstand en is daarom geen directe verontreinigingsbron van betekenis.



Figuur 5.11 Indeling winputten naar 'dominante' verontreinigingsbron, op basis van $\delta^{34}S$ en Ca/Sr-verhouding: 1: Landbouw; 2: Oppervlaktewater; 3: Verstedelijking.

De resultaten van het meetprogramma dat in 2006 is uitgevoerd door het waterleidingbedrijf voor de individuele winputten zijn ook nagelopen op bijzonderheden. In de winputten 77-10, 77-12 en 04-17 is bentazon aangetroffen in gehalten hoger dan de detectielimiet (0,01 µg/l), maar ruim onder de drinkwaternorm (0,1 µg/l). Al deze putten liggen aan de zuidzijde van het waterwingebied en liggen op korte afstand van de verdeelkanalen. In winput 77-10 is ook MCPP aangetroffen, ook in een zeer lage concentratie. Andere antropogene stoffen zoals organochloorverbindingen, MTBE en bestrijdingsmiddelen, zijn niet aangetroffen in concentraties boven de detectielimiet en kunnen dus niet worden gebruikt voor tracerings van de herkomst van het grondwater.

Hoeveel oppervlaktewater daadwerkelijk infiltreert naar het grondwater binnen het intrekgebied is dus nog niet berekend, maar wordt door Vitens geschat op ongeveer 10%. Op basis van de carbamazepineconcentraties in de winputten en het Twentekanaal (meting Zutphen, IJssel en jaargemiddelde Lobith, 2004 en 2005 (informatie RIWA)) wordt de bijdrage van infiltratie aan de grondwaterbalans geschat op 4-6%. De verdunningsfactor ligt dus tussen 15 en 25.

5.4 Zutphen

De winning Zutphen wordt omsloten door stedelijk gebied. Verder ligt aan de oostzijde een visvijver (Zuiderparkplas) en aan de westzijde de IJssel (Figuur 5.12). De grondwaterstroming is overwegend van oost naar west, de IJssel werkt daarbij meestal drainerend. De Zuiderparkplas wordt gevoed door de Afwatering. Deze watergang stroomt door een groot deel van de kern Warnsveld. Langs deze watergang bevinden zich diverse riooloverstorten. Eén van deze overstorten zal worden gesaneerd. Voor de overige overstorten bestaan geen saneringsplannen (mondelinge mededeling B.J. Weener, Waterschap Rijn en IJssel, 10 juni 2008). De Zuiderparkplas watert af via de Vierackersche Laak naar de IJssel. Bij hoge waterstanden (in de orde grootte van 5,50 m +NAP) wordt het water via een gemaal uitgeslagen naar de IJssel. In die situatie kan de IJssel ook infiltreren naar de omgeving. Het waterschap heeft de ervaring dat het peil van de visvijver, dan ook toeneemt. Dit betekent dat het ondiepe grondwater dan van west naar oost stroomt. In Bijlage I, Figuur B1.5 is de frequentieverdeling van de waterstand op de IJssel in de afgelopen vijf jaar opgenomen. Uit deze figuur blijkt dat ca. 20 % van de tijd de waterstand hoger is dan 5 m+NAP en 13% van de tijd hoger dan 5,50 m+NAP. Mogelijke verontreinigingsbronnen vormen lekkende riolering vanuit het stedelijk gebied en infiltratie van het oppervlaktewater in de Zuiderparkplas (visvijver) en in beperkte mate de IJssel. De eigenschappen van de bodem, uitgedrukt in verblijftijd, pH, redox en dikte van de onverzadigde zone, zijn opgenomen in Tabel 3.1. Nadere informatie over de winning is opgenomen in Bijlage 1.

Microbiologie

In Zutphen zijn vier winputten twee- of driemaal geanalyseerd op de aanwezigheid van *E. coli*-bacteriën in monsters van 5 liter. In één van de putten is *E. coli* aangetroffen in een concentratie van 1,0 (0,36 – 2,1) kve/L. Somatische colifagen zijn niet gevonden in monsters van 98 tot 190 liter water (concentraties < 0,01 PFU/L). Ook zijn met PCR geen humane en porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen aangetoond in volumes van 11 tot 78 liter water. In totaal is ruim 830 liter grondwater onderzocht op aanwezigheid van somatische colifagen, 140 tot 290 liter op aanwezigheid

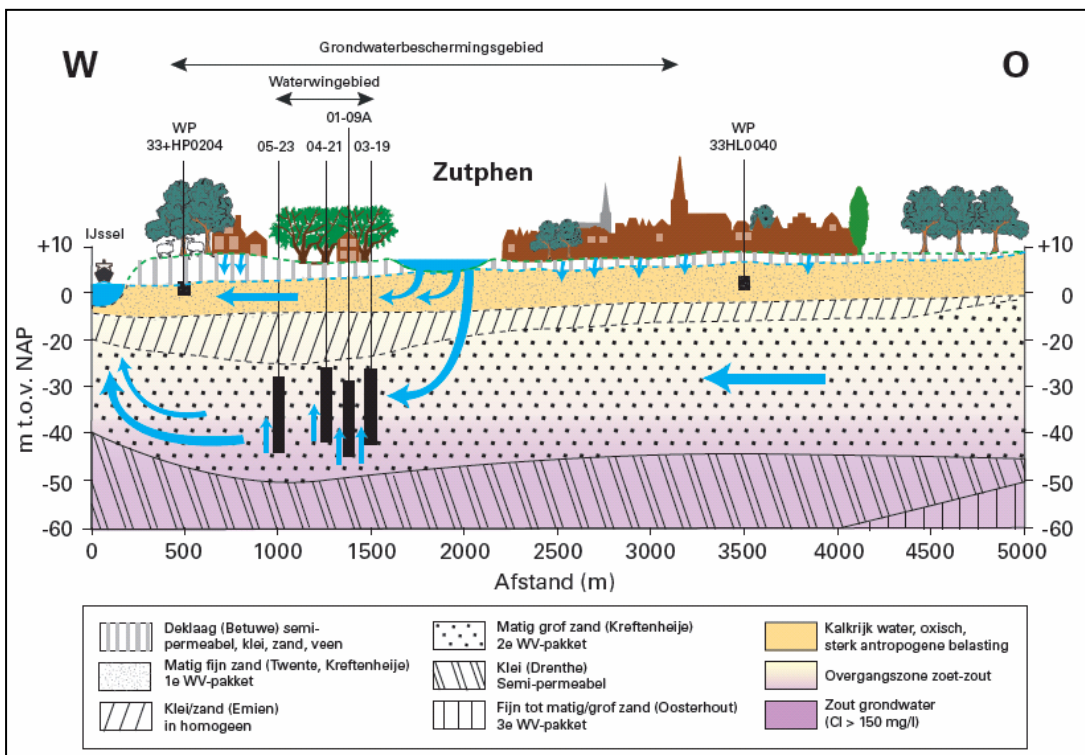
van humane of porcine adenovirussen en bovine polyomavirus en 730 liter op aanwezigheid van infectieus humaan adenovirus (Figuur 5.13).

In Zutphen is één ondiepe waarnemingsput ten oosten van het wingebied bemonsterd. In deze put zijn geen van de onderzochte micro-organismen aangetoond. Naast de winputten zelf en een ondiepe waarnemingsput zijn ook twee oppervlaktewateren bemonsterd die mogelijk een bron van verontreiniging voor het te winnen grondwater vormen: de IJssel en de Zuiderparkplas. Hoewel indicatoren van fecale verontreiniging in beide oppervlaktewateren in hoge concentraties aanwezig waren, bleek de Zuiderparkplas microbiologisch gezien de schoonste van de twee te zijn. Humane adenovirussen waren zowel in de IJssel (681 (100 – 3530) PDU/L) als in de Zuiderparkplas (45 (2,5 – 210) PDU/L) aanwezig, porcine adenovirussen alleen in de IJssel (68 (3,2 – 605) PDU/L). Infectieuze humane adenovirussen zijn alleen aangetroffen in de Zuiderparkplas in een concentratie van 0,58 infectieuze PDU (IPDU) per liter. Bovine polyomavirussen zijn in beide oppervlaktewateren niet aangetroffen (Bijlage 5).

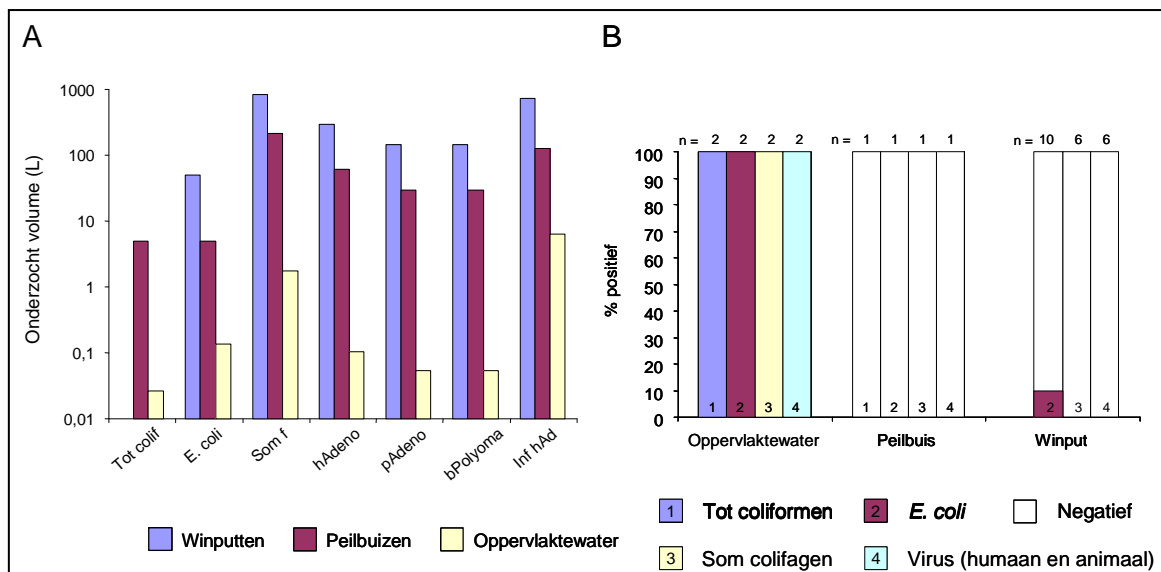
Macrochemie

In Figuur 5.14 zijn de meetresultaten voor de microbiologie en de chemische tracers, cafeïne en carbamazepine, kwalitatief weergegeven. In Figuur 5.15 zijn de analyseresultaten van de macroparameters weergegeven. De grafiek is beperkt tot de parameters die relevant zijn voor lekkage van riolering en infiltratie van oppervlaktewater (zie ook Tabel 2.3). Carbamazepine is in drie van de vier onderzochte winputten aangetroffen, cafeïne in alle onderzochte winputten. Zowel cafeïne als carbamazepine zijn niet in de waarnemingsput aangetroffen. De waarnemingsput ligt midden in het stedelijk gebied. Dit suggereert dat de voornaamste bijdrage aan de grondwaterkwaliteit plaatsvindt westelijk van de waarnemingsput.

Uit Figuur 5.15 blijkt verder dat er een afname van nitraat met de diepte optreedt (resultaten waarnemingsput ten opzichte van de winputten) (denitrificatie). Het sulfaatgehalte neemt niet toe, evenmin als de metalen nikkel, arseen en zink. Er is dus geen sprake van pyrietoxidatie. Parameters chloride en borium zijn in de winputten (veel) hoger dan in de waarnemingsput en het oppervlaktewater en zijn waarschijnlijk van nature aanwezig. Overigens komen deze resultaten overeen met het jaarlijks door Vitens uitgevoerde onderzoek naar de grondwaterkwaliteit van de individuele winputten.



Figuur 5.12 Waterwingebied en grondwaterbeschermingsgebied Zutphen.



Figuur 5.13 Resultaten microbiologie monstername Zutphen.

Toelichting grafieken:

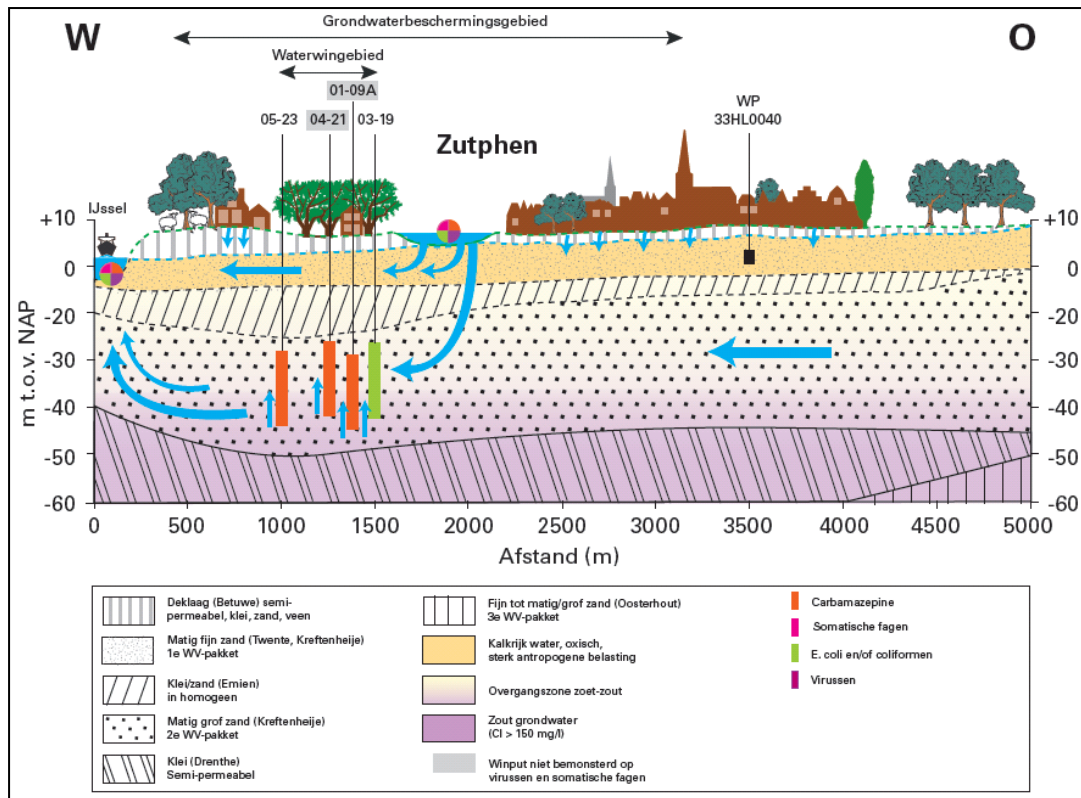
- A:** Totaal onderzocht volume monster uit winputten en waarnemingsputten opgesplitst per micro-organisme; bacteriën van de coligroep (Tot colif), *E. coli*, somatische colifagen (Som f), humaan adenovirus (hAdeno), porcine adenovirus (pAdeno), bovine polyoma virus (bPolyoma) en infectieus humaan adenovirus (Inf hAd).
- B:** Percentage positief gevonden monsters in de onderzochte bron, waarnemingsput en winput staat in kleur weergegeven per indicator; bacteriën van de coligroep (Tot coliformen), *E. coli*, somatische colifagen (som colifagen) en humane en animale virussen. Het percentage negatieve monsters is weergegeven in wit. Het aantal onderzochte monsters staat boven de grafiek weergegeven.

Leeftijd van het onttrokken water: responscurves

Voor de winning Zutphen is door Vitens een responscurve voor de totale winning aangeleverd (Bijlage 1). De responscurve is berekend op basis van een oud (circa 25 jaar) grondwatermodel voor het gepompte pakket. Dit grondwatermodel heeft, naar het oordeel van Vitens zelf, door de toegepaste schematisatie, een beperkte nauwkeurigheid. Het grondwatermodel is op dit moment ook niet meer operationeel. De responscurve is berekend met behulp van eerdere berekeningsresultaten. Extrapolatie naar individuele putten was daarbij niet mogelijk. De totale responscurve bij een productiecapaciteit van 2 mln.m³/jaar is weergegeven in Figuur B1.4. Deze grafiek laat zien dat circa 7% van het onttrokken water jonger is dan 10 jaar. De mediane verblijftijd is circa 65 jaar en de maximale verblijftijd circa 1000 jaar.

Sporenelementen en isotopen

In alle onderzochte winputten worden hoge waarden van $\delta^{18}\text{O}$ aangetroffen (-6,8 tot -7,3‰). Dit zijn kenmerkende waarden voor grondwater. Er is duidelijk geen invloed van de IJssel op de grondwaterkwaliteit in de winputten. In dat geval zouden de waarden voor $\delta^{18}\text{O}$ meer in de orde van grootte van -9‰ liggen. De invloed van de Zuiderparkplas kan niet worden vastgesteld met behulp van $\delta^{18}\text{O}$, omdat deze plas vooral wordt gevoed door lokale neerslag. De Zuiderparkplas heeft een $\delta^{18}\text{O}$ -waarde van ongeveer -7‰.

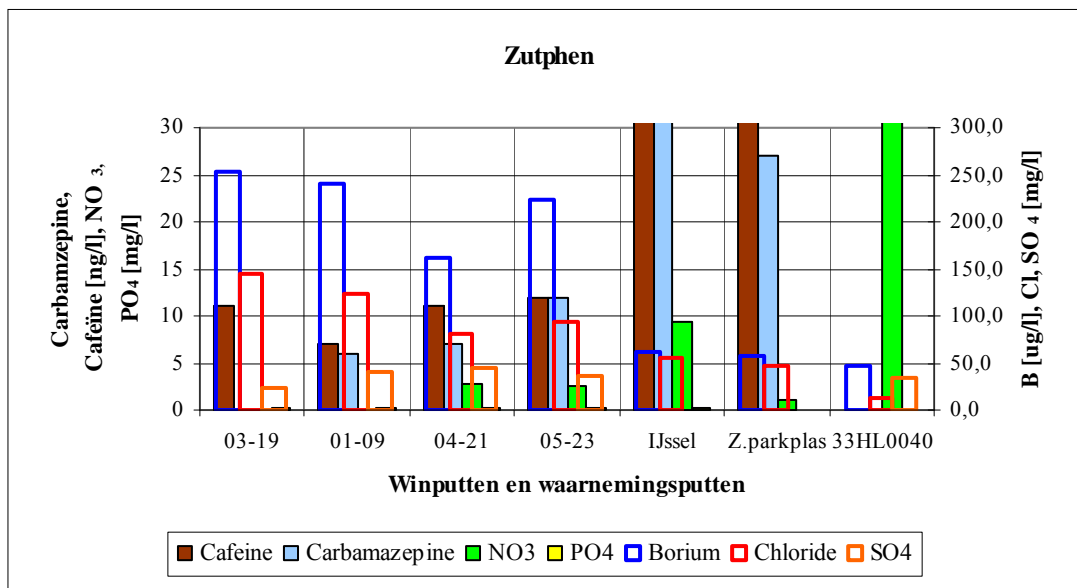


Figuur 5.14 Grafische weergave meetresultaten Zutphen. De kleuring geeft aan dat een parameter één of meerdere keren is aangetroffen. De kleuring doet geen uitspraak over de hoogte van het meetresultaat.

Interpretatie van de resultaten

Het in de winning Zutphen onttrokken grondwater is, van de vier onderzochte winningen, het oudste grondwater. Minder dan 1% van het onttrokken grondwater is jonger dan 1 jaar. Ook hier moet, evenals bij de winningen Boxmeer en Goor, voorbehoud worden gemaakt ten aanzien van de nauwkeurigheid van de berekeningsresultaten voor deze korte verblijftijden.

De invloed van oppervlaktewater en/of rioolwater lijkt evident zichtbaar in de analysesresultaten. Carbamazepine wordt in drie van de vier bemonsterde winputten aangetroffen, cafeïne in alle putten. In één van de vier onderzochte winputten zijn ook eenmalig *E. coli*-bacteriën aangetroffen. Dit is echter ook de winput waar geen carbamazepine is aangetroffen. Virussen en somatische colifagen zijn niet aangetroffen.



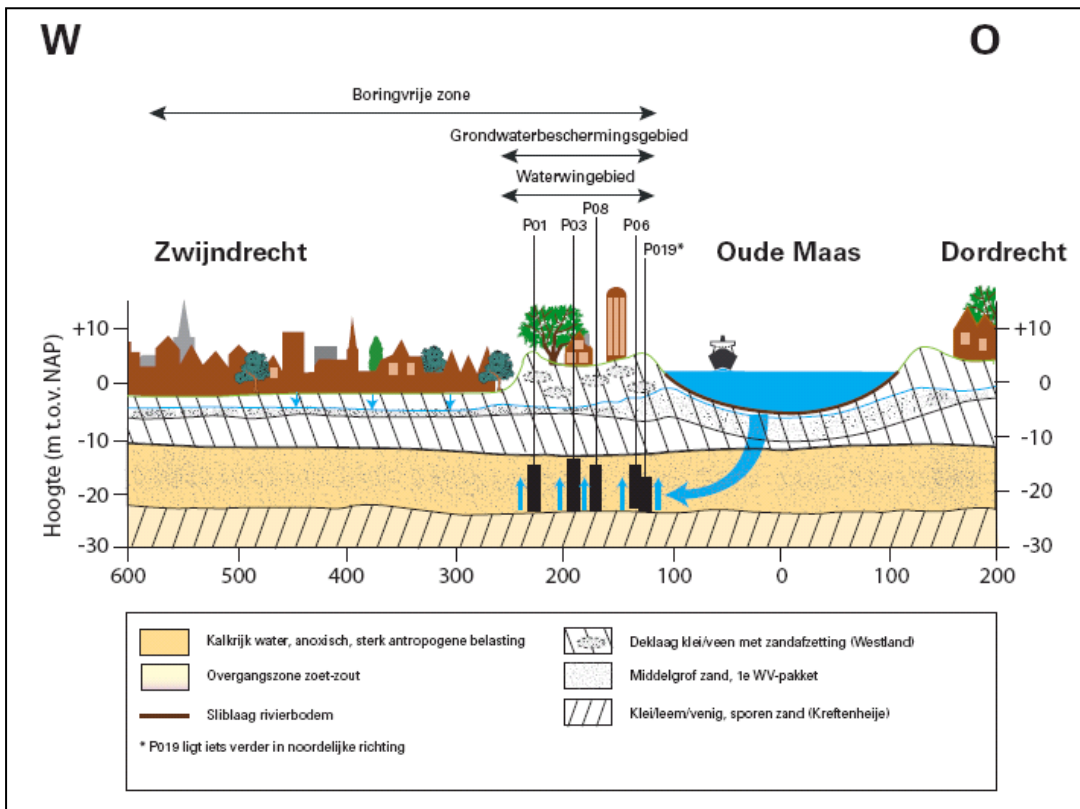
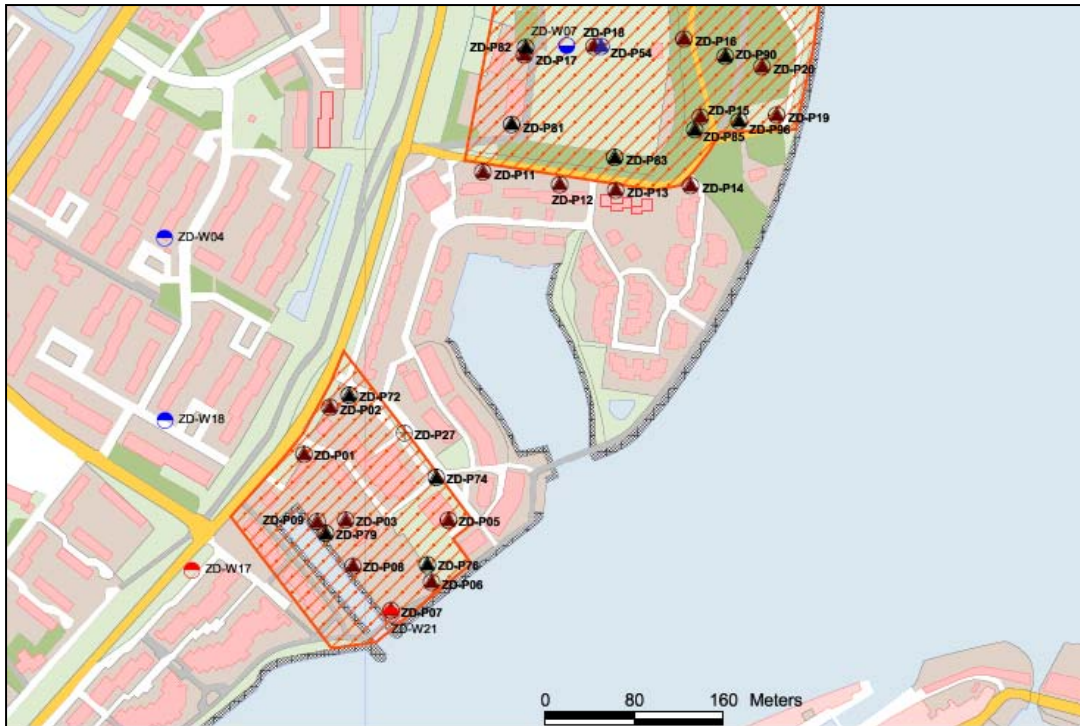
Figuur 5.15 Tracers en macroparameters winning Zutphen (codering jaartal-nr) in winputten en waarnemingsput (codering 33..).

Uit de grondwatermodellen van het waterleidingbedrijf kan worden afgeleid dat de IJssel geen directe invloed lijkt te hebben op de kwaliteit van het in Zutphen onttrokken grondwater, de Zuiderparkplas daarentegen wel. Volgens de modelberekening (Tabel 5.1) lijkt de Zuiderparkplas geen bron van betekenis te kunnen zijn voor virusbesmetting van de winput, de verder weg gelegen IJssel is daarom ook geen verontreinigingsbron. Dit geldt ook voor de meeste dichtbijgelegen riolen op een afstand van 300 m. Mogelijk kan deze *E. coli*-besmetting ook veroorzaakt zijn door de integriteit van de winput zelf.

Ook uit de $\delta^{18}\text{O}$ -waarde lijkt de IJssel niet van invloed te zijn op de grondwaterkwaliteit in de winputten. De grondwaterkwaliteit in de onderzochte waarnemingsput, gelegen aan de noordoostzijde, buiten het stedelijk gebied, wijkt sterk af van de grondwaterkwaliteit in de winputten. De aanwezigheid van carbamazepine en/of cafeïne in het onttrokken grondwater wijst op antropogene beïnvloeding. Deze is vermoedelijk afkomstig van de Zuiderparkplas en stedelijke verontreinigingen. De invloed van verstedelijking blijkt ook uit de hoge lithiumconcentratie en de meetgegevens van het waterleidingbedrijf zelf over 2006. In de meeste winputten worden de stoffen MTBE, chlooretheen en cis-1,2-dichlooretheen aangetroffen, in lage gehalten. MTBE is afkomstig van een nabijgelegen benzinestation, chlooretheen en cis-1,2-dichlooretheen zijn afbraakproducten van tetra- en trichlooretheen en kunnen afkomstig zijn van (oude) benzinestations en chemische wasserijen.

5.5 Zwijndrecht

De winning in Zwijndrecht ligt direct langs de Oude Maas. Het waterwingebied en het grondwaterbeschermingsgebied bevinden zich tussen de Oude Maas en de stedelijke bebouwing van Zwijndrecht (Figuur 5.16). De stedelijke bebouwing van Zwijndrecht is gesitueerd in een lager gelegen polder. Het onttrokken grondwater bestaat voor meer dan 95% uit geïnfilterd oppervlaktewater. Toestroming vanuit de polder vindt niet of nauwelijks plaats. Verontreiniging van het oevergrondwater kan dan ook direct worden toegeschreven aan de kwaliteit van het oppervlaktewater. De eigenschappen

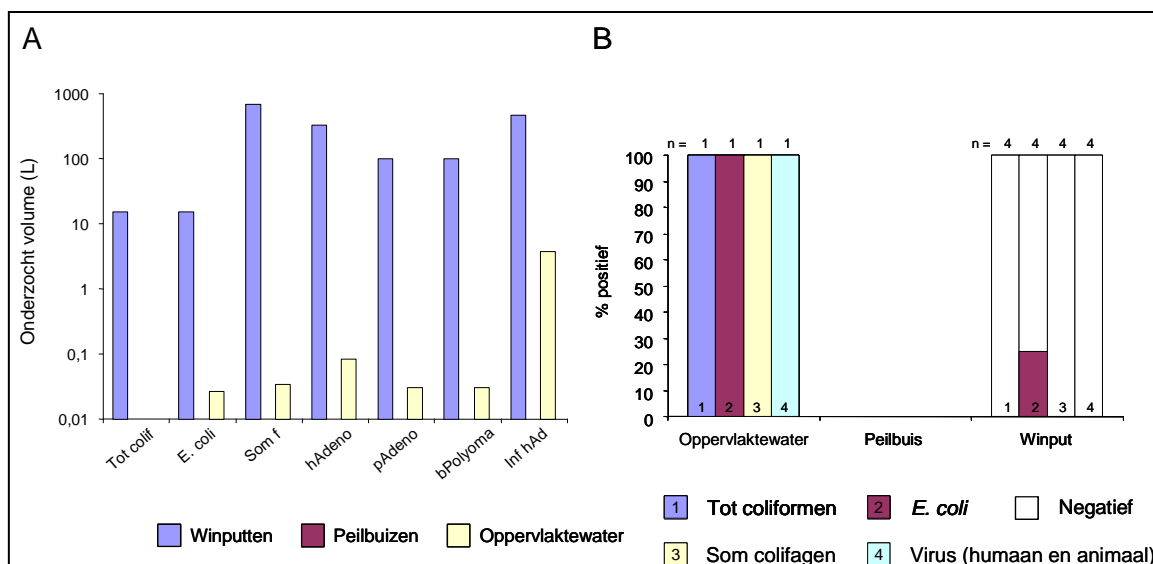


Figuur 5.16 Waterwingebied en grondwaterbeschermingsgebied Zwijndrecht.

van de bodem, uitgedrukt in verblijftijd, pH, redox en dikte van de onverzadigde zone, zijn opgenomen in Tabel 3.1. Nadere achtergrondinformatie over de winning is opgenomen in Bijlage 4.

Microbiologie

In Zwijndrecht zijn op twee verschillende monsternamedagen twee winputten bemonsterd. De geselecteerde winputten leveren oevergrondwater met een verblijftijd van 60 dagen of minder. In één van de vier onderzochte monsters zijn *E. coli*-bacteriën aangetroffen (0,22 (0,13 – 0,98) kve/L). Bacteriën van de coligroep en somatische colifagen zijn niet aangetroffen. Verder zijn met PCR geen humane en porcine adenovirussen en bovine polyomavirussen aangetoond in volumes van 14 tot 55 liter water. In totaal is ruim 670 liter grondwater onderzocht op aanwezigheid van somatische colifagen, 100 tot 200 liter op aanwezigheid van humane of porcine adenovirussen en bovine polyomavirus en 460 liter op aanwezigheid van infectieus humaan adenovirus (Figuur 5.17).



Figuur 5.17 Resultaten microbiologie monstername Zwijndrecht.

Toelichting grafieken:

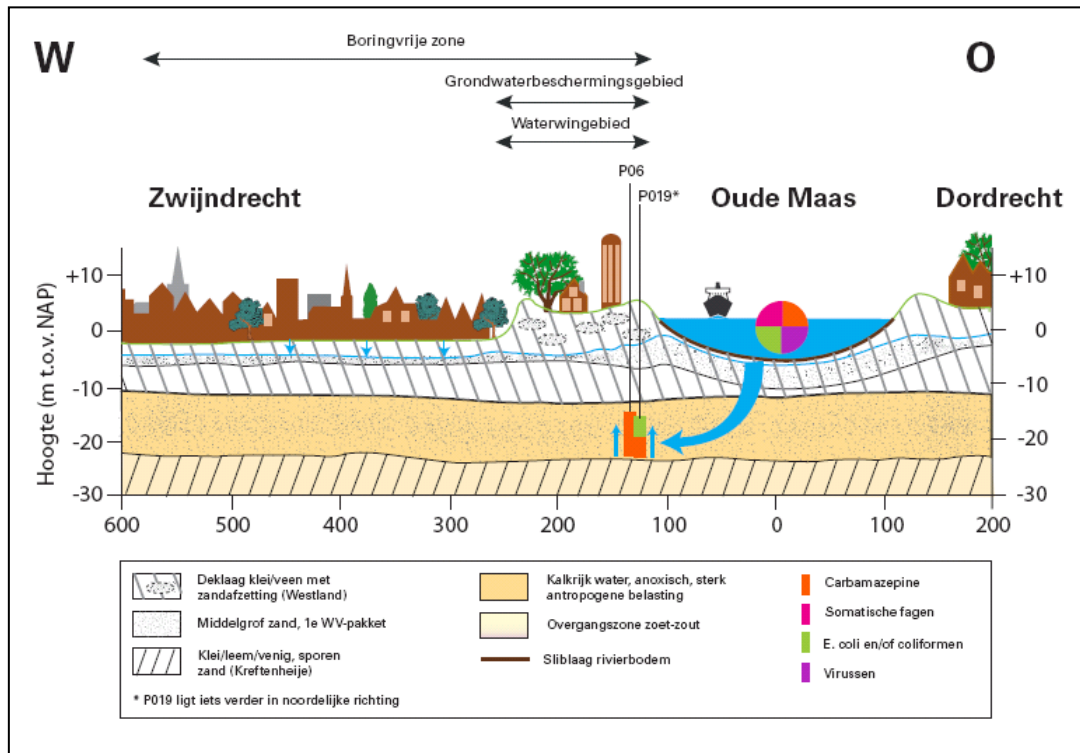
- A:** Totaal onderzocht volume monster uit winputten en waarnemingsputten opgesplitst per micro-organisme; bacteriën van de coligroep (Tot colif), *E. coli*, somatische colifagen (Som f), humaan adenovirus (hAdeno), porcine adenovirus (pAdeno), bovine polyoma virus (bPolyoma) en infectieus humaan adenovirus (Inf hAd).
- B:** Percentage positief gevonden monsters in de onderzochte bron en winputten staat in kleur weergegeven per indicator; bacteriën van de coligroep (Tot coliformen), *E. coli*, somatische colifagen (som colifagen) en humane en animale virussen. Het percentage negatieve monsters is weergegeven in wit. Het aantal onderzochte monsters staat boven de grafiek weergegeven.

Omdat deze winning onder invloed staat van oppervlaktewater uit de Oude Maas is dit oppervlaktewater geanalyseerd op aanwezigheid van de verschillende indicatoren voor fecale verontreiniging. Bacteriën van de coligroep zijn aangetoond in concentraties van 3657 (2383 – 5322) kve/L, *E. coli* in concentraties van 1393 (991 – 1891) kve/L en somatische colifagen in concentraties van 1110 (793 – 1501) PFU/L. Zowel humane als porcine adenovirussen zijn aangetroffen in dit

oppervlaktewatermonster in concentraties van 810 (119 – 4202) PDU/L en 84 (3,9 – 790) PDU/L. Bovine polyomavirussen waren met PCR niet aantoonbaar in dit watermonster en infectieuze adenovirussen niet met behulp van celkweek.

Macrochemie

In Figuur 5.18 zijn de meetresultaten voor de microbiologie en de chemische tracers, cafeïne en carbamazepine, kwalitatief weergegeven. In Figuur 5.19 zijn de analysesresultaten van de macroparameters weergegeven. De grafiek is beperkt tot de parameters die relevant zijn voor infiltratie van oppervlaktewater (zie ook Tabel 2.3). De gehalten sulfaat, chloride en borium zijn van een vergelijkbare orde grootte in de Oude Maas als in de winputten, waarbij sulfaat lichtelijk toeneemt. Carbamazepine wordt zowel in de Oude Maas als in de onderzochte winputten aangetroffen. Dit geldt ook voor cafeïne. Voor cafeïne is bovendien een afname zichtbaar door bodempassage. Uit de literatuur is ook bekend dat cafeïne in afvalwater met behulp van coagulatie en zandfiltratie wordt verwijderd in de orde grootte van 1-2 log-eenheden (Buerge et al., 2003).

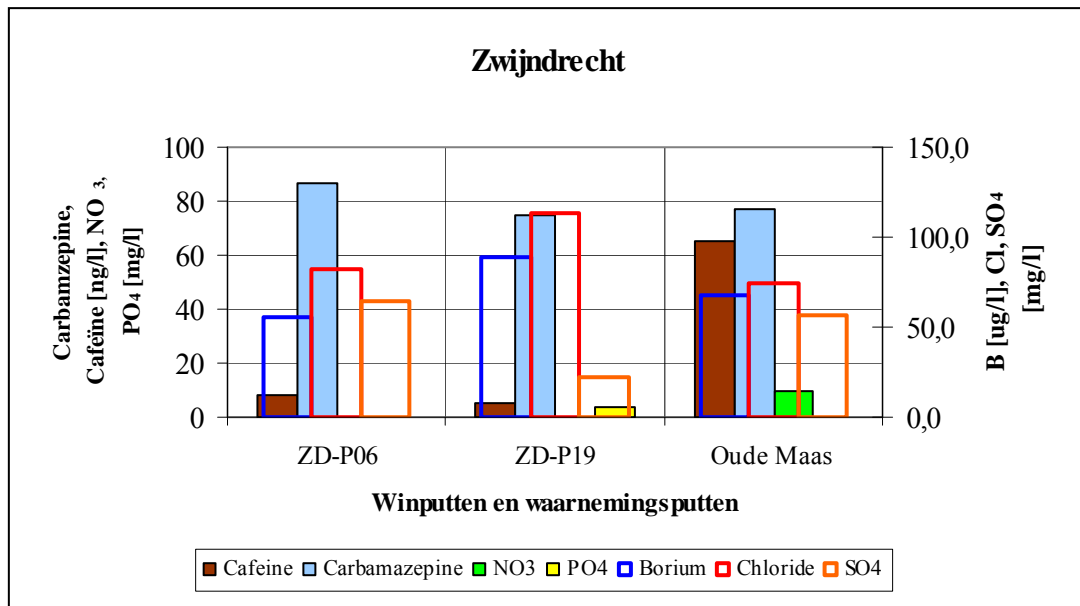


Figuur 5.18 Grafische weergave meetresultaten Zwijndrecht. De kleuring geeft aan dat een parameter één of meerdere keren is aangetroffen. De kleuring doet geen uitspraak over de hoogte van het meetresultaat.

Sporenelementen en isotopen

De invloed van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit in de winputten Zwijndrecht is onderzocht met stabiele isotopen en sporenelementen. Het stabiele isotoop $\delta^{18}\text{O}$ en molybdeen lieten de meest onderscheidende waarden zien. De Oude Maas heeft $\delta^{18}\text{O}$ -waarden van ongeveer -9,1‰ in tegenstelling tot natuurlijk grondwater met waarden tussen -6 en -7 ‰. De laagste waarden voor $\delta^{18}\text{O}$ komen voor in de meest ondiepe putten. In deze winputten wordt water uit het eerste watervoerende

pakket onttrokken. De waarde voor $\delta^{18}\text{O}$ is duidelijk lager dan voor natuurlijk grondwater. Het onttrokken water is voornamelijk oppervlaktewater. De winputten die grondwater onttrekken uit het tweede en derde watervoerende pakket hebben waarden voor $\delta^{18}\text{O}$ in de ordegrootte van natuurlijk grondwater. Dit beeld wordt bevestigd door de gemeten concentraties molybdeen. Molybdeen komt voor in de Oude Maas in gehalten van 1-2 $\mu\text{g/l}$ en is niet aantoonbaar in natuurlijk grondwater. Andere indicatoren voor de invloed van oppervlaktewater zijn de verhouding Cl/Br en de concentraties tritium, Nb, W en V.



Figuur 5.19 Tracers en macroparameters winning Zwijndrecht in winputten en Oude Maas.

Leeftijd van het onttrokken water: responscurves

In Figuur 5.20 is de bemonstering van onttrekkingsput ZD-P06 gefotografeerd. De afstand tot de Oude Maas is zichtbaar klein. Dit komt ook tot uitdrukking in de responscurve. In Bijlage 4 is de responscurve voor het totale zuidelijke puttenveld en voor put ZD-P06 weergegeven. De responscurves zijn berekend door Royal Haskoning BV in opdracht van Oasen (2005). De berekeningsresultaten zijn vergeleken met de analyse-resultaten voor chloride en EGV (Oude Maas en PP06). De gemeten concentratiepieken konden echter niet worden gecorreleerd, waardoor een inschatting van de verblijftijd met deze informatie niet mogelijk was. Het in Zwijndrecht onttrokken grondwater is verreweg het jongste grondwater van de vier onderzochte winningen: in tegenstelling tot de andere grondwatermodellen is deze modellering ook geschikt om uitspraken te doen over de meest relevante verblijftijden in het bereik van enkele weken tot enkele tientallen jaren. Bij de gemiddelde vergunde jaaronttrekking heeft meer dan de helft van het water dat put ZD-P06 aantrekt een bodempassage van minder dan 60 dagen.



Figuur 5.20 Bemonstering ZD-P06 (15-01-08).

Interpretatie van de resultaten

De kwaliteit van de Oude Maas is duidelijk herkenbaar in de kwaliteit van het onttrokken oevergrondwater. Dit komt onder andere tot uitdrukking in de aanwezigheid van de parameters carbamazepine, cafeïne en chloride, alsmede de isotopen $\delta^{18}\text{O}$, tritium en de verschillende sporenelementen Mo, Cl/Br, V, Nb en W. De invloed van andere bronnen op de grondwaterkwaliteit is zeer beperkt ($< 5\%$). Wat opvalt bij de beschouwing van de meetresultaten is dat, ondanks de zeer korte, berekende, verblijftijd, maar in één van de vier monsters *E. coli*-bacteriën zijn aangetroffen en geen bacteriën van de coligroep, somatische colifagen en humane en animale virussen. Aan de hand van gemeten concentraties totaal coliformen en *E. coli*-bacteriën blijkt dat de verwijdering door bodempassage minimaal $3^{10}\log$ is. Voor somatische colifagen is een verwijdering van $5^{10}\log$ aangetoond. De berekening (Tabel 5.1) laat zien dat in geval van veel hechting van virussen aan zand, er zodanig veel verwijdering kan plaatsvinden dat de concentratie virussen in het opgepompte water te laag is voor detectie. Of dit voldoende is voor de productie van veilig drinkwater zou nog moeten blijken uit nader locatiespecifiek onderzoek.

5.6 Samenvatting meetresultaten

In Tabel 5.2 zijn de bevindingen per locatie samengevat.

Tabel 5.2 *Bevindingen veldonderzoek grondwaterwinningen en verontreinigingsbronnen.*

Lokatie	Verontreinigings-Bronnen	Bevindingen
Algemeen		<ul style="list-style-type: none"> ● 4 van 28 als mogelijk kwetsbaar aangemerkte winningen zijn onderzocht. ● Carbamazepine wordt aangetroffen in winputten waar de invloed van deze bronnen verklaarbaar is. ● Met carbamazepine kan verdunning van een menselijke verontreinigingsbron worden geschat. ● Werkelijke verblijftijden binnen waterwingebied zijn vaak veel langer dan 60-dagenzone doet suggereren. ● Verticaal transport is bij de bepaling van de 60-dagenzone door de provincies niet meegerekend (voorschrift CBW). ● Schematisatie hydrologische modellering winningen blijkt niet afgestemd op gedetailleerde vragen van dit onderzoek: korte verblijftijden op het schaalniveau van het waterwingebied, kleine (kwantitatief) verontreinigingsbronnen. ● Onvoldoende modellering van onverzadigde zone. ● Responscurves geven voor korte reistijden dus grove indicatie van de leeftijd van het onttrokken grondwater. ● Integriteit winmiddelen zal nader moeten worden onderzocht.
Hilversum	<ul style="list-style-type: none"> ● Meting sediment onder riolering 	<ul style="list-style-type: none"> ● Vermoede lekkage treedt inderdaad op, bij de buisverbindingen. ● Aanzienlijke uitspoeling naar bodem. ● Sterke afname concentratie met afstand tot lekkage (horizontaal en vertikaal). Voor <i>E. coli</i> 5 log¹⁰ over 30 cm. ● Analogie resultaten met experimenten duinwaterwinningen (Solleveld, Castricum). ● Meer experimenten wenselijk om bevindingen te bevestigen.

Vervolg Tabel 5.1

Locatie	Verontreinigingsbronnen	Bevindingen
Boxmeer	<ul style="list-style-type: none"> • Uitspoeling mest • Infiltratie beek 	<ul style="list-style-type: none"> • Invloed bemesting evident in chemie, niet in microbiologie. • Carbamazepine en somatische fagen in één van de putten aangetroffen, herkomst carbamazepine is mogelijk infiltratie van de Oploosche Molenbeek, gevoed uit de Maas. 1-5% Maaswater in winput PP005. • Berekend is dat somatische fagen niet afkomstig kunnen zijn van Oploosche Molenbeek. • Berekend is: 5% onttrokken water jonger dan 1 jr., 2% jonger dan 100 d.
Goor	<ul style="list-style-type: none"> • Lekkage riolering • Infiltratie Twentekanaal 	<ul style="list-style-type: none"> • Antropogene invloed in grondwaterkwaliteit in chemie en microbiologie. Dit lijkt vooral het gevolg van waterinlaat uit het Twentekanaal in het waterwingebied. Carbamazepine, cafeïne en fagen in winputten rondom verdeelkanalen. 4-6% oppervlaktewater in deze putten. • 5% onttrokken water jonger dan 1 jr.
Zutphen	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltratie IJssel/ Zuiderparkplas • Lekkage riolering 	<ul style="list-style-type: none"> • Antropogene invloed zichtbaar in grondwaterkwaliteit. • Exacte herkomst lastig te duiden wegens beperkte meetset. • Geen virussen aangetroffen, wel eenmalig <i>E. coli</i>. • 7% onttrokken water jonger dan 10 jr.
Zwijndrecht	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltratie Oude Maas • Lekkage riolering 	<ul style="list-style-type: none"> • Kwaliteit Oude Maas goed herkenbaar in winputten. • Ondanks zeer korte berekende verblijftijden (<60 dagen), zijn er geen virussen en somatische fagen aangetroffen (wél in de Oude Maas). Mogelijke verklaring in intreeweerstand rivierbodem: dit is een geschatte variabele: meer weerstand (slib) betekent verlenging van de bodempassage onder gunstige verwijderingscondities voor virussen. • Geen virussen aangetroffen, wel eenmalig <i>E. coli</i>. • 100% onttrokken water jonger dan 1 jr, 50% jonger dan 6 mnd. Gerekend is met lage intreeweerstand.

6 Discussie

Verschillende internationale studies beschrijven de aanwezigheid van pathogene micro-organismen in grondwater. Ook over ziekte-uitbraken als gevolg van blootstelling aan pathogenen in grondwater door consumptie werd tot dusverre meerdere malen gepubliceerd. Verontreinigingsrisico's blijken van bron tot tap aanwezig te kunnen zijn. De geohydrologische en geochemische condities waaronder bodempassage plaatsvindt, kunnen echter sterk afwijken van de Nederlandse situatie. In Nederland zijn vooralsnog geen ziekte-uitbraken beschreven door consumptie van grondwater dat is verontreinigd door humane of animale bronnen, maar hier is ook nooit gericht onderzoek naar gedaan. De gemeten gehalten micro-organismen bleken bij verschillende internationale studies zo hoog, mede ook door het meten in grote monstervolumes, dat bij aanvang van het hier beschreven project werd verondersteld dat dit in de Nederlandse situatie ook het geval zou kunnen zijn. Deze veronderstelling is niet bevestigd door de meetresultaten: de gemeten gehalten, voor zover aangetroffen, zijn in de orde van grootte van de detectielimiet.

Anderzijds kan gesteld worden dat ondanks de lange, berekende, verblijftijden in alle winningen, sporen van verontreinigende stoffen en/of micro-organismen, afkomstig van mens of dier, zijn aangetroffen.

Aanwijzingen voor de herkomst van de verontreiniging was niet eenduidig aangezien het niet mogelijk bleek om, zoals eerder beschreven, specifieke humane en animale virussen aan te tonen die herleid kunnen worden tot de species. De kans op de aanwezigheid van pathogene micro-organismen in grondwater bestaat in geval van aangetoonde antropogene verontreiniging vanuit verschillende bronnen. Berekeningen hebben laten zien dat de fecale verontreiniging bij de meeste van de onderzochte winningen hoogstwaarschijnlijk het gevolg was van falende integriteit van de winmiddelen en niet dat transport door de bodem heeft plaatsgevonden vanwege de veel langere verblijftijden dan 60 dagen. Locatiespecifiek onderzoek volgens de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater, uitgebreid met tracerstoffen, zal kunnen uitwijzen in hoeverre putten in Nederland onder invloed staan van potentiële verontreinigingsbronnen.

Bij het onderzoek moest een tweetal vragen worden beantwoord:

1. Leidt de combinatie van een als mogelijk (microbiologisch) kwetsbaar aangemerkte winning en de aanwezigheid van een potentiële verontreinigingsbron binnen de 60-dagenzone ook daadwerkelijk tot verontreiniging van het onttrokken grondwater?
2. Welke algemene criteria kunnen uit de resultaten van het veldonderzoek worden afgeleid voor de bescherming van kwetsbare grondwaterwinningen en de ruimtelijke inrichting van waterwingebieden?

6.1 Verontreinigingsbronnen bij mogelijk kwetsbare winningen

Omdat directe normtoetsing aan het infectierisico vanwege het grote vereiste watervolume praktisch niet mogelijk is, zijn naast het meetprogramma, de risico's met een conceptueel model van het grondwatersysteem kwalitatief inzichtelijk gemaakt. Responscurves van zowel de individuele winputten als de gehele winning zijn geanalyseerd. Op basis hiervan heeft bemonstering van zowel microbiologische als chemische indicatoren plaatsgevonden in de stroombanen van mogelijke verontreinigingsbron naar de winputten. De herkomst van het onttrokken grondwater is onderzocht met

behulp van onderzoek naar stoffen, isotopen en virussen. Er werden geen adenovirussen en polyomavirussen aangetroffen waarmee kon worden nagegaan of de verontreiniging van bijvoorbeeld varkens of runderen afkomstig was. De invloed van humane en animale bronnen bleek ook uit de onderzochte chemische indicatoren, carbamazepine, cafeïne en borium, en de analyseresultaten van sporenelementen en isotopen.

Door middel van de bemonstering en analyse van waarnemingsputten kunnen aannames over de herkomst van antropogene of animale invloeden worden getoetst. Belangrijk daarbij is, dat de filters ondiep zijn geplaatst (in ieder geval ruim hoger dan de filters in de winputten) en zich in de (berekende) stroombaan bevinden van de potentiële verontreinigingsbron naar de winputten. De effecten van de verontreinigingsbron zouden juist in deze putten sterker/duidelijker zichtbaar moeten zijn dan in de winputten. Door de kortere verblijftijden heeft vermenging, hechting en inactivatie in deze putten een minder grote rol gespeeld. Ten aanzien van de microbiologische bemonstering geldt dat de waarnemingsputten niet zijn aangelegd voor dit doel en dat putten niet altijd volledig zijn afgesloten. Het bemonsterde water kan dus direct van bovenaf zijn verontreinigd door feces van bijvoorbeeld kleine (knaag)dieren. Dit kan een mogelijke bron vormen voor *E. coli* maar niet voor de onderzochte virustypen. Er kunnen in het monster dus *E. coli*-bacteriën worden aangetroffen die niet afkomstig zijn van het grondwater ter plaatse. Bovendien zijn indicatoren voor fecale verontreiniging onvoldoende in staat om onderscheid te maken tussen verontreiniging afkomstig van humane en/of animale bronnen. Dit maakt het nemen van gerichte interventiematregelen lastig.

Kwaliteit grondwater winputten

Bij iedere locatie zijn tenminste één keer *E. coli*-bacteriën of somatische colifagen aangetroffen in één van de onderzochte winputten. Dit duidt op fecale verontreiniging, waardoor de kans bestaat op aanwezigheid van pathogenen van humane of dierlijke oorsprong (zoönosen). Er werden geen adenovirussen en polyomavirussen aangetroffen waarmee kon worden nagegaan of de verontreiniging van bijvoorbeeld varkens of runderen afkomstig was. De invloed van humane en animale bronnen bleek ook uit de onderzochte chemische indicatoren.

Kwaliteit ondiep grondwater waarnemingsputten

Door het analyseren van de grondwaterkwaliteit in ondiepe waarnemingsputten in de stroombaan van verontreinigingsbron naar winput, kan de eventuele bijdrage van humane of animale bronnen nader worden vastgesteld.

In de onderzochte waarnemingsputten bij Goor zijn *E. coli*-bacteriën aangetroffen. Totaal coliformen zijn aangetroffen in de waarnemingsputten bij Goor en Boxmeer. De in de literatuur beschreven relatie tussen de aanwezigheid van totaal coliformen en pathogene enterale virussen in grondwaterbronnen kon met de resultaten uit het huidige onderzoek niet bevestigd worden (Locas et al., 2007). In geen van de onderzochte waarnemingsputten zijn somatische fagen aangetroffen boven de detectielimiet.

Er zijn echter wel invloeden van humane of animale bronnen zichtbaar in de meetresultaten. Zo blijkt uit de analyseresultaten van de waarnemingsputten bij Boxmeer heel duidelijk het proces van denitrificatie. De analyseresultaten van de waarnemingsputten in het bebouwde gebied van Goor hebben vooral laten zien dat de antropogene invloed die in de winputten is waargenomen, maar in één van de winputten afkomstig lijkt te zijn vanuit het stedelijk gebied. Voor de overige onderzochte winputten lijkt infiltratie vanuit het Twentekanaal een waarschijnlijker verklaring te vormen. In Zutphen lijkt de antropogene beïnvloeding afkomstig te zijn van de Zuiderparkplas en stedelijke

verontreinigingen. De grondwaterkwaliteit in de onderzochte waarnemingsput in Zutphen, gelegen aan de noordoostzijde, buiten het stedelijk gebied, wijkt sterk af van de grondwaterkwaliteit in de winputten. Ook de kwaliteit van de IJssel wijkt sterk af van de grondwaterkwaliteit in de winputten.

Bronnen in het waterwingebied

Bij de winningen van Boxmeer en Goor bleken tijdens de uitvoering van het veldonderzoek kleine infiltratiebronnen aanwezig te zijn. Deze bronnen dragen maar een deel van het jaar bij aan het grondwatersysteem en zijn voor Goor ook niet meegenomen in de modellering van de winning. Uit de meetresultaten bleken deze bronnen echter wel degelijk de grondwaterkwaliteit te kunnen beïnvloeden. Aanbevolen wordt om de bijdrage (kwaliteit en kwantiteit) van deze bronnen nader te onderzoeken. Het gaat hier om infiltratie van oppervlaktewater in of in de directe nabijheid van het waterwingebied.

Leeftijd van het onttrokken grondwater: responscurves

Bij de interpretatie van de meetresultaten is gebruik gemaakt van responscurves voor individuele putten en de gehele winning. Op basis van de responscurves kan het percentage jong grondwater, dat mogelijk virussen bevat, worden ingeschat. Dit is een nuttige eerste stap in de systeemanalyse en laat grote verschillen zien tussen de winningen: het percentage onttrokken grondwater dat jonger is dan 1 jaar varieert tussen <1% voor Zutphen en 100% voor Zwijndrecht. Er zijn echter ook beperkingen: de hydrologische modellen van de hier beschouwde winningen zijn gebouwd voor de simulatie van stationaire processen op een tijdschaal van veelal (tientallen) jaren en een ruimtelijke schaal van het intrekgebied. Dit betekent dat berekeningsresultaten binnen de schaal van het waterwingebied minder nauwkeurig zijn en met de nodige voorzichtigheid moeten worden toegepast.

Op lokale schaal, direct rondom de winput, zijn bovendien mogelijke preferente stroombanen van belang. Fysische bodemheterogeniteit ofwel de aanwezigheid van preferente stroombanen kan ertoe leiden dat grondwater plaatselijk sneller stroomt. Dit proces is met name van belang bij eventuele verontreinigingen in de directe omgeving van de winputten.

6.2 Betekenis resultaten voor beschermingsbeleid

Bij dit project zijn vier winningen onderzocht die als mogelijk kwetsbaar zijn aangemerkt (Van der Wielen et al., 2006) en waar binnen de grenzen van het waterwingebied en de directe omgeving (60-dagen- tot 1-jaarszone) een mogelijke verontreinigingsbron aanwezig is. Bij iedere locatie zijn tenminste één keer *E. coli*-bacteriën of somatische colifagen aangetroffen in één van de onderzochte winputten, wat duidt op sporen van fecale verontreiniging. De gemeten gehalten, voor zover aangetroffen, zijn in de orde van grootte van de detectielimiet. Bij één winning (Goor) lijkt deze afkomstig te zijn van een niet vooraf geïdentificeerde verontreinigingsbron (inlaat van oppervlaktewater) in het waterwingebied. Net buiten het waterwingebied van Boxmeer wordt ook water ingelaten. Op basis van de afstand tot de winput blijkt uit berekeningen dat de daar eenmalig aangetroffen somatische colifagen niet van deze verontreinigingsbron afkomstig kunnen zijn. In de winput zijn ook sporen van carbamazepine aangetroffen, mogelijk zijn deze wel afkomstig van infiltrerend oppervlaktewater.

Op grond van de meetresultaten alleen kan niet worden geconcludeerd of bij deze winningen wordt voldaan aan de norm voor het infectierisico. Om vast te kunnen stellen of de winning voldoende veilig is, is een verdere analyse van het grondwatersysteem en de zuivering noodzakelijk.

Betekenis van indicatoren

Bij de uitvoering van het veldonderzoek is gebruik gemaakt van microbiologische en chemische indicatoren. Het aantreffen van deze indicatoren in het onttrokken grondwater betekent dat er sprake is van verontreiniging als gevolg van humane of animale bronnen. In hoeverre er ook daadwerkelijk sprake is van een gezondheidsrisico, zal moeten worden vastgesteld op basis van een risicoanalyse van het grondwatersysteem. Uit de analysesresultaten blijkt dat door het gebruik van zowel microbiologische als chemische indicatoren met meer zekerheid uitspraken kunnen worden gedaan over de invloed van humane of animale bronnen op de grondwaterkwaliteit. Carbamazepine lijkt een veelbelovende tracer voor de kwantificering van de invloed oppervlaktewater of rioolwater. Met carbamazepine als conservatieve stof kan een inschatting worden gemaakt van de bijdrage van verdunning.

Omvang waterwingebied en verblijftijd

De onderzochte winningen zijn geselecteerd op de aanwezigheid van mogelijke verontreinigingsbronnen in het waterwingebied. Het waterwingebied is gedefinieerd als de zone met een verblijftijd van 60 dagen. Deze verblijftijd wordt berekend door de betreffende provincies in het gepompt pakket, volgens het protocol dat hiervoor is opgesteld door de Commissie Bescherming Waterwingebieden (1980). Daarbij is geen rekening gehouden met verticaal transport. Bovendien wordt de grens van het waterwingebied ook bepaald door praktische aspecten zoals herkenbaarheid in het terrein van de grenzen en de eigendomsverhoudingen van het gebied. Dit betekent, in ieder geval voor de onderzochte winningen, dat de daadwerkelijke verblijftijden binnen het waterwingebied (veel) groter zijn dan de opgegeven 60 dagen.

Binnen het waterwingebied bleken voor de onderzochte winningen de reistijden van maaiveld naar winput veel groter te zijn dan de opgegeven 60 dagen. Mogelijk zijn om deze reden maar enkele malen virussen of bacteriën aangetroffen, en vaker (conservatieve) indicatoren voor de invloed van humane bronnen. De combinatie van verblijftijd, afbraak en verdunning was blijkbaar voldoende groot, om de aanwezige virussen tot beneden de detectielimiet te reduceren.

Deze bevinding pleit voor een beter inzicht in de werkelijke verblijftijden tussen potentiële verontreinigingsbronnen in het waterwingebied en de winputten. De nu gebruikte hydrologische modellen zijn niet met dat doel ontwikkeld.

Bemonstering op kwetsbare momenten

In de VROM-Inspectierichtlijn Microbiologische Veiligheid Drinkwater wordt gesproken over de bemonstering op zogenaamde kwetsbare momenten, bijvoorbeeld in de periode na het uitrijden van mest, hoge afvoersituaties of na hevige regenval. Gedurende de uitvoering van het veldonderzoek bleek de respons van de winningen veel trager dan op voorhand was ingeschat op grond van de aanduiding '60-dagenzone'. Het vaststellen van kwetsbare momenten en het daarop bemonsteren lijkt alleen realistisch wanneer van een winning bekend is dat de winmiddelen zelf kunnen falen, bijvoorbeeld door lekkage van bovenaf bij hevige regenval.

Anderzijds blijken er in de omgeving van het waterwingebied in droge perioden infiltratiebronnen van gebiedsvreemd oppervlaktewater aanwezig te kunnen zijn. Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat deze infiltratiebronnen de grondwaterkwaliteit in de winputten kunnen beïnvloeden. Aangezien de infiltratie veelal in de zomer optreedt, zou deze periode mogelijk kunnen worden gezien als 'kwetsbare periode'. Door extra bemonstering in en direct na deze periode kan meer inzicht worden verkregen in de omvang en variatie van deze beïnvloeding.

6.3 Risico's win- en transportmiddelen

Op 14 februari 2008 vond bij het RIVM een workshop plaats over de ervaringen van waterleidingbedrijven met de uitvoering van de Inspectierichtlijn 5318 Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater. Waterleidingbedrijven deelden daar hun ervaringen met de uitvoering van de eerste fase van de inspectierichtlijn, de voorlopige analyse.

Het risico van verontreiniging van een winning door humane of animale bronnen wordt bepaald door:

- de aanwezigheid van potentiële verontreinigingsbronnen in combinatie met de eigenschappen van de bodem en het grondwater;
- het ontwerp en de technische staat van de win- en transportmiddelen, zoals pompput, putkelder en leidingwerk, oftewel: de integriteit van de winmiddelen.

Uit de presentaties bleek onder meer dat de integriteit van de win- en transportmiddelen als grootste risicofactor voor fecale verontreiniging wordt beschouwd.

De integriteit van winmiddelen wordt niet expliciet aangetoond op basis van de Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (Inspectierichtlijn 5318). Door de waterleidingbedrijven is wel veel aandacht besteed aan het beschrijven van de kwaliteit van de winmiddelen en een belangrijke meerwaarde is dan ook dat veelal versnipperd aanwezige informatie nu systematisch is verzameld en gerangschikt. De aangeleverde informatie is echter nog niet dusdanig dat op basis hiervan de integriteit van de winmiddelen expliciet kan worden vastgesteld. Hiervoor is een nader onderzoek van de winput en de grondwaterkwaliteit ter plaatse noodzakelijk.

De inspectierichtlijn is primair bedoeld als richtsnoer voor het opstellen van een systeemanalyse waarmee een effectief meetprogramma kan worden opgesteld en vervolgens de verwijderingscapaciteit van het systeem kan worden berekend. Het vaststellen van de integriteit van winmiddelen onder 'normale' en 'bijzondere' omstandigheden vormt een onderdeel van de zogenaamde waterveiligheidsplannen (Water Safety Plans) (WHO, 2004). Er ligt nog geen wettelijke verplichting bij waterleidingbedrijven om deze plannen op te stellen. Zeer waarschijnlijk komt deze verplichting er wel met de nu lopende revisie van de Europese Drinkwaterrichtlijn (98/83/EG). De sector heeft zichzelf echter ten doel gesteld om deze plannen in te voeren.

In 2007 is door Kiwa Water Research het boek 'Hygiëne bij winmiddelen' (Leunk en Van Lieverloo) uitgebracht. Dit boek is geschreven in samenwerking met vertegenwoordigers van de waterleidingbedrijven. Verontreinigingsrisico's bij ontwerp, aanleg en exploitatie zijn geïnventariseerd en verbetermaatregelen worden beschreven. In Tabel 6.1 zijn deze risico's samengevat. De effectiviteit van verbetermaatregelen is echter ook sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden zoals bodemgesteldheid en de staat van de aanwezige technische middelen. In de risicoanalyse microbiologische veiligheid drinkwater is de technische staat van de winmiddelen daarom ook een apart onderdeel in de checklist.

Tabel 6.1 Verontreinigingsrisico's winmiddelen gedurende ontwerp, aanleg en exploitatie (Leunk en van Lieverloo, 2007).

Fase	Risico
Ontwerp	<ul style="list-style-type: none"> • Toestroming water op maaiveld naar put • Onvoldoende dikke onverzadigde zone bij infiltratiesystemen, met risico kortsluitstromen • Lekkage putkelder (van boven- en onderzijde) • Afwerking peilbuizen is lager dan hoogste grondwaterstand (zowel over- en onderdruk vormen risico) • Schade door zettingen aan peilbuizen en/of kelder • Lekkage leidingen en appendages
Aanleg	<ul style="list-style-type: none"> • Open opslag materialen • Werkwater ≠ drinkwater • Omstortingsmateriaal put verontreinigd • Onvoldoende afwerking afdichtende kleil(a)ag(en) • Boorspoeling met polymeren • Onvoldoende schoonpompen put na werkzaamheden • Onvoldoende desinfectie peilbuizen en pomp bij inbouw
Exploitatie	<ul style="list-style-type: none"> • Kadavers in waterwingebied • Lekkage van koppelingen, putkelder, peilbuizen • Regeneratiewerkzaamheden • Reparatie en vervanging • Lekkage ruwwaterleiding, directe verontreiniging door ondiep grondwater

7 Vertaalslag naar beschermingsbeleid

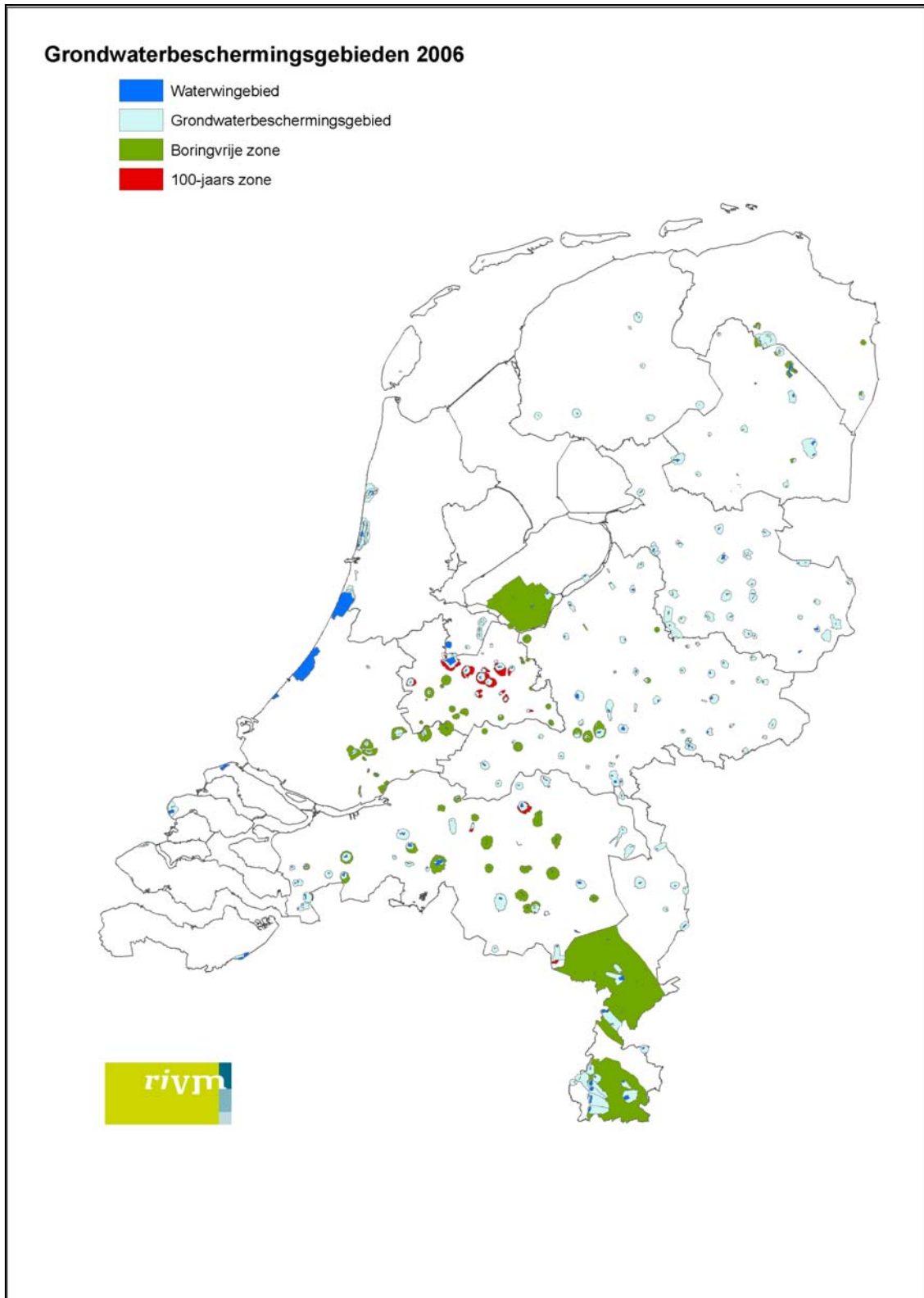
7.1 Inleiding

De hernieuwde aandacht voor de duurzaamheid van de bron, de zekerstelling van de drinkwaterkwaliteit, maar ook het gebrek aan wetenschappelijke basis vormen de aanleiding om de 60-dagenzone opnieuw onder de loep te nemen. De omvang van het waterwingebied is in de jaren '80 vastgesteld op basis van de verwijdering van *E.coli*. Inmiddels is bekend dat virussen veel persistenter zijn. Door Van der Wielen et al. (2006) is een classificatie opgesteld van freatische grondwaterwinningen die door hun bodemeigenschappen in meer of mindere mate kwetsbaar zijn voor verontreiniging van het grondwater met virussen. De kwetsbaarheid op zichzelf leidt echter niet tot verontreiniging, er moet ook een verontreinigingsbron in de nabijheid van de winning aanwezig zijn. In het in dit rapport beschreven project is onderzocht in hoeverre deze combinatie in praktijk leidt tot verontreiniging van het grondwater en risico's voor de volksgezondheid. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de mogelijke vertaling van de bevindingen naar het beschermingsbeleid en de relatie met andere plannen en instrumenten.

7.2 Huidig beschermingsbeleid van grondwaterwinningen

Het ministerie van VROM hanteert als beleidsuitgangspunt dat de kwaliteit van de bronnen voor drinkwaterbereiding dusdanig moet zijn dat het mogelijk is om met behulp van eenvoudige technieken betrouwbaar drinkwater te produceren (VROM, 1995). Dit beleidsuitgangspunt wordt extra versterkt door de introductie van de Kaderrichtlijn Water (KRW), waarbij aan de doelstelling van voldoende grondwater van goede chemische kwaliteit een resultaatsverplichting is verbonden.

Het beschermingsbeleid van grondwaterwinningen wordt uitgevoerd op grond van de Wet Milieubeheer. Het ministerie van VROM stelt de beleidsuitgangspunten vast en provincies geven vorm en uitvoering aan het beschermingsbeleid in provinciale grondwaterplannen, milieuplannen of omgevingsplannen. Provincies kunnen rondom winningen grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones aanwijzen. Voor de meeste grondwaterwinningen is dit ook gedaan, met uitzondering van een viertal stedelijke winningen. Verankering van deze gebieden vindt plaats in de Provinciale milieuverordening (Pmv). De Pmv heeft een bindende doorwerking naar planvorming op andere beleidsterreinen van het omgevingsrecht, zoals de ruimtelijke ordening. Als beschermingsgebieden zijn veelal 25-jaars- en, bij enkele mogelijk zeer kwetsbare winningen, 100-jaarszones aangewezen. Provincies bepalen zelf de invulling van het beschermingsbeleid. In IPO-verband is bijvoorbeeld wel een model-Pmv ontwikkeld, maar provincies blijken in de praktijk verschillende beleidskeuzes te maken. In Figuur 7.1 zijn de waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones in Nederland weergegeven. Dit is de situatie van 2006 en is gebaseerd op provinciale informatie.



Figuur 7.1 Waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones in Nederland (provinciale informatie 2006).

7.3 Bescherming op basis van risicobenadering

Eén van de te beantwoorden vragen bij de uitvoering van het onderzoek was of een als mogelijk kwetsbaar bestempelde winning met een mogelijke verontreinigingsbron in of in de directe nabijheid van het waterwingebied kan leiden tot verontreiniging van het grondwater in de winputten. Uit de resultaten blijkt dat er inderdaad sporen van verontreiniging worden aangetroffen, maar in lagere concentraties dan vooraf is ingeschat. De invloed van bodempassage op de grondwaterkwaliteit is groot. Dit kan onder andere verklaard worden door het optreden van menging van grondwater van verschillende leeftijden en bronnen en doordat de werkelijke reistijd van grondwater binnen het waterwingebied langer is dan de opgegeven 60 dagen (zie ook paragraaf 6.3). Dit resultaat betekent helaas nog niet dat direct kan worden geconcludeerd of er wordt voldaan aan het infectierisico. Vaststelling van het infectierisico is voor grondwater namelijk niet mogelijk op grond van directe metingen (zie ook hoofdstuk 6). De meetresultaten zullen daarvoor moeten worden aangevuld met een (deels kwalitatieve) analyse van het systeem met informatie over de verwijderingscapaciteit van de zuivering, de integriteit van de winmiddelen, de verontreinigingsbronnen (kwantiteit en kwaliteit, seizoensvariëaties) en het gedrag van het grondwater binnen het waterwingebied.

Door Kiwa Water Research (Van der Wielen et al., 2008) is een veldproef uitgevoerd, waarbij fagen direct in het watervoerende, anoxische, pakket zijn gedoseerd. De condities worden beschouwd als worst case-omstandigheden: anoxisch milieu, lage pH, geen onverzadigde zone. Onder deze condities blijkt een bodempassage van 110 dagen noodzakelijk om een zodanige verwijdering te bewerkstelligen dat wordt voldaan aan het infectierisico. De condities van de veldproef zijn vervolgens vergeleken met de kenmerken van de grondwaterwinningen in Nederland (omvang 60-dagenzone, pH, redox, dikte onverzadigde zone). Van der Wielen (2008) concludeert in zijn studie dat 176 van de 204 grondwaterwinningen in Nederland met 60 dagen reistijd afdoende beschermd zijn tegen virusdoorbraak bij de pompput. Bij 11 mogelijk kwetsbare winningen biedt, in het geval van een lekkend riool, 60 dagen reistijd niet voldoende veiligheid tegen virusdoorbraak bij de pompput en wordt aanbevolen deze te verlengen naar 110 dagen verblijftijd. Daarbij wordt de lengte van de 110-dagenzone in meters berekend met horizontaal en verticaal transport. Voor de resterende 17 freatische, suboxische grondwaterwinningen is niet bekend of de 60-dagen verblijftijd voldoende is, maar verwacht wordt door de auteurs dat deze niet meer dan 110 dagen bedraagt.

Ook door het RIVM zijn in de afgelopen jaren meerdere veldstudies uitgevoerd naar de doorbraak van virussen onder verschillende condities (Schijven et al., 1999; 2000; 2004). De resultaten van deze studies sluiten goed op elkaar aan. Er is discussie over de modelmatige vertaalslag van deze bevindingen naar beschermingszones, in het bijzonder over de toegepaste factoren.

Het voordeel van een modelmatige benadering is dat er generieke data worden gegenereerd over de benodigde bescherming van de Nederlandse grondwaterwinningen. De resultaten van het hier uitgevoerde onderzoek laten zien dat elke winning haar eigen kenmerken en risico's heeft en dat het voor een veilige drinkwatervoorziening van belang is deze te kennen:

- De bijdrage van kleine (infiltratie)bronnen, binnen of vlakbij het waterwingebied, kan significant zijn voor de grondwaterkwaliteit. Dit water kan een veel kortere verblijftijd hebben tot de winput, omdat het binnen het waterwingebied infiltreert. Daarnaast kunnen op deze schaal preferente stroombanen een rol spelen.
- De werkelijke verblijftijd grondwater in waterwingebied is vaak groter dan 60 dagen door de invloed van verticaal transport, maar ook door de begrenzing van het waterwingebied op basis van herkenbare punten in het landschap en de eigendomsverhoudingen.
- De integriteit van de winmiddelen vormt een belangrijke risicofactor voor de microbiologische veiligheid.

In Figuur 7.2 zijn de stappen in beeld gebracht die voor winningen zouden kunnen worden uitgevoerd bij het in beeld brengen van eventuele gezondheidsrisico's bij mogelijk kwetsbare grondwaterwinningen. Deze risicobenadering bevat elementen van:

- Water Safety Plans (WHO, 2004);
- VROM-Inspectierichtlijn 'Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater' (VROM, 2005);
- gebiedsdossiers (Wuijts et al., 2008);
- leveringsplannen (Waterleidingbesluit).

Deze benadering is ook niet bedoeld als nieuw instrument, maar als ordening van al uitgevoerde plannen en taken met de Waterveiligheidsplannen als kapstok.

In Tabel 7.1 is voor genoemde plannen/analyses aangegeven in welk opzicht de elementen uit de risicobenadering aanvullend zijn hierop.

7.4 Relatie met / inpassing in andere plannen

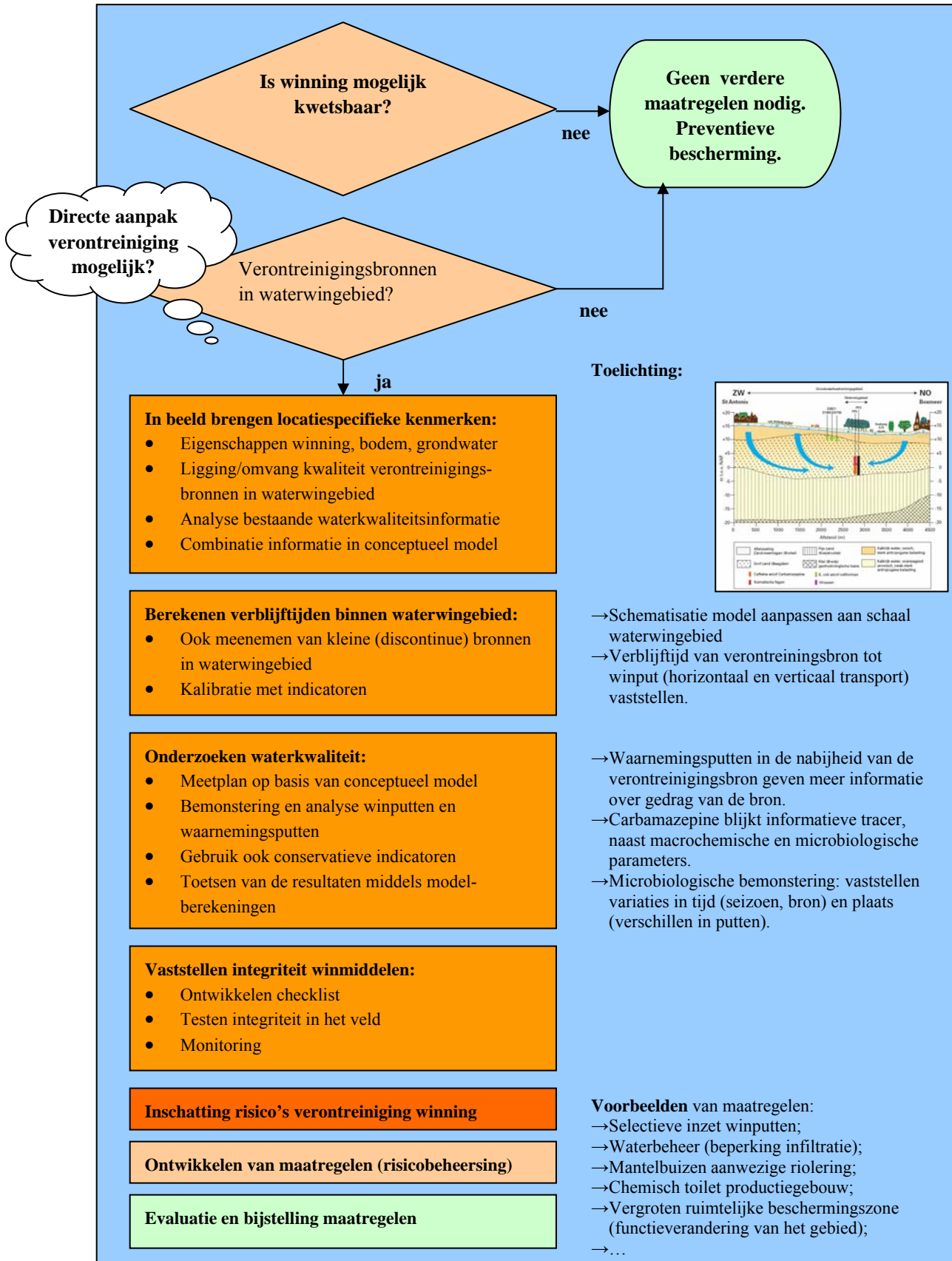
In Figuur 7.2 is een risicobenadering beschreven waaraan mogelijk kwetsbare grondwaterwinningen getoetst zouden kunnen worden om de risico's van verontreiniging door stoffen en micro-organismen beter in beeld te krijgen. Door de drinkwaterbedrijven worden op dit moment en in de komende jaren, meerdere plannen en analyses opgesteld waarin de kwaliteit van de bron aan de orde komt. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op het doel van deze plannen/analyses en de relatie met de hier beschreven risicobenadering.

VROM-Inspectierichtlijn 5138 Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater

De VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (Inspectierichtlijn 5318) dient als richtsnoer voor het opstellen van een systeemanalyse waarmee een effectief meetprogramma kan worden opgesteld, en vervolgens kan worden berekend of de volksgezondheid tot het acceptabele risiconiveau wordt beschermd. Bij de systeemanalyse wordt het waterwingebied meegenomen. Wanneer de elementen uit de hier beschreven risicobenadering in de inspectierichtlijn worden meegenomen, wordt de inspectierichtlijn verder verdiept.

Water Safety Plans

In de zogenaamde waterveiligheidsplannen (Water Safety Plans) (WHO, 2004) wordt het proces van bron tot tap onder 'normale' en 'bijzondere' omstandigheden in kaart gebracht, worden risico's geïdentificeerd en worden maatregelen ter beperking van deze risico's getroffen. De in de VROM-inspectierichtlijn beschreven risicobenadering past goed bij het concept van Water Safety Plans. Er ligt echter nog geen wettelijke verplichting bij waterleidingbedrijven om deze plannen op te stellen. Mogelijk komt deze verplichting er wel met de nu lopende revisie van de Europese Drinkwaterrichtlijn (98/83/EG). De sector heeft zichzelf echter reeds ten doel gesteld om deze plannen in te voeren.



Figuur 7.2 Risicobenadering bescherming grondwaterwinningen.

Gebiedsdossiers

Een gebiedsdossier bevat een systematische verzameling van gegevens over de betreffende waterwinning, de bron en de activiteiten in de omgeving die de waterkwaliteit negatief kunnen beïnvloeden. Op basis van een integrale analyse van deze informatie worden in het gebiedsdossier maatregelen voorgesteld die effectief zijn om de waterkwaliteitseisen te bereiken die gelden ter plaatse van het onttrekkingspunt. Deze maatregelen worden ontwikkeld in samenwerking met de betrokken partijen: provincie, waterbeheerder, drinkwaterbedrijf en gemeente. De schaal waarop gebiedsdossiers betrekking hebben is van de orde grootte van intrekgebieden. De besluitvorming over de invoering van deze gebiedsdossiers is nog gaande.

Leveringsplannen

De waterleidingbedrijven moeten op grond van het Waterleidingbesluit leveringsplannen opstellen voor de waterlevering van bron tot tap onder normale en verstoorde condities. In deze plannen wordt met name ingegaan op kwantitatieve aspecten. De risicoanalyse in het leveringsplan richt zich op alle bedreigingen met effecten op de kwantiteit en continuïteit van de levering, inclusief kwaliteitsaspecten die tot effecten op de kwantiteit kunnen leiden, zoals een verontreinigd puttenveld of een (moedwillige) verontreiniging van een reservoir.

Tabel 7.1 Relatie bestaande analyses en plannen met risicobenadering *Figuur 7.2.*

Plan/Analyse	Doel	Overeenkomst	Vershil
Risicoanalyse Inspectierichtlijn 5138	Aantoonbaar maken dat wordt voldaan aan infectierisico	<ul style="list-style-type: none">● Analyse van de winning, met name waterwingebied	<ul style="list-style-type: none">● Gericht op meetprogramma
Water Safety Plan		<ul style="list-style-type: none">● Interdisciplinair● Integrale benadering kwaliteit en kwantiteit	<ul style="list-style-type: none">● Van bron tot tap
Gebiedsdossier	Analyse relevante actoren waterkwaliteit	<ul style="list-style-type: none">● Focus op bron	<ul style="list-style-type: none">● Schaal intrekgebied● Met name chemie
Leveringsplan	Veiligstellen drinkwatervoorziening	<ul style="list-style-type: none">● Risicoanalyse	<ul style="list-style-type: none">● Kwantitatief● Gericht op verstoorde omstandigheden

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Bij de vier onderzochte grondwaterwinningen zijn tenminste één keer *E. colibacteriën* of somatische colifagen aangetroffen in één van de bemonsterde winputten, wat duidt op sporen van fecale verontreiniging. Er zijn geen adenovirussen of polyomavirussen aangetroffen, zodat niet kon worden nagegaan van welke bron (mens of dier) de verontreiniging afkomstig was. De gemeten gehalten, voor zover aangetroffen, zijn in de ordegrootte van de detectielimiet ($> 0,001$ PFU/L) en lager dan op grond van internationale studies werd verwacht.

Uit de meetresultaten kan niet direct worden afgeleid of het bij de onderzochte winningen geproduceerde drinkwater voldoet aan de norm voor het infectierisico. Om vast te kunnen stellen of de winning voldoende veilig is, is verdere analyse van het grondwatersysteem en de zuivering noodzakelijk.

De invloed van humane en animale bronnen bleek ook uit de onderzochte chemische indicatoren. Met het gebruik van indicatoren kan met meer zekerheid een uitspraak worden gedaan over de invloed van humane of animale bronnen op de grondwaterkwaliteit. Juist de combinatie van chemie en microbiologie blijkt meerwaarde te bieden. Vooral carbamazepine lijkt een veelbelovende tracer voor de kwantificering van de invloed van oppervlaktewater en/of rioolwater. Met carbamazepine als conservatieve stof kan een inschatting worden gemaakt van de bijdrage van verdunning.

Binnen het waterwingebied bleken voor de onderzochte winningen de reistijden van maaiveld naar winput veel groter te zijn dan de opgegeven 60 dagen. Mogelijk zijn om deze reden maar enkele malen virussen of bacteriën aangetroffen, en vaker (conservatieve) indicatoren voor de invloed van humane bronnen. De combinatie van verblijftijd, afbraak en verdunning was blijkbaar voldoende groot om de aanwezige virussen tot beneden de detectielimiet te reduceren.

De nu gebruikte hydrologische modellen zijn niet ontwikkeld voor het maken van reistijdberekeningen op de schaal van het waterwingebied.

De integriteit van de win- en distributiemiddelen wordt in de praktijk beschouwd als de grootste risicofactor voor de microbiologische veiligheid van drinkwater. Met de uitvoering van de Inspectierichtlijn Microbiologische Veiligheid Drinkwater, wordt de integriteit niet expliciet vastgesteld. Het verdiepen van de richtlijn of het opstellen van waterveiligheidsplannen kan hier wel in voorzien. Dit is echter nog geen wettelijke verplichting.

In de VROM-Inspectierichtlijn Microbiologische Veiligheid Drinkwater wordt gesproken over de bemonstering op zogenaamde kwetsbare momenten, bijvoorbeeld in de periode na het uitrijden van mest, hoge afvoersituaties of na hevige regenval. Eventuele pieken blijken echter sterk af te vlakken en moeilijk of niet terug te vinden te zijn in de kwaliteit van het onttrokken grondwater. Het vaststellen van kwetsbare momenten en het daarop bemonsteren, lijkt alleen realistisch wanneer van een winning bekend is dat de winmiddelen zelf kunnen falen, bijvoorbeeld door lekkage van bovenaf bij hevige regenval.

8.2 Aanbevelingen

Het huidige grondwaterbeschermingsbeleid voorziet in een bescherming aan maaiveld van het waterwingebied en het grondwaterbeschermingsgebied. In het waterwingebied zijn alle activiteiten, voor zover niet noodzakelijk voor de drinkwatervoorziening, verboden. De resultaten uit dit onderzoek geven geen aanleiding om de omvang van deze beschermingszones generiek aan te passen. Aanbevolen wordt een nadere analyse van mogelijk kwetsbare winningen en het daarvoor ontwikkelen van passende maatregelen. De voorgestelde risicobenadering biedt hiervoor een handreiking.

De reistijd van de verontreinigingsbron naar de winput is een belangrijke factor bij de verwijdering van virussen. De werkelijke verblijftijd in het waterwingebied blijkt vaak veel langer dan de opgegeven 60 dagen. Met verlenging van de bodempassage wordt het infectierisico verkleind. De nu in gebruik zijnde hydrologische modellen zijn echter vaak niet geschikt voor het maken van reistijdberekeningen binnen de schaal van het waterwingebied. Het verfijnen van de hydrologische modellen voor mogelijk kwetsbare winningen wordt daarom aanbevolen.

Chemische indicatoren zouden naast microbiologische indicatoren kunnen worden ingezet bij de uitvoering van de VROM-Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater.

In de omgeving van het waterwingebied zijn in droge perioden infiltratiebronnen van gebiedsvreemd oppervlaktewater aanwezig. Uit de onderzoeksresultaten blijken deze infiltratiebronnen de grondwaterkwaliteit in de winputten te kunnen beïnvloeden. Aangezien de infiltratie veelal in de zomer optreedt, zou deze periode mogelijk kunnen worden gezien als 'kwetsbare periode'. Door extra bemonstering tijdens en na deze periode kan meer inzicht worden verkregen in de omvang en variatie van deze beïnvloeding.

De verwijdering van virussen en bacteriën in de onverzadigde zone lijkt zeer groot te zijn. Deze bevindingen zijn gebaseerd op een eenmalige bemonstering, maar worden wel bevestigd door bevindingen uit eerdere studies (Nobel en Cirkel, 2005; Schijven et al., 1999). Aanbevolen wordt om de bemonstering op meerdere diepten, tijdstippen en locaties te herhalen, opdat een statistische analyse van de data mogelijk is.

De wijze waarop de integriteit van winmiddelen kan worden vastgesteld, moet inhoudelijk nader worden uitgewerkt en verankerd in de regelgeving.

Referenties

- Abbaszadegan, M, Stewart, P, LeChevallier, M., 1999. *A strategy for detection of viruses in groundwater by PCR*. Appl Environ Microbiol. 65(2):444-9.
- Anonymous, 1982. *Bacteriologisch onderzoek van oppervlaktewater - Kwantificeren van bacteriën van de coligroep met behulp van membraanfiltratie*. NEN6571. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymous, 1990. *Bacteriologisch onderzoek van water – Onderzoek met behulp van membraanfiltratie naar de aanwezigheid en het aantal kolonievormende eenheden van Escherichia coli*. NEN 6261. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymous, 1992. *Bacteriologisch onderzoek van water – Monsterneming en conservering*. NEN 6559. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymous, 1993. *Water – Monsterneming, deel 2 Oppervlaktewater*. NPR 6600. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymous. 2000a. *Waterborne outbreak of gastroenteritis associated with a contaminated municipal water supply, Walkerton, Ontario, May-June 2000*. Can. Commun. Dis. Rep. 26(20):170-3.
- Anonymous, 2000b. *Water quality – Detection and enumeration of bacteriophages – part 2 Enumeration of somatic coliphages*. ISO 10705-2. International Organization for Standardization, Geneva.
- Anonymous, 2003. *Microbiology of food and animal feeding stuffs - Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination - Part 3: Specific rules for the preparation of fish and fishery products*. NEN-EN-ISO 6887-3. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Allard, A., Albinsson, B., Wadell, G., 2001. *Rapid typing of human adenoviruses by a general PCR combined with restriction endonuclease analysis*. Journal of Clinical Microbiology 39:498-505.
- Berg, G. van den, Balemans, M., Bernhardt, L., Mons, M., Gijsbertsen, A., 2006. *MKBA Bodemsanering: casus Grondwaterwinning t.b.v. consumptie/(vm) tankstation*. Kiwa Water Research in opdracht van Milieu en Natuurplanbureau. KWR 06.083. Bedrijfsinformatie van Vitens.
- Borchardt, M.A., Bertz, P.D., Spencer, S.K., Battigelli, D.A., 2003. *Incidence of enteric viruses in groundwater from household wells in Wisconsin*. Appl. Environ. Microbiol. 69(2):1172-80.
- Buerge, I.J., Poiger, T., Müller, M.D., Buser, H.R., 2003. *Caffeine, an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters*. Environmental Science & Technology, Vol. 37, no. 4, 2003, 691-700.
- Clark, C.G., Bryden, L., Cuff, W.R., Johnson, P.L., Jamieson, F., Ciebin, B., Wang, G., 2005. *Use of the oxford multilocus sequence typing protocol and sequencing of the flagellin short variable region to characterize isolates from a large outbreak of waterborne Campylobacter sp. strains in Walkerton, Ontario, Canada*. J Clin Microbiol. 43(5):2080-91.
- Clark, I.D., Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. New York, Lewis Publishers.
- Drewes, J.E., Heberer, T., Rauch, T. and Reddersen, K., 2003. *Fate of pharmaceuticals during ground water recharge*. Ground Water Monit. Remediat. 23:64-72.
- Fout, G.S., Martinson, B.C., Moyer, M.W., Dahling, D.R., 2003. *A multiplex reverse transcription-PCR method for detection of human enteric viruses in groundwater*. Appl. Environ. Microbiol. 69(6):3158-64.
- Fraters, B., Boumans, L.J.M., Prins, H.P., 2001. *Achtergrondconcentraties van 17 sporenmatalen in het grondwater van Nederland*. RIVM-rapport 71170101. www.rivm.nl (maart 2007).

- Gallay, A., Valk, H. de, Cournot, M., Ladeuil, B., Hemery, C., Castor, C., Bon, F., Mégraud, F., Le Cann, P., Desenclos, J.C.: Outbreak Investigation Team. 2006. *A large multi-pathogen waterborne community outbreak linked to faecal contamination of a groundwater system, France, 2000*. Clin Microbiol Infect. 2006 June 12(6):561-70.
- Hänninen, M.L., Haajanen, H., Pummi, T., Wermundsen, K., Katila, M.L., Sarkkinen, H., Miettinen, I., Rautelin, H., 2003. *Detection and typing of Campylobacter jejuni and Campylobacter coli and analysis of indicator organisms in three waterborne outbreaks in Finland*. Appl. Environ. Microbiol. 69(3):1391-6.
- Hegarty, J.P., Dowd, M.T., and Baker, K.H., 1999. *Occurrence of Helicobacter pylori in surface water in the United States*. J. Appl. Microbiol. 87:697-701.
- Hernroth, B. E., Conden-Hansson, A.C., Rehnstam-Holm, A.S., Girones, R. and Allard, A.K., 2002. *Environmental factors influencing human viral pathogens and their potential indicator organisms in the blue mussel, Mytilus edulis: the first Scandinavian report*. Appl. Microbiol. 68:4523-4533.
- Leunk, I., Lieverloo, J.H.M. van, 2007. *Hygiëne bij winmiddelen*. Kiwa Water Research in opdracht van het Bedrijfstak Onderzoek van de Nederlandse waterleidingbedrijven, Nieuwegein. Rapportnummer BTO 2007.038.
- Lieste, R., Witte, J.P.M., Nijs, A.C.M. de, Aggenbach, C.J.S., Pieters, B.J. Runhaar, J., Verweij, W., 2007 (concept). *KRW: afstemming doelstellingen grondwater en ecosystemen*. RIVM-rapport 607300 002. RIVM, Bilthoven.
- Locas, A., Barthe, C., Barbeau, B., Carrière, A. and Payment, P., 2007. *Virus occurrence in municipal groundwater sources in Quebec, Canada*. Can. J. Microbiol. 53:688-694.
- Maluquer de Motes, C., Clemente-Casares, P., Hundesa, A., Martín, M. and Girones, R., 2004. *Detection of bovine and porcine adenoviruses for tracing the source of fecal contamination*. Applied and Environmental Microbiology 70:1448-1454.
- Maurer, A.M., Stürchler D., 2000. *A waterborne outbreak of small round structured virus, campylobacter and shigella co-infections in La Neuveville, Switzerland, 1998*. Epidemiol. Infect. 2000 Oct;125(2):325-32.
- Meinardi, C.R., Groot, M.S.M., Prins, H.F., 2003. *Basiswaarden voor spoorelementen in het zoete grondwater van Nederland; gegevens uit de landelijke en provinciale meetnetten (LMG, PMG, LMB, sprengen Veluwe)*. RIVM, Bilthoven. RIVM-rapport 714801028. www.rivm.nl (april 2008).
- Morgenstern, P.P., Versteegh, J.F.M., 2006. *Bestrijdingsmiddelen en hun metabolieten in leidingwater. De stand van zaken en voorstellen voor beleidsstandpunten VROM*. RIVM-briefrapport 20060593 IMD/PM, Bilthoven.
- Nobel, P.J., Cirkel, D.G., 2005. *Effecten van begrazing Solleveld op de microbiologische waterkwaliteit. Resultaten van doseerproeven en vertaling naar de praktijk*. Kiwa Water Research, Nieuwegein. BTO 05.2006.
- Oasen, 2007. *Voorlopige kwetsbaarheids- en risicoanalyse microbiologische veiligheid drinkwater*. Oasen, Gouda. *Interne bedrijfsinformatie*.
- Powell, K.L., Taylor, R.G., Cronin, A.A., Barrett, M.H., Pedley, S., Sellwood, J., Trowsdale, S.A., Lerner, D.N., 2003. *Microbial contamination of two urban sandstone aquifers in the UK*. 1: Water Res. 37(2):339-52.
- Provincie Overijssel, 2006. *Beleidsplan Grondwaterbescherming Overijssel 2006*.
- Roda Husman, A.M. de, Lodder, W.J., Penders, E.J.M., Krom, A.P., Bakker, G.L., Hoogenboezem, W., 2005. *Virusses in the Rhine and source waters for drinking water production*. RIVM in opdracht van RIWA-Rijn, Nieuwegein. ISBN 90-6683-000-X.
- Roda Husman, A.M. de, Ketelaars, H.A.M., 2004. *Humane virussen in de Maas*. RIVM in opdracht van RIWA-Maas. RIVM-rapport 330200 001.

- Roda Husman, A.M. de and Bartram, J., (2007) *Worldwide supply of virus safe drinking water*. In: Human viruses in water in the series Perspectives in Medical Virology, published by Elsevier Science B.V. ISBN-10: 0444521577
- Rutjes, S.A., Roda Husman, -A.M. de, 2004. *Procedure voor virusdetectie in water ten behoeve van het Nederlandse Waterleidingbesluit 2001*. RIVM-rapport 330000007.
- Rutjes, S.A., Italiaander, R., Berg, H.H.J.L., Lodder, W.J., Roda Husman, A.M., 2005. *Isolation and detection of enterovirus RNA from large-volume water samples by using the Nuclisens miniMAG system and real-time Nucleic Acid Sequence Based Amplification*. Applied and Environmental Microbiology 71:3734-3740.
- Rutjes, S.A., Roda Husman, A.M., 2007. *Optimalisatie van virusdetectie ten behoeve van het Nederlandse Waterleidingbesluit*. RIVM/rapport 703719018.
- Sacher, F., Lang, F.T., Brauch, H.J., Blankenhorn, I., 2001. *Pharmaceuticals in groundwaters – Analytical methods and results of a monitoring program in Badem-Württemberg, Germany*. J.Chromatogr. A 938, 199-210.
- Schets, F.M., During, M., Italiaander, R., Heijnen, L., Rutjes, S.A., Zwaluw, W.K. van der, Roda Husman, A.M. de, 2005. *Escherichia coli O157:H7 in drinking water from private water supplies in the Netherlands*. Water Res. 39(18):4485-93.
- Schijven, J.F., Hoogenboezem, W., Hassanizadeh, S.M., Peters, J.H., 1999. *Modelling removal of bacteriophages MS2 and PRD1 by dune recharge at Castricum, Netherlands*. Wat. Resour. Res, 1999; 35: 1101-1111.
- Schijven, J.F., Medema, G.J., Vogelaar, A.J., Hassanizadeh, S.M., 2000. *Removal of bacteriophages MS2 and PRD1, spores of Clostridium bifermentans and E. coli by deep well injection*, J. Contam. Hydrol., 2000, 44, 301-327.
- Schijven, J.F., Bruin, H.A. de, Hassanizadeh, S.M., Roda Husman, A.M. de, 2003. *Bacteriophages and Clostridium spores as indicator organisms for removal of pathogens by passage through saturated dune sand*. Water Res. 37(9):2186-94.
- Schijven, J.F., Mülschlegel, J.H.C., Hassanizadeh, S.M., Teunis, P.F.M., Roda Husman, A.M. de, 2004. *Berekening beschermingszones van Nederlandse grondwaterwinningen voor bescherming tegen virusbesmetting - Onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse*, RIVM, Rapportnr 330000 003
- Schijven, J.F., Mülschlegel, J.H.C., Hassanizadeh, S.M., Teunis, P.F.M., Roda Husman, A.M. de, 2006. *Determination of protection zones for Dutch groundwater wells against virus contamination – Uncertainty and sensitivity analysis*, J. Water Health, 04.3, 297-312.
- Schramm, C., Gans, O., Uhl, M., Grath, J., Scharf, S., Zieritz, I., Kralik, M., Scheidleber, A., Humer, F., 2006. *Carbamazepine and caffeine – potential screening parameters for groundwater contamination because of municipal waste water?* IWA-Conference Micropol & Ecohazard, June 2007, Frankfurt. Proceedings p322-327.
- Seiler, R.L., Zaugg, S.D., Thomas, J.M., Howcroft, D.L., 1999. *Caffeine and pharmaceuticals as indicators of waste water contamination in wells*. Ground Water 37, 405-410.
- Silva, S.R., Kendall, C. et al., 2000. *A new method for collection of nitrate from fresh water and the analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios*. Journal of Hydrology 228(1-2): 22-36.
- Stuyfzand, P.J., Juhasz-Holterman, M.H.A., Lange W.J. de, 2006. *Riverbank filtration in The Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions*. In: Riverbank filtration hydrology: impacts on system capacity and water quality (ed. S.A. Hubbs), Proc. NATO Advanced Research Workshop on Riverbank Filtration Hydrology, Bratislava 7-10 Sept. 2004, Springer NATO Science Series IV, Earth and Envir. Sciences 60, 119-153.
- Tauw Milieu, 1988. *De invloed van lekkende rioleringen en overstorten op de grond- en grondwaterkwaliteit*. Tauw Milieu in opdracht van de Provincie Utrecht, Deventer. Informatie Rioned 0349B.

- Versteegh, J.F.M., Aa, N.G.F.M. van der, Dijkman, E., 2007. *Geneesmiddelen in drinkwater en drinkwaterbronnen, Resultaten van het meetprogramma 2005/2006*. RIVM, Bilthoven. RIVM-rapport 703719016. www.rivm.nl (april 2008).
- Vitens, 2005. *Status ruwwaterkwaliteit, winvelden Goor*.
- Vitens, 2007. *Factsheet Vitens Visie Duurzame Winningen (fase 2)*.
- VROM, 1995. *Beleidsplan Drink- en Industriewatervoorziening*. Tweede Kamer der Staten-Generaal. Den Haag. Nr. 23 168. ISSN 0921 – 7371.
- VROM, 2007. *Uitvoering beleid inzake de bescherming van bronnen voor de drinkwatervoorziening in relatie tot de implementatie van de Kaderrichtlijn Water*. Notitie opgesteld ten behoeve van het Landelijk Bestuurlijk Overleg Water, Ministerie van VROM, Den Haag.
- Wang, J., Horner, G.W., O'Keefe, J.S., 2004. *Detection and molecular characterisation of bovine polyomavirus in bovine sera in New Zealand*. New Zealand Veterinary Journal 53:26-30.
- Westrell, T., P. Teunis, H. van den Berg, W. Lodder, H. Ketelaars, T.A. Stenström, Roda Husman, A.M. de, 2006. *Short- and long-term variations of norovirus concentrations in the Meuse river during a 2-year study period*. Water Research 40:2613-2620.
- Wielen, P.W.J.J. van der, Senden, W.J.M.K., Medema, G.J., 2005. *Het modelleren van microbiologische beschermingszones rond grondwaterwinningen*. Kiwa Water Research in opdracht van de waterleidingbedrijven. BTO 2005.035.
- Wielen, P.W.J.J. van der, Senden, W.J.M.K., Medema, G.J., 2006. *Presumptive classification of the Dutch phreatic sandy groundwater well systems using a microbiological vulnerability index revisited*. Kiwa Water Research, Nieuwegein. Kiwa Water Research in opdracht van de Nederlandse waterleidingbedrijven. Rapportnummer BTO 2006.015 (s).
- Wielen, P.W.J.J. van der, Senden, W.J.M.K., Medema, G.J., 2008. *De microbiologische veiligheid van de 60-dagenzone rond grondwaterwinningen*. Kiwa Water Research, Nieuwegein. Kiwa Water Research in opdracht van de Nederlandse waterleidingbedrijven. Rapportnummer BTO 2008.004.
- World Health Organization (WHO), 2003. *Emerging Issues in Water and Infectious Disease*. Geneva. ISBN 92 4 159082 3
- World Health Organization (WHO), 2004. *Guidelines for Drinking-Water Quality, third edition, volume 1*. Geneva. ISBN 92 4 154638 7.

Bijlage 1 Kenmerken winning Zutphen

De winning van grondwater in Zutphen is gestart in 1889. Vroeger lag de winning in de periferie van de stad Zutphen, maar in de loop van de tijd is de stad ‘over de winning heen gegroeid’ (Figuur B1.1). In het grondwaterbeschermingsgebied liggen inmiddels een bedrijventerrein, een volkstuinencomplex en een woonwijk. In het waterwingebied is een Joodse begraafplaats gelegen, die niet mag worden geruimd. Een zijtak van de rivier de IJssel doorstroomt het waterwingebied van Zutphen. De winning kan worden gekarakteriseerd als een stedelijke winning die direct onder invloed staat van het oppervlaktewater.

De winning te Zutphen is een freatische, oxische winning, met een relatief dunne onverzadigde zone (4 m). De onttrekkingsvergunning bedraagt 2,25 mln.m³/jaar, de gemiddelde productie circa 2 mln.m³/jaar.



Figuur B1.1 Ligging waterwingebied en grondwaterbeschermingsgebied in de gemeente Zutphen.

In Tabel B1.1 is het zuiveringschema van Zutphen weergegeven. Daarnaast is in 2001 MTBE aangetroffen in één van de winputten in de ordegrootte van 3 µg/l. Deze verontreiniging van het grondwater bleek te zijn veroorzaakt door lekkage van een nabijgelegen benzinstation. De verontreiniging wordt aangepakt middels een kleine interceptieput en CO₂-stripper in het

waterwingebied. Hiermee wordt voorkomen dat andere winputten worden verontreinigd met MTBE en neemt de verontreinigingspluim langzaam af in omvang en gewicht (Van den Berg et al., 2006).

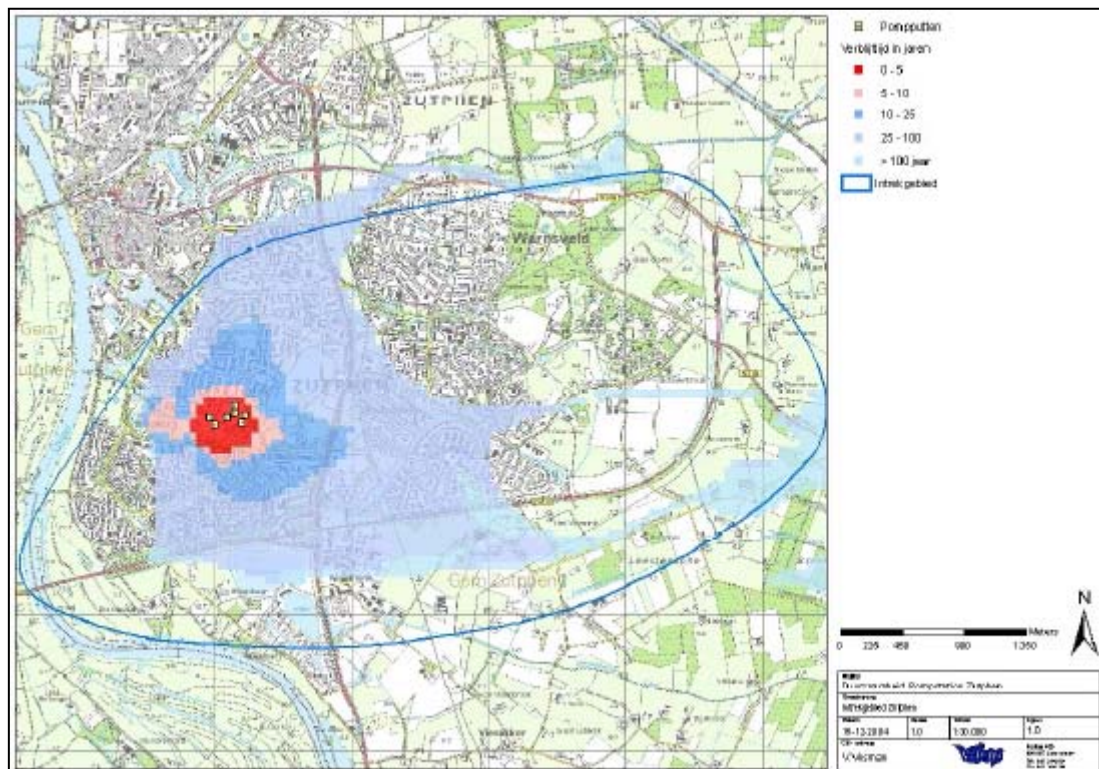
Tabel B1.1 Opzet zuiveringsproces Waterproductiebedrijf Zutphen

Stappen zuiveringsproces	Doel
Beluchting/strippeer Infiltratie deelstroom	<ul style="list-style-type: none"> • Ontijzering en ontgassing door beluchting • Verwijdering oxidatievlokken
Pelletreactor	<ul style="list-style-type: none"> • Ontharding
2-traps filtratie	<ul style="list-style-type: none"> • Verwijdering oxidatievlokken

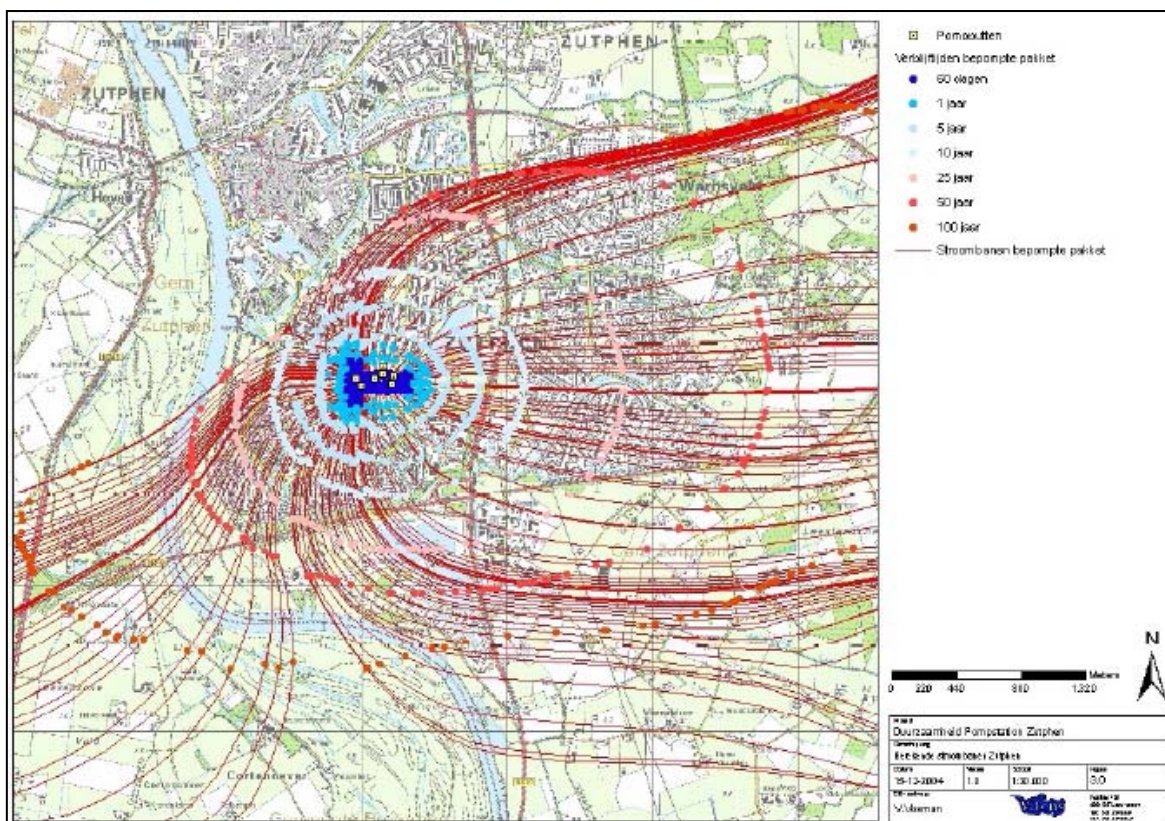
In 1992 is geohydrologisch modelonderzoek verricht voor de winning Zutphen. In het kader van dit onderzoek is, op basis van stroombaanberekeningen, gekeken naar de herkomst van het grondwater. Circa 50% van het onttrokken grondwater was afkomstig van buiten het gemodelleerde gebied. De looptijd van dit water kan dus niet exact worden berekend. Deze zal uiteenlopen van ruim 100 jaar, voor water afkomstig van het gebied ten oosten van de winning, tot vele duizenden jaren voor water afkomstig van de Veluwe. De overige 50% van de onttrekkingshoeveelheid viel wél binnen de grenzen van het model. De looptijd van maaiveld of infiltrerende waterlopen tot aan de putfilters varieert van ruim 1 jaar tot meer dan 400 jaar. 25% van het te winnen grondwater heeft een verblijftijd van minder dan 25 jaar. Dit maakt de winning vrij kwetsbaar voor verontreinigingen van boven.

De bijdrage van rivierwater op het opgepompte water is niet exact bekend, maar wordt geschat op ongeveer 30% (Stuyfzand et al., 2004).

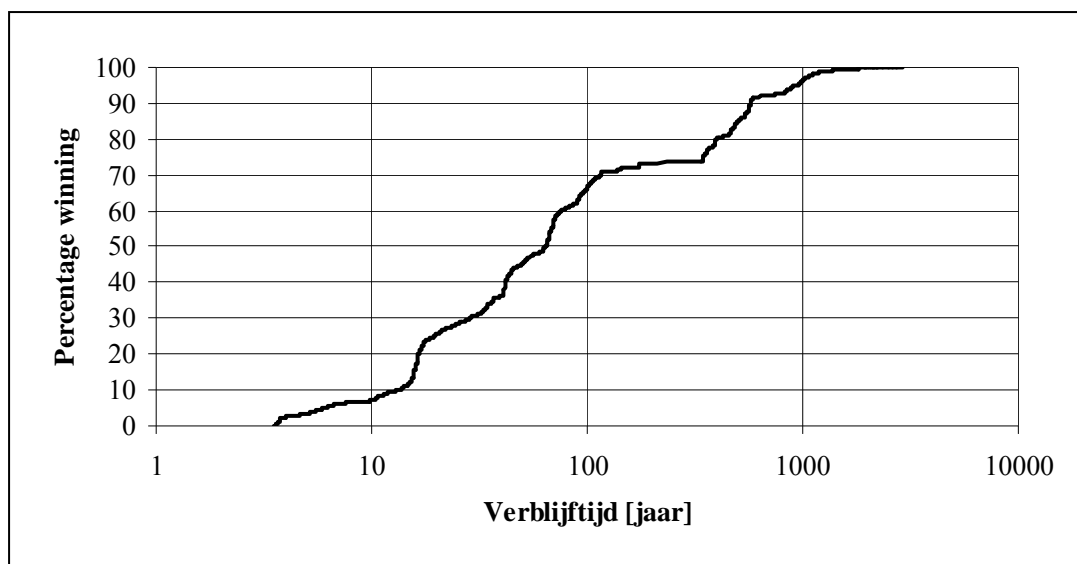
Het onttrokken grondwater wordt gekarakteriseerd als kalkrijk aerob en anaerob (Van den Berg et al., 2006). De stroombaanberekeningen en bijbehorende verblijftijden zijn weergegeven in de figuren B1.2 en B1.3.



Figuur B1.2 Berekend intrekgebied winning Zutphen.



Figuur B1.3 Berekende verblijftijden en stroombanen in bepaamt pakket winning Zutphen.



Figuur B1.4 Responscurve winning Zutphen bij een productiecapaciteit van 2 mln. m³/jaar.

Chemische grondwaterkwaliteit

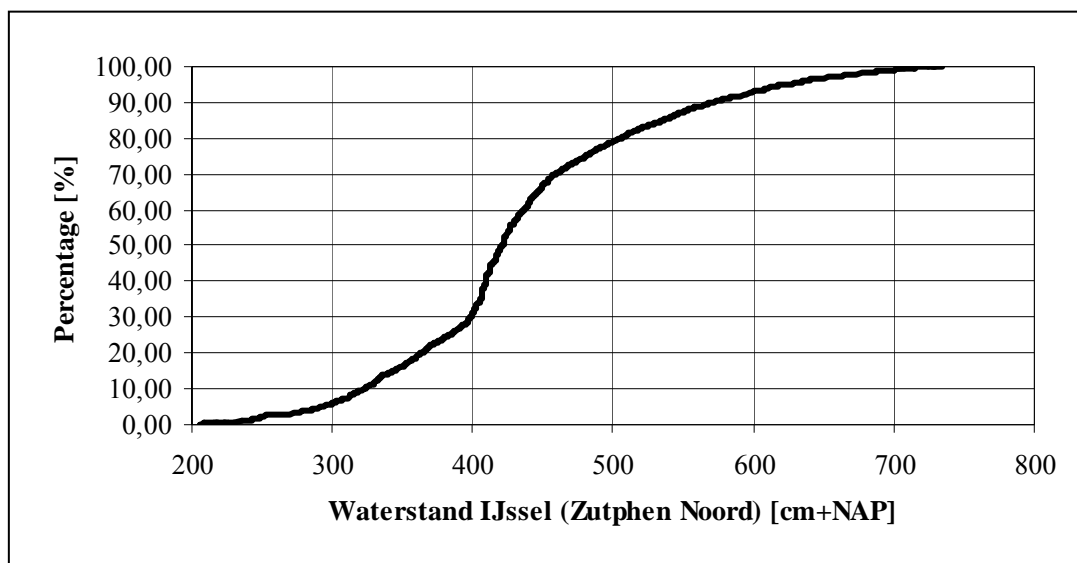
Eén put is buiten bedrijf vanwege het chloridegehalte. Kwaliteitsgegevens van deze put zijn ook niet opgenomen in Tabel B1.2. De overige putten zijn in bedrijf met een debiet van 100 – 110 m³/uur/put.

Metingen van de individuele winputten voor de parameters chloride, ammonium, nitraat, fosfaat, boor, EGV en sulfaat zijn onderling vergeleken. De meetlocaties werden geselecteerd op basis van de mate

van beïnvloeding door oppervlaktewater. Op basis hiervan zijn de putten 03-19 en 05-23 geselecteerd als monsterputten.

Tabel B1.2 Steekmonsters individuele winputten Zutphen.

Putnummer	06-18	01-09A	02-22	03-19	04-21	05-23
Datum	21-2-'06	6-4-'06	6-4-'06	17-5-'06	6-4-'06	13-2-'06
Chloride [mg/l]	81	130	53	150	87	94
EGV [mS/m]	79,6	85,1	71,9	82,5	79,6	80,8
Ammonium [mg NH ₄ /l]	1,0	1,1	1,5	0,95	0,80	0,92
Nitraat [mg NO ₃ /l]	1,8	< 1,0	< 1,0	1,8	3,5	3,3
Fosfaat, ortho [mg PO ₄ /l]	0,24	0,21	0,14	0,31	0,26	0,28
Sulfaat [mg SO ₄ /l]	58	42	53	27	56	42
Boor [µg/l]	-	232	83,2	226	150	214
TOC [mg C/l]	7,7	4,1	6,8	6,3	4,1	18
Overige verontreinigingen > 0,1 µg/l	MTBE Cis 1,2-Dichlooretheen Chlooretheen	-	MTBE	MTBE Methylbenzeen	Cis 1,2-Dichlooretheen Chlooretheen	MTBE Cis 1,2-Dichlooretheen



Figuur B1.5 Frequentieverdeling waterstand IJssel bij Zutphen (2003-2007).

Bijlage 2 Kenmerken winning Goor

De winning Goor ligt in Twente aan de westkant van het dorp Goor. De winning van grondwater is gestart in 1915. Het productiebedrijf dateert van 1974 en produceert 1,3 mln.m³/jaar drinkwater uit anoxisch grondwater. De onttrekkingsvergunning bedraagt 1,5 mln.m³/jaar. In 2003 is de zuivering uitgebreid met een pelletreactor om de hardheid van het water aanmerkelijk te verlagen tot gemiddeld 1,5 – 1,6 mmol/l. In de nabije toekomst (2008 e.v.) zal de zuivering van het nabijgelegen Herikerberg worden verplaatst naar Goor. De winning Herikerberg blijft wel gehandhaafd.

De waterkwaliteit typeert zich door kalkrijk en anaeroob grondwater. De hardheid is erg hoog (> 4 mmol/l), evenals het gehalte aan waterstofbicarbonaat. Dit duidt op het natuurlijk oplossen van kalk. In Tabel B2.1 is de opzet van het zuiveringsproces weergegeven, met per stap het doel ervan.

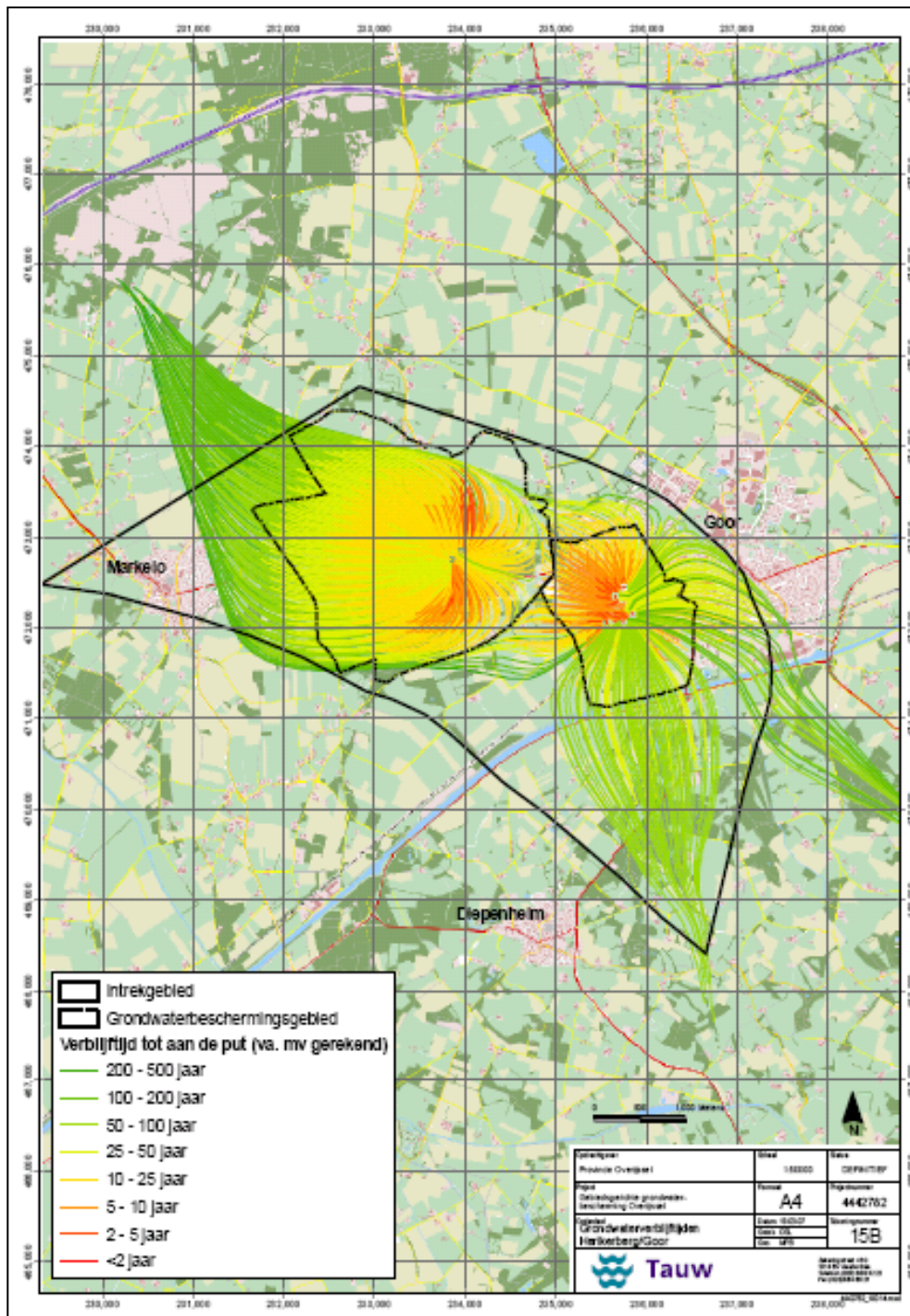
Tabel B2.1 Opzet zuiveringsproces Waterproductiebedrijf Goor

Stappen zuiveringsproces	Doel
Beluchting Voorfiltratie	<ul style="list-style-type: none"> • Ontijzering en ontgassing • Verwijdering oxidatievlokken
Pelletreactor	<ul style="list-style-type: none"> • Ontharding
Beluchting Nafiltratie	<ul style="list-style-type: none"> • Ontijzering en ontgassing • Verwijdering oxidatievlokken
Menging met drinkwater van pompstation Holten	<ul style="list-style-type: none"> • Kwaliteitsverbetering

Het gewonnen grondwater wordt onttrokken op een diepte van 25 meter uit het eerste watervoerend pakket (formatie van Drenthe). Dit pakket bestaat uit grof, goed doorlatend zand. Deze laag wordt bedekt door een laag zandige klei die deels onderbroken is. De deklaag wordt gevormd door fijn dekzand. Grondwatertoestroming vindt voornamelijk plaats vanuit noordnoordwestelijke richting (Herikerberg), de bebouwde kom van Goor en in beperkte mate uit zuidzuidoostelijke richting voorbij het Twentekanaal. Het Twentekanaal vormt aan zuidzuidoostelijke zijde de begrenzing van het grondwaterbeschermingsgebied. Het peil van het Twentekanaal is dusdanig dat er op natuurlijke wijze geen infiltratie uit het kanaal optreedt (Figuur 5.7).

De onttrekking van grondwater heeft invloed op de grondwaterstand in de omgeving. Als compenserende maatregel wordt door Vitens en het waterschap Regge en Dinkel, water uit het Twentekanaal het gebied in gepompt. Vitens beschikt daarvoor over een eigen gemaal. De hoeveelheid die jaarlijks uit het Twentekanaal wordt opgepompt varieert tussen 0,5 en 2 mln.m³/jaar. Hoeveel water daarvan daadwerkelijk infiltreert naar het grondwater binnen het intrekgebied is (nog) niet berekend, maar wordt door Vitens geschat op ongeveer 10%.

In Figuur B2.1 zijn de stroombaanberekeningen binnen het intrekgebied weergegeven. Uit de stroombanen kan worden afgeleid welk gebied de grondwaterkwaliteit kan beïnvloeden en wat de ‘gemiddelde’ tijdspanne is voordat een verontreiniging zich in de putten zal manifesteren. In Figuur B2.2 is deze informatie uitvergroot voor het waterwingebied. De stroombanen komen deels niet overeen met de begrenzing van het intrekgebied en vormen de uitkomst van een enige tijd geleden uitgevoerd project. Een integrale herberekening van de stroombanen en de begrenzing van het intrekgebied is door de provincie Overijssel, in samenwerking met Vitens, voorzien.

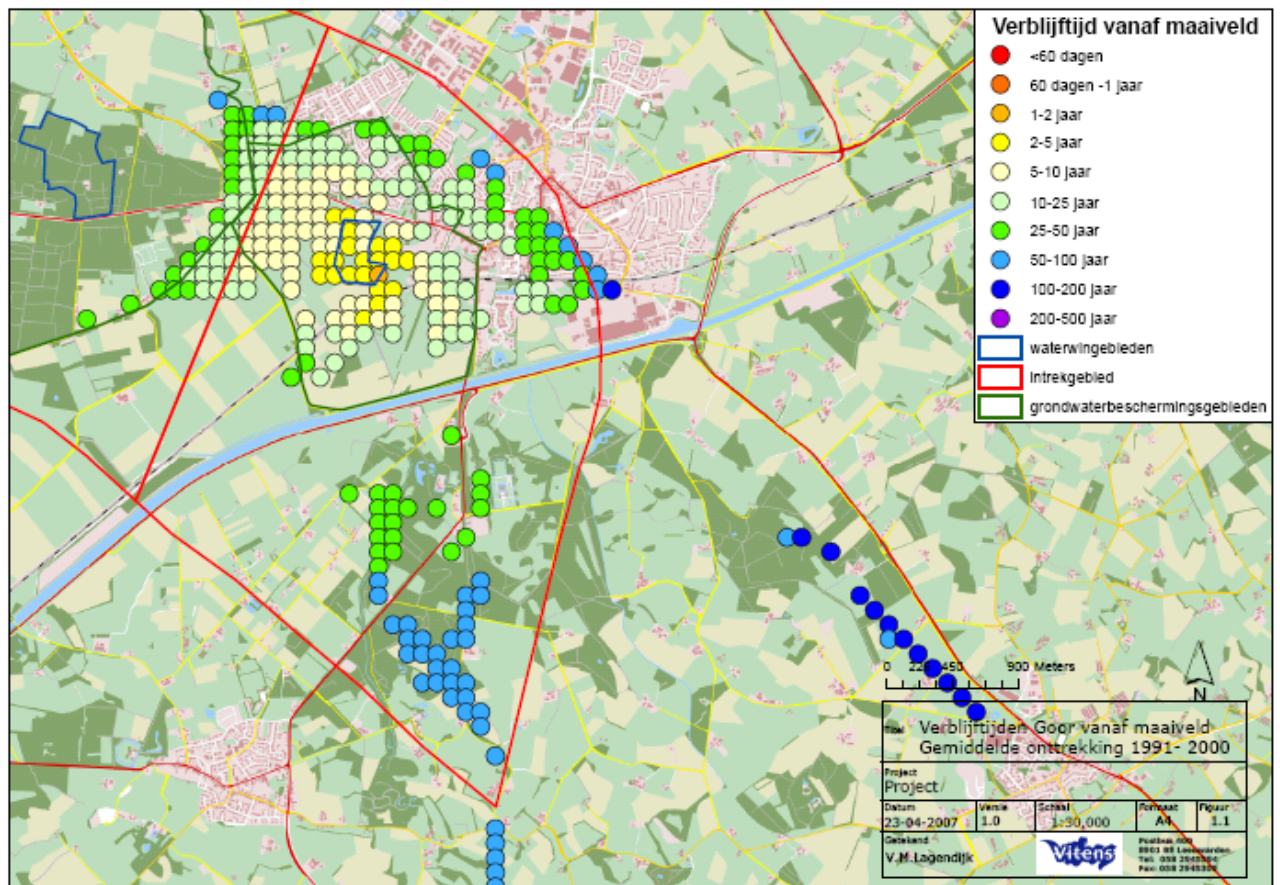


Figuur B2.1 Stroombaanberekeningen en verblijftijden intrekgebied Goor/Herikerberg.

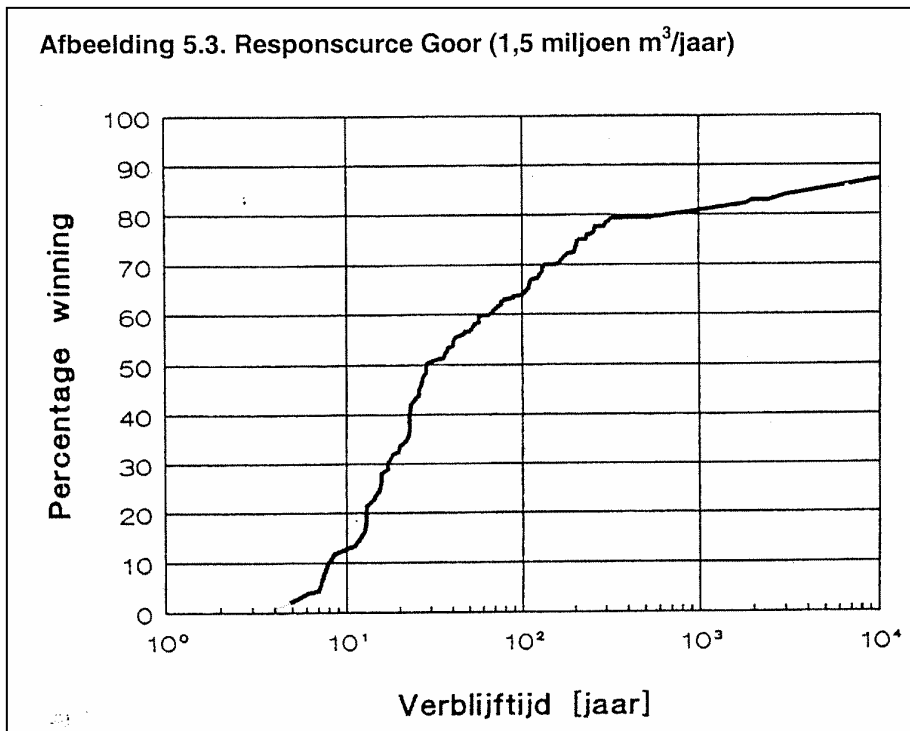
In Tabel B2.2 zijn de gebiedsvreemde stoffen weergegeven die in het verleden meermalen zijn aangetroffen in het onttrokken grondwater in individuele putten in normoverschrijdende concentraties. Dit zijn allemaal bestrijdingsmiddelen of metabolieten. In 2006 is alleen bentazon aangetroffen in een tweetal putten, in gehalten onder de norm. Verder zijn VAK's (Vluchtige Aromatische Koolwaterstoffen) en naftaleen incidenteel aangetroffen in geringe gehalten.

Tabel B2.2 Steekmonsters individuele winputten Goor. (n.g. = niet gerapporteerd).

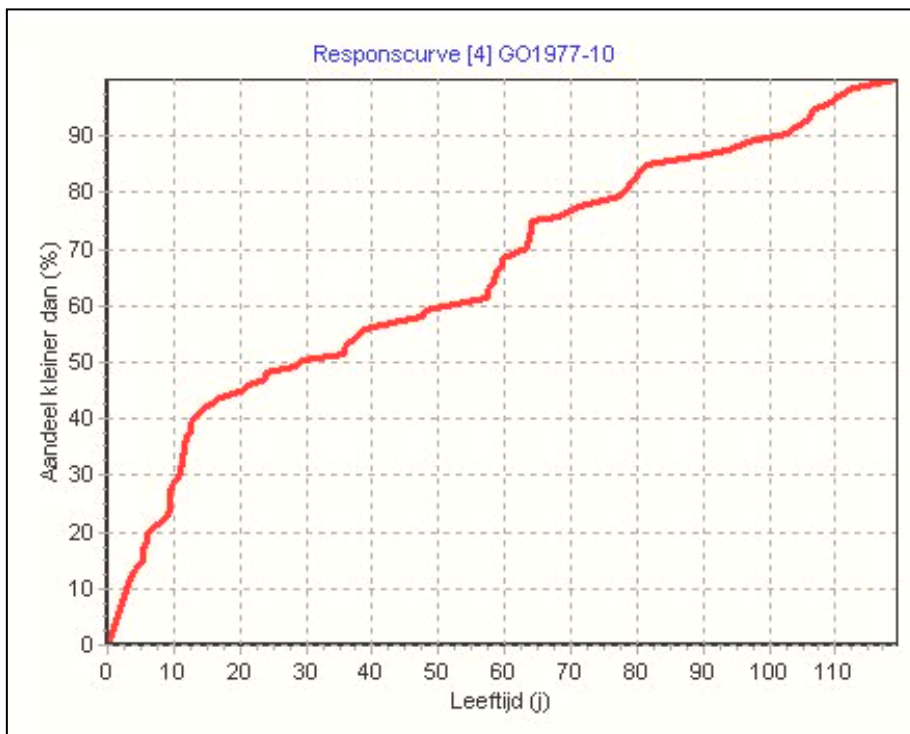
Putnummer	62-04	77-10	77-12	01-13	01-14	03-15	04-16	04-17
Monstername 14-07-2006								
Chloride [mg/l]	38	48	29	35	60	50	56	46
EGV [mS/m]	69,5	81,5	74,0	70,7	81,3	74,0	75,5	68,2
Ammonium [mg NH ₄ /l]	0,36	1,5	0,37	0,36	0,78	0,37	1,3	0,64
Nitraat [mg NO ₃ /l]	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Fosfaat, ortho [mg PO ₄ /l]	0,25	0,73	0,26	0,28	0,32	0,28	0,34	0,38
Boor [µg/l]	34,8	91,9	49,4	37,3	64,8	40,2	98,8	95,4
TOC [mg C/l]	7,2	9,7	11	5,4	9,1	1,4	10	7,6
Sulfaat [mg SO ₄ /l]	75	61	78	91	88	87	66	44
Overige verontr. > 0,1 µg/l	n.g.*	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.



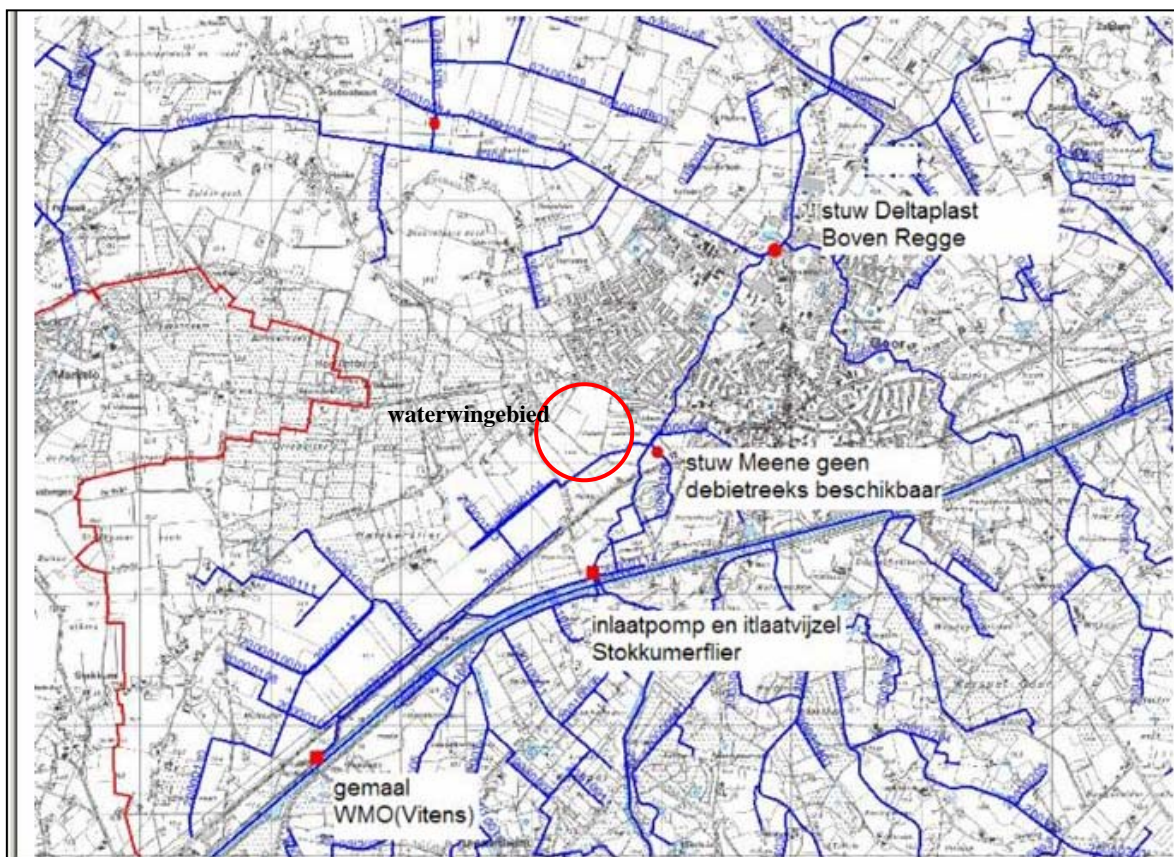
Figuur B2.2 Verblijftijden bij gemiddelde onttrekking Goor, focus op waterwingebied.



Figuur B2.3a Responscurve Goor – totaal.



Figuur B2.3b Responscurve GO1977-10.



Figuur B2.4 Ligging verdeelkanalen in waterwingebied winning Goor.

Bijlage 3 Kenmerken winning Boxmeer

De winning Boxmeer is gelegen in landelijk gebied (akkerbouw en veeteelt) en kent een jaarlijkse productie tussen 1,24 en 1,91 mln.m³/jaar. De winning beschikt over een zestal winputten die in vaste onderlinge combinaties, op basis van de afname, worden ingezet. Er bevinden zich een viertal riooloverstorten in de omgeving, deze zijn echter op grote afstand gelegen (buiten de 900 dagen berekende verblijftijd). Boxmeer is een anoxische, freatische winning, met een relatief dunne onverzadigde zone (1,5 m dikte).

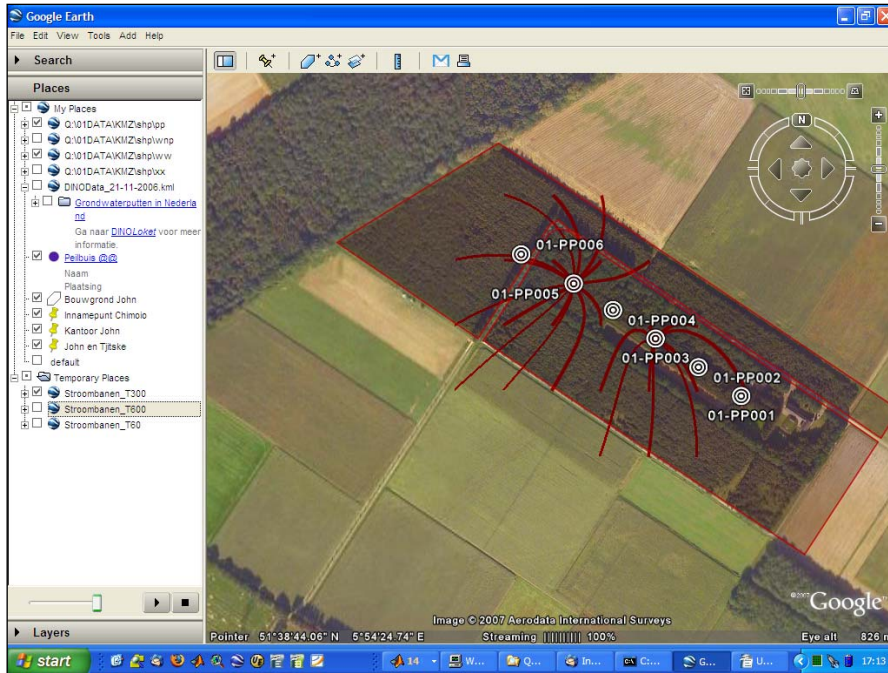
Op basis van stroombaanberekeningen is door Brabant Water onderzocht of hierin sprake is van preferentie, oftewel: van bepaalde gronden stroomt het grondwater vooral naar een bepaalde put. Putten 5 en 6 hebben de grootste capaciteit (120 m³/uur, tegenover 65 m³/uur voor de putten 1 t/m 4) en trekken daardoor ook water aan uit een groter gebied. De beschouwde waterkwaliteitsgegevens van put 5 en 6 wijken echter niet significant af van de gegevens van de putten 1 t/m 4 (Tabel B3.1).

Het water in de winputten in Boxmeer bevat lage nitraat- en verhoogde sulfaatgehalten, de pH is gemiddeld te noemen. De kwaliteitsgegevens laten geen significant onderscheid tussen de onderlinge winputten zien. In het algemeen kan worden gesteld dat de putten aan de buitenzijde van het winveld relatief gezien het meeste grondwater uit de iets wijdere omgeving van de winputten aantrekken. Besloten is daarom om de bemonstering te relateren aan de bedrijfsvoering: het grootvolume monster voor bepaling van virussen en fagen is genomen van de put met het grootste onttrekkingsdebiet aan de buitenzijde, van de overige in bedrijf zijnde putten zijn kleinere (10 L) monsters genomen en geanalyseerd op aanwezigheid van *E. coli*.

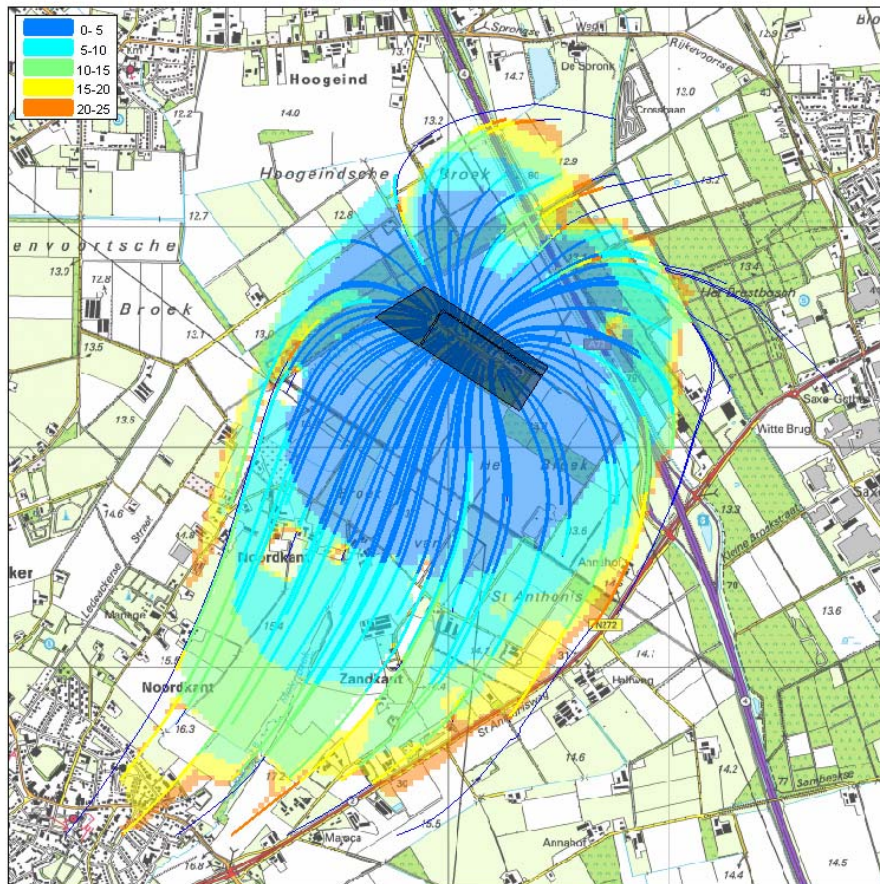
Tabel B3.1 Kwaliteit individuele winputten Boxmeer steekmonster 2006.

Putnummer	1	2	3	4	5	6
Chloride [mg/l]	45	49	41	40	35	37
EGV [mS/m]	62,5	74,7	73,0	61,1	56,4	59,4
IJzer [mg Fe/l]	12	9,4	4,6	4,8	2,5	3,8
Nitraat [mg NO ₃ /l]	0,72	1,28	2,29	1,37	0,19	1,08
Sulfaat [mg SO ₄ /l]	108	121	127	97	89	95
Kalium [mg K/l]	6	9,7	13	12	12	11
Bestrijdingsmiddelen (2001-2006)	Bentazon (inc.)*	Bentazon MCP (inc.)*	Bentazon	Bentazon	Bentazon	Bentazon

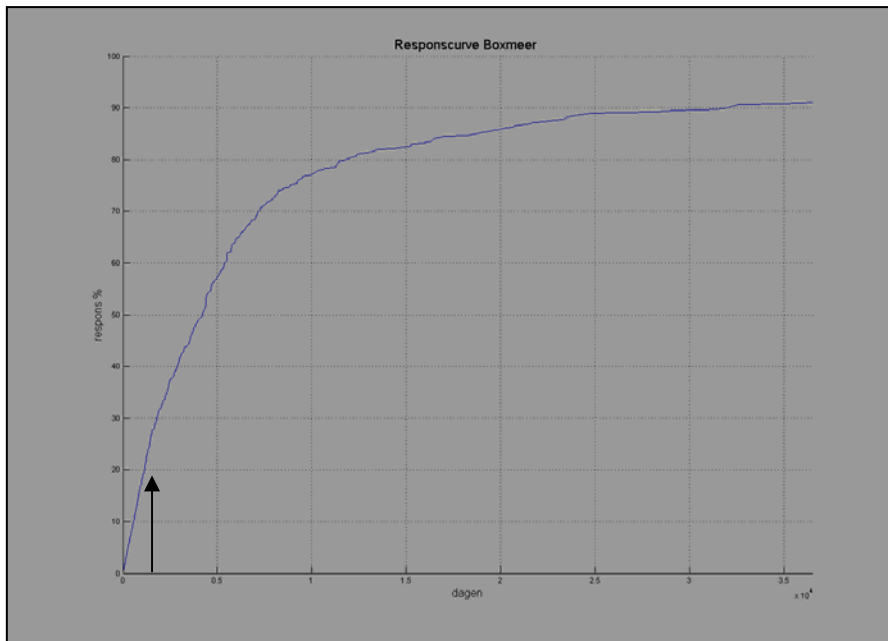
* incidenteel



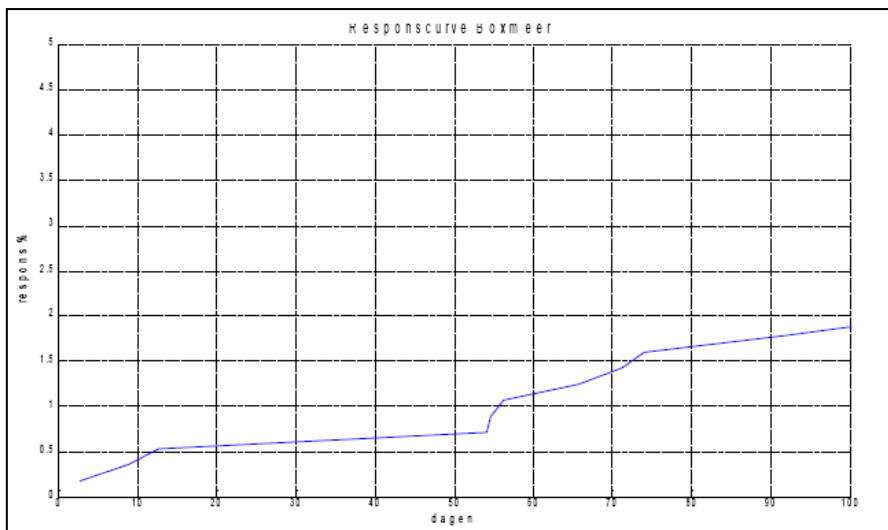
Figuur B3.1a Stroombaanberekening, verblijftijd 300 dagen (max. debiet put 5 en 3).
Boxmeer scenario: attuplus_path: verblijftijden



Figuur B3.1b Stroombaanberekening, intrekgebied Boxmeer.



Figuur B3.2a Responscurve winning Boxmeer (x-as maal 10.000 dagen).



Figuur B3.2b Responscurve Boxmeer, eerste 100 dagen.

Bijlage 4 Kenmerken winning Zwijndrecht

Zuiveringsstation de Elzengors, in Zwijndrecht, ligt aan de overgang van de rivieren de Noord en de Oude Maas. In 1897 is hier gestart met de onttrekking van oppervlaktewater. In 1954 is overgestapt op het onttrekken van grondwater. De winning heeft twee puttenvelden: Ringdijk en Noordpark. Het puttenveld Ringdijk is aangelegd op een integraal opgehoogd stuk terrein, waarop ook het zuiveringsstation is gebouwd. De putten van Noordpark staan deels in opgehoogd terrein (in een park en aan de rand van een woonwijk), en deels in niet-opgehoogd terrein (tussen sportvelden). Beide puttenvelden zijn ingeklemd tussen de rivier en stedelijke bebouwing (zie Figuur B4.1).

De onttrekkingsvergunning bedraagt 4,5 mln.m³/jaar, waarvan 3 mln.m³/jaar uit het ondiepe watervoerende pakket (oevergrondwaterwinning) en 1,5 mln.m³/jaar uit het middeldiepe en diepe watervoerende pakket. Momenteel wordt 3,2 mln.m³/jaar onttrokken, waarvan 1,7 mln.m³/jaar ondiep grondwater/oevergrondwater. Voor dit project is de aandacht gericht op de ondiepe winning.

Het ondiep gewonnen water is anaëroob doordat het infiltrerende rivierwater de rivierbodemsliblaag en/of het materiaal van de holocene deklaag passeert. Tabel B4.1 geeft een overzicht van de algemene waterkwaliteitsparameters voor de ondiepe winning. Tussen winputten kunnen onderling aanzienlijke kwaliteitsverschillen optreden, door variaties in de oppervlaktewaterkwaliteit en de verblijftijdspreiding.

Tabel B4.1 Gemiddelde kwaliteit van opgepompt ruwwater uit de ondiepe winning.

Parameter	Eenheid	Concentratie*
Ammonium	mg/l N	3,7
IJzer	mg/l	2,4
Methaan	mg/l	0,3
Organisch koolstof	mg/l C	2,4
pH	-	7,3
Sulfaat	mg/l	40
Waterstofcarbonaat	mg/l	240

*Tussen winputten zijn er aanzienlijke onderlinge verschillen.

Aan de noordrand van puttenveld Noordpark doorsnijdt een zandige riviergeulafzetting de resterende onderste klei-/veenlagen van de deklaag onder de rivier. Dit is merkbaar in de onttrokken waterkwaliteit uit de noordelijke putten. In de rest van het puttenveld is de deklaag niet volledig doorsneden.

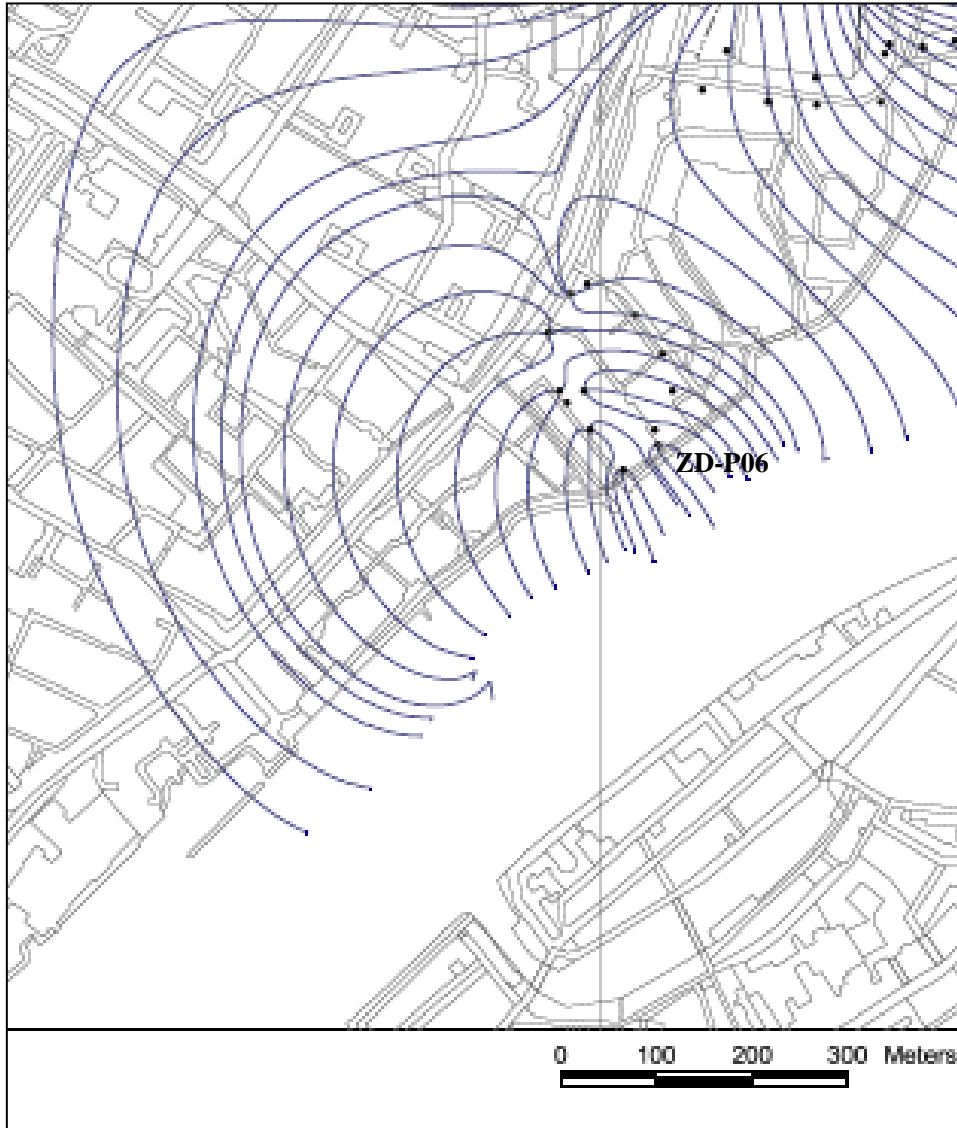
De ondiepe winning onttrekt voor meer dan 95 % oevergrondwater en daarnaast een kleine fractie water dat lokaal via de deklaag verticaal inzijgt vanaf maaiveld. Het onttrokken oevergrondwater heeft bij de meeste putten een bodempassage van ruim meer dan 60 dagen ondergaan. Voor enkele putten is de minimale bodempassage echter minder dan 60 dagen, of kan deze bij een ongunstige onttrekkings situatie minder dan 60 dagen worden. De stroombaanberekeningen zijn weergegeven in Figuur B4.2.



Figuur B4.1 Waterwingebied Zwijndrecht.

In enkele putten zijn vanaf 1995 enkele malen (indicator)bacteriën aangetroffen. Dit zijn ook de putten waar het onttrokken grondwater een relatief korte bodempassage heeft ondergaan. Voor deze putten is in Tabel B4.3 enige waterkwaliteitsinformatie samengevat. Op grond van de berekende verblijftijd is besloten om de putten ZD-P06 en ZD-P19 te bemonsteren.

Tabel B4.2 geeft de opzet van het zuiveringsproces weer, met per stap het doel ervan. Uitbreiding van het zuiveringsproces met een onthardingsstap is gepland.



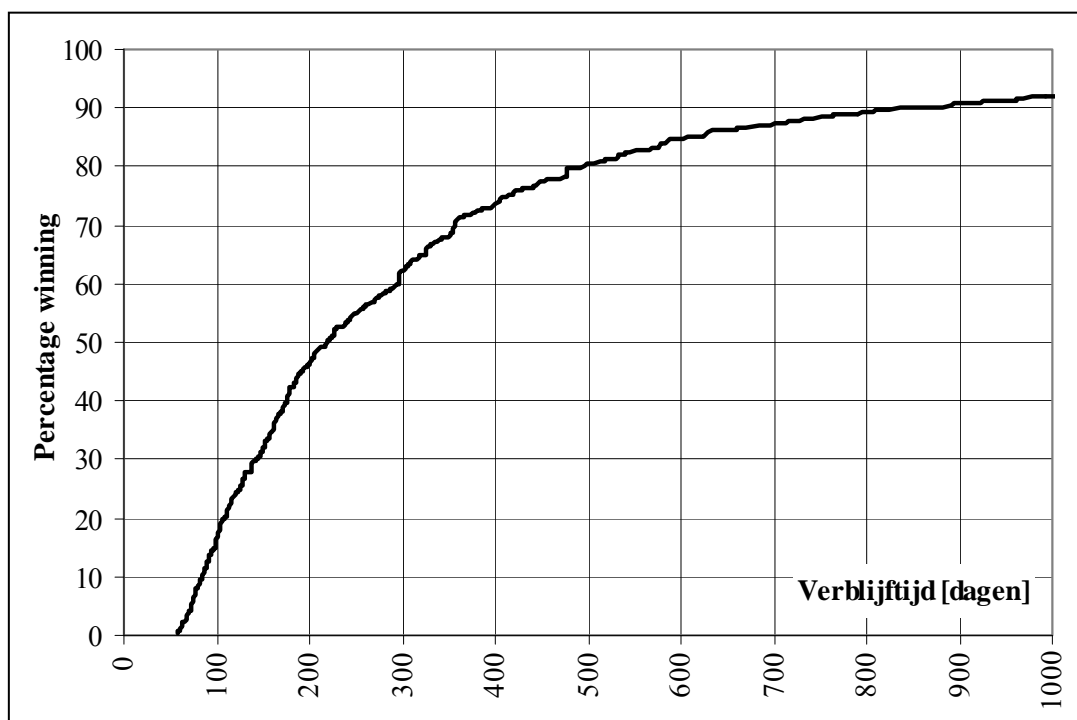
Figuur B4.2 Stroombaanberekeningen puttenveld Ringdijk (Royal Haskoning BV, 2005).

Tabel B4.2 Opzet zuiveringsproces zuiveringsstation de Elzengors, Zwijndrecht.

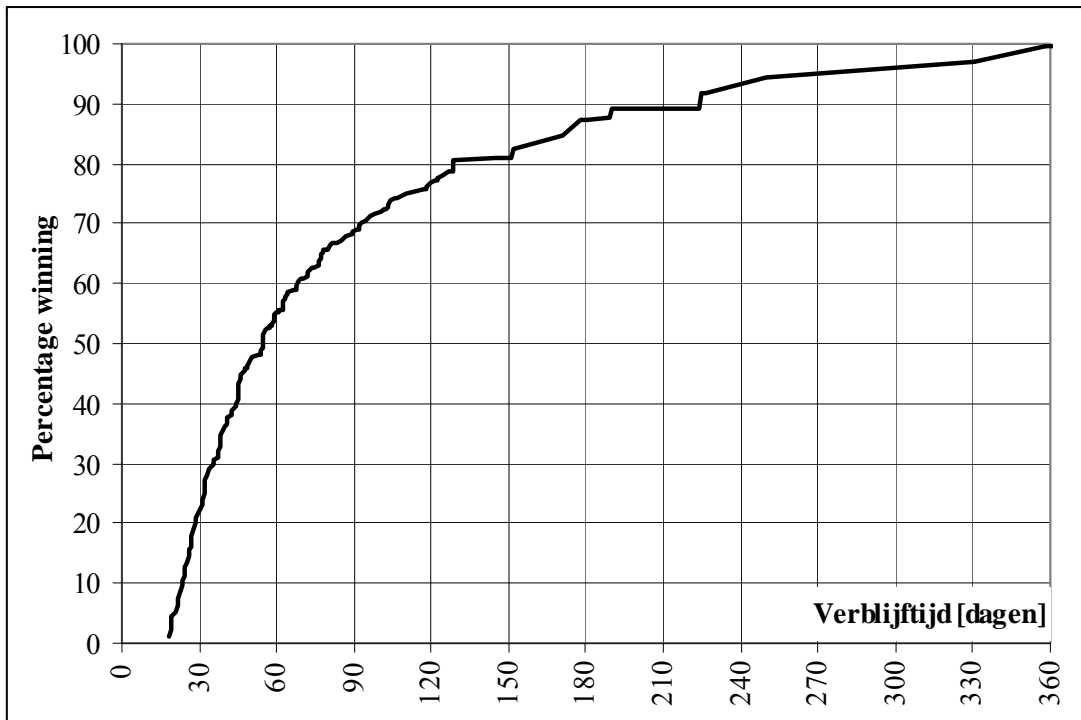
Stappen zuiveringsproces	Doel
Beluchting	<ul style="list-style-type: none"> • Ontijzering en ontgassing • Verwijdering oxydatievlokken
Voorfiltratie	
Nafiltratie (droog)	
Actief koolfiltratie	<ul style="list-style-type: none"> • Verwijdering organische microverontreinigingen
UV-desinfectie	

Tabel B4.3 Kwaliteitsinformatie individuele winputten (gemiddelde 2003-2005).

Putnummer ZD-	P06	P07	P18	P19	P20	P24
<i>Gemiddelde 2003-2005</i>						
Chloride [mg/l]	70	98	-	93	87	94
EGV [mS/m]	64	68	70	64	65	67
IJzer [mg Fe/l]	1,50	1,18	-	2,44	2,33	1,55
Mangaan [mg Mn/l]	0,58	0,90	0,82	0,58	0,61	0,88
Ammonium [mg N/l]	2,10	0,30	3,24	1,75	3,30	0,78
Nitraat [mg N/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fosfaat, ortho [mg P/l] <i>(2000-2001)</i>	0,79	0,28	1,05	2,01	1,50	0,43
Boor [µg/l]	-	-	-	-	-	-
TOC [mg C/l]	3,28	1,42	2,48	2,54	2,42	2,11
Sulfaat [mg SO ₄ /l]	57	71	31	12	22	47
Overige verontr. > 0,1 µg/l	AMPA Dikegulac- Natrium MCPP	AMPA	-	AMPA Bentazon Dikegulac- Natrium MCPP	AMPA	-



Figuur B4.3a Responscurve overige ondiepe winputten Zwijndrecht, Ringdijk, (excl. ZD-P06 en ZD-P07) worst case-benadering bij een maximumcapaciteit van 1520 m³/dag.



Figuur B4.3b Responscurve winput ZD-P06, worst case-benadering bij een maximumcapaciteit van $600 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Bijlage 5 Meetresultaten

Tabel B5.1 (deel 1 van 4).

Monsterpunt	Datum	E-coli			Totaal coliformen			Somatische fagen		
		n/L*	95% BI**	Vol.***	n/L	95% BI	Vol.	n/L	95% BI	Vol.
Boxmeer										
01-PP003	19-4-2007									
01-PP003	20-6-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
01-PP003	8-8-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
01-PP005	19-4-2007							0,011	(0,00062 - 0,048)	92 L
01-PP005	20-6-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0	(0 - 0,018)	190 L
01-PP005	8-8-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0	(0 - 0,015)	127 L
B46D0736	15-10-2007	0	(0 - 0,38)	5 L	228	(189 - 272)	0,5 L	0	(0 - 0,011)	177 L
B46D0821	15-10-2007	0	(0 - 0,38)	5 L	192	(156 - 233)	0,5 L	0	(0 - 0,015)	105 L
B46D1083	15-10-2007	0	(0 - 0,77)	2,5 L	6,4	(3,8 - 10,1)	2,5 L	0	(0 - 0,014)	196 L
Goor										
GO-01-13	2-5-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
GO-04-16	2-5-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0	(0 - 0,019)	100 L
GO-04-16	4-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0,014	(0,0023 - 0,042)	148 L
GO-04-16	18-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0	(0 - 0,018)	104 L
GO-05-18	2-5-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0,0087	(0,00050 - 0,038)	115 L
GO-05-18	4-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0	(0 - 0,0084)	230 L
GO-05-18	18-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L				0	(0 - 0,0091)	211 L
GO-77-10	2-5-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
GO-77-10	4-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
GO-77-10	18-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
GO-04-17	4-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
GO-04-17	18-7-2007	0	(0 - 1,3)	1,5 L						
34BP0291	17-9-2007	0,67	(0,038 - 2,9)	1,5 L	0	(0 - 1,3)	1,5 L	0	(0 - 0,010)	100 L
34BP0243	17-9-2007	0,67	(0,038 - 2,9)	1,5 L	0	(0 - 1,3)	1,5 L	0	(0 - 0,011)	167 L
34BP0292	17-9-2007	0	(0 - 2,0)	0,95 L	29,5	(19,9 - 41,8)	0,95 L	0	(0 - 0,0094)	205 L
Rwzi Goor****	9-1-2008	1,6exp8	(1,2exp8 - 2,2exp8)	0,2 µl	3,4exp8	(2,9exp8 - 4,0exp8)	0,2 µl	1,3exp8	(1,2exp8 - 1,5exp8)	2,2 µl
Zutphen										
03-19	2-5-2007	0	(0 - 0,38)	5 L				0	(0 - 0,020)	98 L
03-19	27-6-2007	1	(0,36 - 2,1)	5 L				0	(0 - 0,010)	190 L
03-19	1-8-2007	0	(0 - 0,38)	5 L				0	(0 - 0,013)	152 L
01-09	2-5-2007	0	(0 - 0,38)	5 L						
01-09	27-6-2007	0	(0 - 0,38)	5 L						
04-21	2-5-2007	0	(0 - 0,38)	5 L						
04-21	1-8-2007	0	(0 - 0,38)	5 L						
05-23	2-5-2007	0	(0 - 0,38)	5 L				0	(0 - 0,019)	101 L
05-23	27-6-2007	0	(0 - 0,38)	5 L				0	(0 - 0,014)	139 L
05-23	1-8-2007	0	(0 - 0,38)	5 L				0	(0 - 0,012)	158 L
IJssel	5-9-2007	2936	(2332 - 3637)	27 ml	150400	(111398 - 197589)	0,3 ml	4861	(4239 - 5542)	1,7 L
Zuiderparkplas**	5-9-2007	1051	(868 - 1258)	110 ml	1505	(1086 - 2022)	26,5 ml	123	(107 - 141)	44 ml
33HL0040	12-9-2007	0	(0 - 0,38)	5 L	0	(0 - 0,38)	5 L	0	(0 - 0,0090)	214 L
Zwijndrecht										
Oude Maas	10-10-2007	1393	(991 - 1891)	27 ml	3657	(2382 - 5322)	6,6 ml	1110	(793 - 1501)	34 ml
ZD-P06	10-10-2007	0	(0 - 0,43)	4,5 L	0	(0 - 0,43)	4,5 L	0	(0 - 0,0095)	201 L
ZD-P06	26-11-2007	0	(0 - 0,64)	3 L	0	(0 - 0,064)	3 L	0	(0 - 0,010)	196 L
ZD-P19	10-10-2007	0,22	(0,013 - 0,98)	4,5 L	0	(0 - 0,43)	4,5 L	0	(0 - 0,020)	97 L
ZD-P19	26-11-2007	0	(0 - 0,64)	3 L	0	(0 - 0,064)	3 L	0	(0 - 0,010)	184 L

* Aantal deeltjes per liter

** 95% betrouwbaarheidsinterval

*** Onderzocht volume

**** 24-uurs verzamelmonster na bezinkingB(xx)indicatief, scanmeting

Tabel B5.1 (deel 2 van 4).

Monsterpunt	Datum	hAdeno			pAdeno			bPolyoma			Inf hAdeno		
		n/l	95% BI	Vol.	n/l	95% BI	Vol.	n/l	95% BI	Vol.	n/l	95% BI	Vol.
Boxmeer													
01-PP003	19-4-2007												
01-PP003	20-6-2007												
01-PP003	8-8-2007												
01-PP005	19-4-2007	0	(0 - 0,048)	40 L	0 (0 - 0,095)	20 L	0	(0 - 0,095)	20 L	0 (0 - 0,018)	110 L		
01-PP005	20-6-2007	0	(0 - 0,043)	45 L	0 (0 - 0,086)	22 L	0	(0 - 0,086)	22 L	0 (0 - 0,018)	106 L		
01-PP005	8-8-2007	0	(0 - 0,099)	19 L	0 (0 - 0,099)	19 L	0	(0 - 0,099)	19 L	0 (0 - 0,017)	114 L		
B46D0736	15-10-2007	0	(0 - 0,045)	43 L	0 (0 - 0,090)	21 L	0	(0 - 0,090)	21 L	0 (0 - 0,018)	107 L		
B46D0821	15-10-2007	0	(0 - 0,10)	19 L	0 (0 - 0,20)	10 L	0	(0 - 0,20)	10 L	0 (0 - 0,018)	104 L		
B46D1083	15-10-2007	0	(0 - 0,044)	43 L	0 (0 - 0,089)	22 L	0	(0 - 0,089)	22 L	0 (0 - 0,014)	141 L		
Goor													
GO-01-13	2-5-2007												
GO-04-16	2-5-2007	0	(0 - 0,088)	22 L	0 (0 - 0,18)	11 L	0	(0 - 0,18)	11 L	0 (0 - 0,016)	119 L		
GO-04-16	4-7-2007	0	(0 - 0,030)	65 L	0 (0 - 0,059)	33 L	0	(0 - 0,059)	33 L	0 (0 - 0,017)	115 L		
GO-04-16	18-7-2007	0	(0 - 0,036)	53 L	0 (0 - 0,072)	27 L	0	(0 - 0,072)	27 L	0 (0 - 0,018)	104 L		
GO-05-18	2-5-2007	0	(0 - 0,038)	51 L	0 (0 - 0,076)	25 L	0	(0 - 0,076)	25 L	0 (0 - 0,014)	138 L		
GO-05-18	4-7-2007	0	(0 - 0,018)	104 L	0 (0 - 0,037)	52 L	0	(0 - 0,037)	52 L	0 (0 - 0,014)	138 L		
GO-05-18	18-7-2007	0	(0 - 0,031)	62 L	0 (0 - 0,062)	31 L	0	(0 - 0,062)	31 L	0 (0 - 0,015)	127 L		
GO-77-10	2-5-2007												
GO-77-10	4-7-2007												
GO-77-10	18-7-2007												
GO-04-17	4-7-2007												
GO-04-17	18-7-2007												
34BP0291	17-9-2007	0	(0 - 0,028)	67 L	0 (0 - 0,060)	34 L	0	(0 - 0,060)	34 L	0 (0 - 0,014)	136 L		
34BP0243	17-9-2007	0	(0 - 0,040)	48 L	0 (0 - 0,080)	24 L	0	(0 - 0,080)	24 L	0 (0 - 0,019)	100 L		
34BP0292	17-9-2007	0	(0 - 0,033)	58 L	0 (0 - 0,066)	29 L	0	(0 - 0,066)	29 L	0 (0 - 0,016)	123 L		
Rwzi Goor ****	9-1-2008	1,1exp6	(1,9exp5 - 4,9exp6)	1,4 ml	0 (0 - 2593)	0,7 ml	3,6exp5	(1,7exp4 - 3,4exp6)	0,7 ml	414	(58 - 2148)	12 ml	
Zutphen													
03-19	2-5-2007	0	(0 - 0,045)	43 L	0 (0 - 0,089)	22 L	0	(0 - 0,089)	22 L	0 (0 - 0,016)	117 L		
03-19	27-6-2007	0	(0 - 0,036)	78 L	0 (0 - 0,049)	39 L	0	(0 - 0,049)	39 L	0 (0 - 0,018)	106 L		
03-19	1-8-2007	0	(0 - 0,041)	47 L	0 (0 - 0,082)	24 L	0	(0 - 0,082)	24 L	0 (0 - 0,014)	137 L		
01-09	2-5-2007												
01-09	27-6-2007												
04-21	2-5-2007												
04-21	1-8-2007												
05-23	2-5-2007	0	(0 - 0,086)	22 L	0 (0 - 0,17)	11 L	0	(0 - 0,17)	11 L	0 (0 - 0,019)	101 L		
05-23	27-6-2007	0	(0 - 0,036)	53 L	0 (0 - 0,073)	26 L	0	(0 - 0,073)	26 L	0 (0 - 0,015)	130 L		
05-23	1-8-2007	0	(0 - 0,041)	47 L	0 (0 - 0,081)	24 L	0	(0 - 0,081)	24 L	0 (0 - 0,013)	143 L		
IJssel	5-9-2007	681	(99,7 - 3530)	76 ml	68 (3,2 - 605)	38 ml	0	(0 - 50,9)	38 ml	0 (0 - 0,42)	4,5 L		
Zuiderparkplas **	5-9-2007	45	(2,5 - 209,5)	29 ml	0 (0 - 0,131)	15 ml	0	(0 - 0,131)	15 ml	0,58	(0,33 - 2,6)	1,8 L	
33HL0040	12-9-2007	0	(0 - 0,032)	61 L	0 (0 - 0,063)	30 L	0	(0 - 0,063)	30 L	0 (0 - 0,015)	128 L		
Zwijndrecht													
Oude Maas	10-10-2007	810	(118,7 - 4202)	63 ml	84 (3,9 - 790)	31 ml	0	(0 - 61,2)	31 ml	0 (0 - 0,51)	3,8 L		
ZD-P06	10-10-2007	0	(0 - 0,033)	58 L	0 (0 - 0,066)	29 L	0	(0 - 0,066)	29 L	0 (0 - 0,016)	121 L		
ZD-P06	26-11-2007	0	(0 - 0,033)	58 L	0 (0 - 0,066)	29 L	0	(0 - 0,066)	29 L	0 (0 - 0,016)	117 L		
ZD-P19	10-10-2007	0	(0 - 0,067)	29 L	0 (0 - 0,13)	14 L	0	(0 - 0,13)	14 L	0 (0 - 0,016)	117 L		
ZD-P19	26-11-2007	0	(0 - 0,035)	55 L	0 (0 - 0,069)	28 L	0	(0 - 0,069)	28 L	0 (0 - 0,017)	110 L		

* Aantal deeltjes per liter

** 95% betrouwbaarheidsinterval

*** Onderzocht volume

**** 24-uurs verzamelmonster na bezinkingB(xx) indicatief, scanmeting

Tabel B5.1 (deel 3 van 4).

Monsterpunt	Datum	pH	Temp. °C	Geleid- baarheid µS/cm	Troebel- heid FTU	Cafeïne * ng/l	Carbama- zepine ng/l	Al mg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Be µg/l	Cd µg/l	Cl mg/l	Cr µ/l
Boxmeer															
01-PP003	19-4-2007	7,31	11,2	493		< 10	< 1	<0.01	3,36	52	111,8	<0.1	<0.04	44,141	<1
01-PP003	20-6-2007	6,81		512	142	< 10	< 1	<0.01	3,81	52	113,2	<0.1	<0.04	41,396	<1
01-PP003	8-8-2007	7,05		586	125	< 10	< 1	<0.01	2,96	64	105,6	<0.1	<0.04	45,144	<1
01-PP005	19-4-2007	7,43	11,2	389		< 10	3	<0.01	3,09	56	71,8	<0.1	<0.04	36,584	<1
01-PP005	20-6-2007	6,91	11,6	418	73	< 10	2	<0.01	3,45	56	77,7	<0.1	<0.04	37,495	<1
01-PP005	8-8-2007	6,84	11	537	59	< 10	1	<0.01	2,89	70	90,5	<0.1	<0.04	39,499	<1
B46D0736	15-10-2007	6,88	13,4	408		< 10	< 1	0,022	1,42	103	80,5	<0.1	0,049	17,975	1,2
B46D0821	15-10-2007	6,8		359		< 10	< 1	0,039	1,74	68	63	<0.1	0,042	20,801	3,8
B46D1083	15-10-2007	6,83	14	401	1,35	< 10	< 1	0,221	1,35	88	94,7	<0.1	0,661	32,796	2,5
Goor															
GO-01-13	2-5-2007	7,08		576	86	< 10	< 1	<0.01	2,29	35	62	<0.1	<0.04	33,585	<1
GO-04-16	2-5-2007	6,91	11,9	600	102	< 10	5	<0.01	4,48	99	74,1	<0.1	<0.04	49,948	<1
GO-04-16	4-7-2007	7,14	10,4	668	89	< 10	5	0,01	4,68	97	80,8	<0.1	<0.04	51,224	<1
GO-04-16	18-7-2007	7,47	12,4	548	94	17	5	<0.01	4,81	95	77,3	<0.1	<0.04	50,727	<1
GO-05-18	2-5-2007	6,99	13,6	566	58	14	< 1	<0.01	1,72	28	44,2	<0.1	<0.04	47,615	<1
GO-05-18	4-7-2007	7,19	11,7	605	60	< 10	< 1	<0.01	2,02	28	47,4	<0.1	<0.04	47,309	<1
GO-05-18	18-7-2007	6,7	12,5	512	44,69	14	< 1	<0.01	1,95	28	45,1	<0.1	<0.04	46,726	<1
GO-77-10	2-5-2007	6,94		677	148	< 10	3	<0.01	6,36	87	74,7	<0.1	<0.04	43,829	<1
GO-77-10	4-7-2007	7,32		752	151	< 10	3	<0.01	7,34	89	83	<0.1	<0.04	46,402	<1
GO-77-10	18-7-2007	8,1		606	131	< 10	2	<0.01	7,33	89	75,9	<0.1	<0.04	44,349	<1
GO-04-17	4-7-2007	7,54		573	42,11	< 10	< 1	<0.01	4,61	98	64,6	<0.1	<0.04	39,825	<1
GO-04-17	18-7-2007	8,04		494	25,64	< 10	< 1	<0.01	4,86	97	60,1	<0.1	<0.04	38,982	<1
34BP0291	17-9-2007	6,97	12,4	686	91	18	< 1	<0.01	15,17	(84)	142,7	<0.1	<0.04	14,211	<1
34BP0243	17-9-2007	6,91	12,9	782	223	15	< 1	<0.01	3,5	(53)	205,9	<0.1	0,051	41,846	<1
34BP0292	17-9-2007	6,78	14,9	627	194	29	< 1	0,022	1,28	(57)	147,5	<0.1	<0.04	77,138	<1
Rwzi Goor ***	9-1-2008														
Zutphen															
03-19	2-5-2007	7,42	11,9	671	0	21	< 1	<0.01	<0.5	259	51,6	<0.1	<0.04	145,839	<1
03-19	27-6-2007	8,27	11,6	727	0	< 10	< 1	<0.01	0,62	255	56,6	<0.1	<0.04	144,431	<1
03-19	1-8-2007	7,55	12,1	680	0	11	< 1	<0.01	0,55	246	59,5	<0.1	<0.04	145,684	<1
01-09	2-5-2007	7,57		713	0	14	6	<0.01	<0.5	240	62,7	<0.1	<0.04	125,444	<1
01-09	27-6-2007					< 10	6	<0.01	0,74	239	62,5	<0.1	<0.04	122,536	<1
04-21	2-5-2007	7,47		618	0	< 10	5	<0.01	0,76	166	62,7	<0.1	<0.04	81,541	<1
04-21	1-8-2007	7,54		607	0	21	8	<0.01	0,75	158	60,5	<0.1	<0.04	80,077	<1
05-23	2-5-2007	7,29	12,6	677	0	15	12	<0.01	0,64	218	45,3	<0.1	<0.04	95,865	<1
05-23	27-6-2007	7,65	12,5	664	0	< 10	12	<0.01	0,91	224	42,9	<0.1	<0.04	93,481	<1
05-23	1-8-2007	7,41	12,7	674	0	21	12	<0.01	0,91	228	43,3	<0.1	<0.04	94,059	<1
IJssel**	5-9-2007		18,5	428	31,36	135	78	0,051	1,3	62	92,2	<0.1	0,09	55,482	<1
Zuiderparkplas**	5-9-2007	8,48	17,6	490	4,85	46	27	0,01	2,61	58	74,5	<0.1	<0.04	47,858	<1
33HL0040	12-9-2007	7,16	15,3	615		< 10	< 1	<0.01	<0.5	(46)	37,5	<0.1	<0.04	13,497	1,1
Zwijndrecht															
Oude Maas	10-10-2007		15,9	441	5,69	65	77	0,011	1,03	68	55,7	<0.1	0,079	74,215	<1
ZD-P06	10-10-2007	7,15	14,5	426	9,3	16	88	<0.01	3,12	52	91,1	<0.1	0,065	78,797	<1
ZD-P06	26-11-2007	7,35	14,1	540	13,28	< 10	86	<0.01	3,07	59	100,5	<0.1	<0.04	85,309	<1
ZD-P19	10-10-2007	7,31	13,3	485	22,07	10	76	<0.01	4,45	91	191,9	<0.1	0,051	113,355	<1
ZD-P19	26-11-2007	7,5	13	601	13	< 10	74	<0.01	4,79	87	159,7	<0.1	<0.04	113,543	<1

B(xx) indicatief, scanmeting

* De concentratie cafeïne is gecorrigeerd voor de gemiddelde concentratie cafeïne in de blanco leidingwater monsters.

** Monster is ongefiltreerd, voor Mn en Zn wordt het resultaat in de tijd hoger.

*** 24-uurs verzamelmonster na bezinking.

Tabel B5.1 (deel 4 van 4).

Monsterpunt	Datum	Fe	K	Mn	Na	Ni	NH4	NO3	PO4	SO4	tot_P	Zn
		mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
Boxmeer												
01-PP003	19-4-2007	6,936	12,94	1708	25,88	4,26	0,391	1,622	<0.04	125,251	0,119	9,6
01-PP003	20-6-2007	6,857	13,42	1586	23,89	4,43	0,564	2,324	0,041	131,591	0,137	9,7
01-PP003	8-8-2007	5,031	11,34	1645	24,38	2,97	0,404	0,502	0,22	118,781	0,11	12,3
01-PP005	19-4-2007	3,98	12,45	1036	25,05	1,95	0,286	0,564	0,068	84,44	0,146	<4
01-PP005	20-6-2007	4,224	12,33	1119	24,27	2,27	0,355	0,604	<0.04	87,385	0,147	<4
01-PP005	8-8-2007	4,062	12,68	1227	24,29	2,23	0,337	0,473	0,369	109,561	0,132	<4
B46D0736	15-10-2007	<0.1	18,47	58	14,31	25,8	<0.064	64,791	0,086	56,006	<0.06	8,2
B46D0821	15-10-2007	<0.1	14,69	100,6	16,46	33,46	0,068	25,987	<0.04	74,429	<0.06	47,6
B46D1083	15-10-2007	0,13	31,26	137,2	15,27	52,5	<0.064	102,719	<0.04	56,023	0,215	224,4
Goor												
GO-01-13	2-5-2007	5,104	5,85	533,1	26,87	3,14	0,413	<0.31	<0.04	87,112	0,117	5,4
GO-04-16	2-5-2007	5,707	6,27	449	36,65	1,64	1,387	<0.31	<0.04	61,822	0,155	<4
GO-04-16	4-7-2007	5,194	5,69	431,8	34,45	1,35	1,36	<0.31	<0.04	63,803	0,149	<4
GO-04-16	18-7-2007	5,939	6,09	440,4	35,54	1,3	1,437	<0.31	0,767	63,705	0,164	<4
GO-05-18	2-5-2007	3,245	2,89	398,3	28,2	0,56	0,227	<0.31	<0.04	77,185	0,106	<4
GO-05-18	4-7-2007	3,314	2,74	389,5	26,59	<0.5	0,248	<0.31	<0.04	76,754	0,111	<4
GO-05-18	18-7-2007	3,224	2,8	384,8	26,49	<0.5	0,254	<0.31	0,525	75,61	0,113	<4
GO-77-10	2-5-2007	7,808	8,6	473,4	32,57	1,1	1,584	<0.31	<0.04	57,842	0,272	7
GO-77-10	4-7-2007	8,165	8,38	473,6	30,7	1,28	1,577	<0.31	0,07	60,958	0,289	9,1
GO-77-10	18-7-2007	8,021	8,47	456,7	31,75	1,18	1,619	<0.31	1,375	57,194	0,279	5,9
GO-04-17	4-7-2007	3,481	4,38	322,3	36,05	<0.5	0,758	<0.31	0,045	40,608	0,148	<4
GO-04-17	18-7-2007	3,465	4,38	315,2	35,83	<0.5	0,766	<0.31	0,475	39,636	0,15	<4
34BP0291	17-9-2007	4,597	14,19	668,9	14,22	0,86	0,689	0,67	0,151	49,887	0,12	5,3
34BP0243	17-9-2007	9,862	5,32	736,4	26,55	2,35	1,006	<0.31	<0.04	89,582	0,197	7,9
34BP0292	17-9-2007	19,09	6,71	2279	25,17	1,04	3,305	<0.31	<0.04	<0.48	0,27	<4
Rvzi Goor ***												
Zutphen												
03-19	2-5-2007	<0.1	6,58	15,7	99,16	0,55	0,85	<0.31	0,212	21,258	0,093	<4
03-19	27-6-2007	<0.1	6,82	20,5	96,43	<0.5	0,882	<0.31	0,183	23,238	0,077	9,5
03-19	1-8-2007	<0.1	7,1	17,9	100,6	0,5	0,966	<0.31	0,203	24,947	0,083	<4
01-09	2-5-2007	<0.1	7,45	52,4	88,98	0,9	1,093	<0.31	0,181	38,947	0,083	7,3
01-09	27-6-2007	<0.1	6,5	82,7	82,16	0,72	1,095	<0.31	0,178	40,251	0,081	<4
04-21	2-5-2007	<0.1	6,15	46,2	65,28	1,3	<0.064	1,957	0,117	46,262	0,065	13,8
04-21	1-8-2007	<0.1	7,32	12,3	62,38	1,23	0,543	3,693	0,2	43,708	0,077	5,9
05-23	2-5-2007	<0.1	8,21	21,3	78,94	1	0,887	2,921	0,266	36,91	0,108	<4
05-23	27-6-2007	<0.1	7,6	51,4	74,51	0,92	0,941	2,681	0,312	35,963	0,114	<4
05-23	1-8-2007	<0.1	7,49	220,3	75,96	1,24	0,986	2,271	0,307	34,365	0,122	<4
IJssel **	5-9-2007	<0.1	3,24	13,1	30,21	1,3	0,108	9,407	0,207	n.c.	0,094	12,3
Zuiderparkplas **	5-9-2007	<0.1	4,77	10,5	26,94	1,66	0,092	1,043	<0.04	n.c.	<0.06	<4
33HL0040	12-9-2007	<0.1	2,48	<4	10,36	1,78	<0.064	39,599	<0.04	34,111	<0.06	6,6
Zwijndrecht												
Oude Maas	10-10-2007	<0.1	4,2	31,8	43,07	1,21	<0.064	9,681	0,254	56,939	0,095	<4
ZD-P06	10-10-2007	1,173	4,78	906,6	44,58	<0.5	0,365	<0.31	0,16	62,961	0,203	<4
ZD-P06	26-11-2007	1,046	4,97	855,7	46,83	0,65	0,422	<0.31	0,209	66,699	0,464	<4
ZD-P19	10-10-2007	1,96	5,37	599,6	56,05	<0.5	2,257	<0.31	4,619	20,456	2,062	<4
ZD-P19	26-11-2007	1,481	5,42	597	56,78	<0.5	2,468	<0.31	2,712	23,959	1,582	<4

B(xx) indicatief, scanmeting

* De concentratie cafeïne is gecorrigeerd voor de gemiddelde concentratie cafeïne in de blanco leidingwater monsters.

** Monster is ongefiltreerd, voor Mn en Zn wordt het resultaat in de tijd hoger.

*** 24-uurs verzamelmonster na bezinking.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl