

KRW-spagaat

Eindrapport

Ron van der Oost (Waternet)



Korte Ouderkerkerdijk 7
Amsterdam
Postbus 94370
1090 GJ Amsterdam
T 0900 93 94 (20 cent per gesprek,
plus uw gebruikelijke belkosten)
F 020 608 39 00
KvK 41216593

www.waternet.nl

7 oktober 2014

*Waternet is de gemeenschappelijke organisatie van Waterschap Amstel, Gooi en Vecht
en de gemeente Amsterdam*

Colofon

Opdrachtgever

Sector	Onderzoek & Innovatie
Afdeling	Themagroep Watercyclus in de regio
Projectleider	Ron van der Oost
Contactpersonen	Rob Tijssen
Projectnummer	66043-1

Opdrachtnemer

Sector	Techniek, Onderzoek & Projecten
Afdeling	Onderzoek & Advies
Projectleider	Ron van der Oost
Kwaliteitsborger	Joost Kappelhof
Projectnummer	9214

Rapport

Rapporteur	Ron van der Oost
Versie	2
Rapportnummer	14.110124

1 Samenvatting

Als watercyclusbedrijf heeft Waternet een bijzondere positie ten opzichte van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Enerzijds volgt Waternet de lijn van de waterschappen (beheersmaatregelen om de ecologische kwaliteit te verbeteren), anderzijds wordt de lijn van de drinkwaterbedrijven gevolgd (aandacht voor chemische waterkwaliteit als bescherming van de drinkwaterbronnen). Waternet ziet dit dilemma, de zogenaamde KRW-spagaat, vooral als een kans om te laten zien dat de watercyclusbenadering verschil kan maken. Daarom werd in 2008 het onderzoek KRW-spagaat opgestart, met een focus op de drinkwaterwinning vanuit de Bethunepolder (BP). Met de verkregen kennis worden concrete aanbevelingen gedaan voor een integrale watercyclus-aanpak ten aanzien van de KRW.

In Fase 1 van het onderzoek KRW-spagaat werden stoffen die relevant zijn voor de drinkwaterwinning en hun mogelijke herkomst onderzocht door de inventarisatie van bestaande gegevens (Petra Scholte *et al.*, 2010). Het vervolgonderzoek werd gefaseerd uitgevoerd.

- Fase 2A. Een uitgebreide chemisch-toxicologische screening om alle mogelijke probleemstoffen in kaart te brengen (aanvulling op Fase 1)
- Fase 2B. Ontwerp van een monitoringsplan om de herkomst van een aantal relevante probleemstoffen op te sporen tegen minimale kosten
- Fase 2C. Uitvoering van aanvullende monitoring en analyse van massabalansen om de herkomst van relevante stoffen vast te stellen
- Fase 2D. Advies over de meest effectieve maatregelen om te voorkomen dat stoffen in het drinkwater komen.

In dit eindrapport worden de resultaten van het gehele onderzoek besproken. In eerdere rapporten werd het onderzoek van de Fases 1 en 2A&B al uitgebreid toegelicht (Petra Scholte *et al.*, 2010; Schriks *et al.*, 2012; Ron van der Oost, 2013). De nadruk van dit rapport ligt daarom op de herkomst van drinkwaterrelevante stoffen en maatregelen die voorkomen dat ze terechtkomen in het drinkwater.

1.1 Conclusies

De in fase 1 vastgestelde tabel met 46 stoffen die in de drinkwaterbronnen en intrekgebieden (boven de normen) zijn geïdentificeerd is in fase 2 uitgebreid met bijna 50 stoffen, waarvan ruim de helft in het Waterleidingkanaal werd aangetroffen (bijlage 1). Op basis van het gebruik lijken de meeste aangetroffen stoffen afkomstig uit rioolwater (rwzi-effluenten of overstorten). Met bioassays werd op alle locaties een sterke anti-androgene werking aangetoond, waarvan de oorzaak nog onbekend is. De responsen van de overige bioassay metingen waren niet hoog. Hierna is een selectie van 11 relevante stoffen gemaakt op basis van aanwezigheid, drinkwater relevantie, persistentie, mobiliteit in grondwater, beschikbare gegevens en herkomst: acesulfaam-K (ACEK, zoetstof), cafeïne (CAFF, genotsmiddel), carbamazepine & metformine (CARB & METF, medicijnen), sulfamethoxazol (SULF, medicijn, ook voor dieren), iopromide (IOPR, röntgencontrastmiddel), glyfosaat & aminomethylfosfonzuur (GLYF & AMPA, herbicide met omzettingproduct), bentazon (BENT, pesticide), N,N-DMS (NDMS, antifouling) en methyl-tert-butylether (MTBE, oplosmiddel). Van deze stoffen zijn massabalansen opgesteld om de herkomst te achterhalen uit de volgende gebieden: Duitsland, Nederlandse Rijn, stad Utrecht, Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) tussen Utrecht en Nieuwersluis, Vecht tussen Utrecht en Maarssen, de plassen en polders onder invloed van de Vecht en de Loosdrechtse Plassen. Daarnaast werd een theoretische analyse uitgevoerd naar de invloed van verschillende rwzi's. In de herkomst van de verschillende stoffen met twee modellen werden grote verschillen gevonden.

Bij de vraag of maatregelen nodig zijn die voorkomen dat de microverontreinigingen in het oppervlaktewater terechtkomen is het belangrijk om te onderzoeken of effecten op het milieu te verwachten zijn. De effecten van stoffen op het watermilieu zijn nog lang niet allemaal goed in kaart gebracht. Van de 11 stoffen die in deze studie werden onderzocht is op geen van de locaties een overschrijding van de PNEC (*Predicted No Effect Concentration*) gevonden, dus deze stoffen zullen geen nadelig milieueffect hebben. Omdat in het water echter ruim 100.000 stoffen kunnen voorkomen is het niet mogelijk om alle milieurisico's met chemische analyses te onderzoeken. Om de risico's van microverontreinigingen op de waterkwaliteit efficiënter te bepalen voert Waternet het "Slim monitoren"-project uit, waarbij de risicoanalyse vooral met effectgerichte toetsen (bioassays) wordt uitgevoerd (Van der Oost, 2014).

1.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt de volgende onderwerpen nader te onderzoeken:

1. Analyse van de milieurisico's door de aanwezigheid van microverontreinigingen in de belangrijkste wateren voor de aanvoer van stoffen naar de bronnen voor de drinkwaterbereiding. Als de verontreiniging van het oppervlaktewater nadelige effecten heeft op het ecosysteem kan niet worden volstaan met alleen een effectieve drinkwaterzuivering, maar moeten de verontreinigingsbronnen worden aangepakt.
2. Haalbaarheidsonderzoeken van verschillende maatregelen voor het watersysteem die de belasting met microverontreinigingen van het water voor de drinkwaterbereiding kunnen verlagen.
3. De oorzaak ophelderen van de sterke anti-androgene werking in en rond de BP, die ook op veel andere locaties wordt waargenomen. Er zijn mogelijkheden om dit onderzoek in samenwerking met externe partijen (VU-IVM) uit te voeren.
4. Aanvullende analyses in het drinkwater van Weesperkarspel om te zien welke van de in dit onderzoek geïdentificeerde stoffen - en welke bioassay-effecten - daarin aantoonbaar zijn. Daarnaast kan worden onderzocht welke van deze stoffen of effecten aantoonbaar zijn in het op Leiduin geproduceerde drinkwater. Als in het drinkwater significante hoeveelheden van een stof/effect voorkomen, zullen mogelijke maatregelen zich daarop moeten richten.

Inhoud

1	Samenvatting	3
1.1	Conclusies	3
1.1.1	Herkomst van stoffen in de Bethunepolder	4
1.1.2	Efficiënte maatregelen tegen microverontreinigingen in de Bethunepolder (BP)	4
1.2	Aanbevelingen	5
2	Inleiding	8
3	Aanpak en uitvoering van het onderzoek	8
3.1	Fase 2A: aanvullend onderzoek risicostoffen	9
3.2	Fase 2B: opstellen monitoringplan herkomst	9
3.3	Fase 2C: Uitvoeren monitoring programma: herkomst risicostoffen	9
3.3.1	Theoretische massabalansanalyse	9
3.3.2	Praktische massabalans-analyse	10
3.4	Fase 2D: Advies over noodzakelijke maatregelen	12
3.4.1	MCA	12
3.4.2	Modelberekeningen	13
4	Resultaten en discussie	14
4.1	Analyse van massabalansen van drinkwater relevante stoffen	15
4.1.1	Acesulfaam K (ACEK)	18
4.1.2	Caffeïne (CAFF)	19
4.1.3	Glyfosaat (GLYF)	19
4.1.4	Aminomethyl phosphonic acid (AMPA)	20
4.1.5	Bentazon (BENT)	20
4.1.6	Carbamazepine (CARB)	21
4.1.7	Metformine (METF)	21
4.1.8	Sulfamethoxazol (SULF)	22
4.1.9	Iopromide (IOPR)	22
4.1.10	Methyl-tert-butylether (MTBE)	23
4.1.11	N,N-dimethylsulfamide (NDMS)	23
4.1.12	Belangrijkste brongebieden van de onderzochte stoffen	24
4.2	Efficiëntie van maatregelen	24
4.2.1	MCA maatregelen	25
4.2.2	Modelberekeningen met maatregelen	25
4.2.3	Analyse van de meest effectieve maatregelen	27
5	Conclusies en aanbevelingen	30
5.1	Herkomst van stoffen in de Bethunepolder	30
5.2	Efficiënte maatregelen tegen microverontreinigingen in de BP	30
5.3	Milieueffecten	31
5.4	Aanbevelingen	31
6	Waternet visie microverontreiniging	33

7	Referenties	36
8	BIJLAGEN	37
8.1	Bijlage 1: Mogelijk relevante stoffen en effecten in drinkwater, drinkwaterbronnen en intrekgebieden van de Bethunepolder volgens uit het KRW-spagaatonderzoek	37
8.2	Bijlage 2: Validatie van de theoretische en praktische modellen voor de massabalans analyse	39
8.3	Bijlage 3: Resultaten van de Multi Criteria Analyse (MCA)	41
8.4	Bijlage 4: Eigenschappen van de 11 geselecteerde stoffen (referenties, zie Van Tol, 2013)	42
8.5	Bijlage 5: Overzicht van effecten, kosten en voor- en nadelen van verschillende maatregelen (Hofman <i>et al.</i> , 2013)	43

2 Inleiding

In de discussie rond de Kaderrichtlijn Water (KRW) verkeert Waternet in een bijzondere positie. De waterschappen (ook Amstel, Gooi & Vecht) richten zich vooral op beheers- en inrichtingsmaatregelen om de (fysisch-)chemische en ecologische kwaliteit (KRW) van het oppervlaktewater in het beheersgebied te verbeteren. De drinkwaterbedrijven richten zich vooral op het beschermen van de bron voor drinkwater. De drinkwaterbedrijven hebben te maken met veel strengere normen voor de waterkwaliteit vanuit het Drinkwaterbesluit, waardoor de chemische waterkwaliteit en de aanwezigheid van milieuvreemde stoffen meer aandacht krijgen. Waternet ziet in dit dilemma vooral een kans om te laten zien dat de watercyclusbenadering verschil kan maken. Dit heeft geleid tot het starten van het project KRW-spagaat "Milieuvreemde Stoffen in de watercyclus". Vanuit de watercyclus lijkt een integrale aanpak in het kader van de KRW voor de chemische toestand en de emissie van milieuvreemde stoffen in het oppervlaktewater kansrijk. Waternet heeft deze integrale aanpak binnen het project KRW-spagaat eerst gericht op de Bethunepolder en haar intrekgebieden, omdat alle primaire sectoren van Waternet daar met elkaar zijn verbonden.

De doelen van het onderzoek KRW-spagaat zijn het in kaart brengen van de meest efficiënte maatregelen om te voorkomen dat milieuvreemde stoffen terechtkomen in het grond- en oppervlaktewater van de Bethunepolder (BP) en er voor te zorgen dat er geen schade voor het watermilieu ontstaat. Belangrijk hierbij is dat we een visie ontwikkelen waarin alle partijen in de watercyclus (Afvalwater, Drinkwater en Watersysteem) zich kunnen vinden. Bij een afweging om de meest duurzame oplossing te vinden om te voorkomen dat stoffen in drinkwater terechtkomen, moet rekening worden gehouden met de 3 P's (*People, Planet & Profit*) en de 3 D's van de Waternet kernwaarden (Doelmatig, Duurzaam en Dienstverlenend). Ten eerste moet worden voorkomen dat gezondheidsrisico's bij de mens ontstaan door te hoge concentraties chemicaliën in het drinkwater. Daarnaast moet rekening worden gehouden met de mogelijk schadelijke effecten van de stoffen op het watermilieu. Dit alles moet kunnen worden gerealiseerd op een zo doelmatig mogelijke manier. De kosten van maatregelen moeten natuurlijk opwegen tegen de baten, zoals een schoner milieu en geen risico's voor de drinkwaterkwaliteit. Omdat het saneren van alle emissiebronnen onbetaalbaar is zal een goede analyse moeten worden gemaakt van de chemische risico's voor zowel mens als milieu. Aan de hand daarvan kunnen prioriteiten worden gesteld. Het doel van dit project is te onderzoeken welke microverontreinigingen daadwerkelijk een bedreiging kunnen zijn voor de BP als bron en daarmee voor de kwaliteit van het drinkwater. Belangrijk hierbij is wat hun herkomst is en welke maatregelen het meest doeltreffend zijn om te voorkomen dat deze stoffen uiteindelijk in het drinkwater terechtkomen.

3 Aanpak en uitvoering van het onderzoek

In Fase 1 zijn alle beschikbare gegevens onderzocht over milieuvreemde stoffen die voorkomen in en rond de Bethunepolder. Aangetoond zijn 16 stoffen die relevant zijn voor drinkwater; 23 stoffen zijn relevant voor de drinkwaterbron en 7 stoffen zijn relevant voor het intrekgebied. Deze stoffen kunnen mogelijk een risico vormen voor de drinkwaterproductie (Scholte-Veenendaal *et al.*, 2010). Van de meest relevante stoffen is via een analyse van het watersysteem onderzocht of ze afkomstig zijn van het oppervlaktewater rond de Bethunepolder en welke bronnen daarbij een rol kunnen spelen. Binnen de watercyclus werden 10 mogelijke verontreinigingsbronnen aangemerkt.

In Fase 2 van het onderzoek is getracht de hiaten in kennis aan te vullen, om de bronnen van mogelijke risicostoffen te identificeren en te komen tot een selectie van de meest efficiënte maatregelen om mogelijke problemen in de toekomst op te lossen. Met de verkregen kennis zijn concrete aanbevelingen geformuleerd voor een integrale watercyclusaanpak ten aanzien van de KRW. De tweede fase van het onderzoek bestond uit vier onderdelen.

3.1 Fase 2A: aanvullend onderzoek risicostoffen

In samenwerking met KWR is een analyseprogramma uitgevoerd waarmee de in Fase 1 vastgestelde hiaten zijn ingevuld. Alle mogelijke probleemstoffen in en rond de Bethunepolder zijn in kaart gebracht met breedspectrum-chemische analyses in combinatie met effectgerichte metingen (bioassays). Er is gebruikgemaakt van passieve tijdgeïntegreerde bemonstering en op 4 locaties zijn steekmonsters genomen van oppervlaktewater:

- het Waterleidingkanaal van de Bethunepolder
- de Vecht
- de Loosdrechtse Plassen
- de Maarsseveense Plassen

De resultaten hiervan zijn gerapporteerd in het voortgangsrapport KRW-spagaat fase 2AB (Van der Oost, 2013).

3.2 Fase 2B: opstellen monitoringplan herkomst

Van de risicostoffen die in fase 2A zijn vastgesteld is een inschatting gemaakt in hoeverre ze via het grondwater naar de Bethunepolder kunnen worden getransporteerd. In overleg met de projectgroep is een selectie van 11 relevante stoffen gemaakt : acesulfaam-K (zoetstof), cafeïne (genotsmiddel), carbamazepine & metformine (medicijnen), sulfamethoxazol (medicijn, ook voor dieren), iopromide (röntgencontrastmiddel), glyfosaat & AMPA (herbicide & omzettingsproduct), bentazon (pesticide), N,N-DMS (antifouling) en MTBE (oplosmiddel). Deze selectie is gemaakt op basis van aanwezigheid, drinkwaterrelevantie, persistentie, mobiliteit in grondwater, beschikbare gegevens en diversiteit in herkomst. Opgesteld is een monitoringsplan om de belangrijkste ontbrekende gegevens van deze 11 stoffen te analyseren.

3.3 Fase 2C: Uitvoeren monitoring programma: herkomst risicostoffen

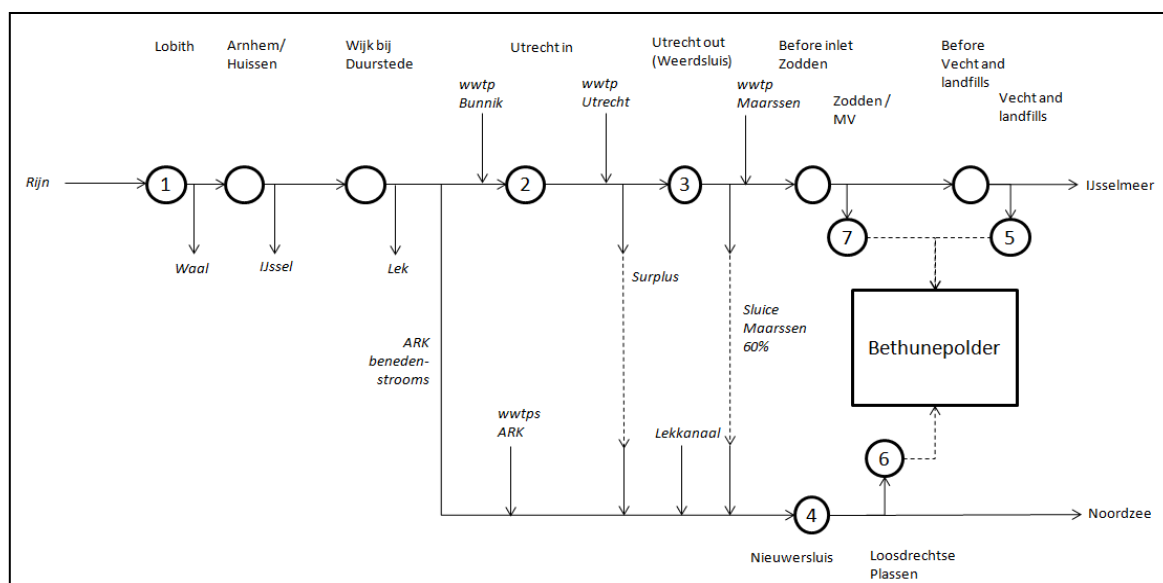
Om de herkomst van de drinkwaterrelevante stoffen te achterhalen werd het monitoringsplan van fase 2B uitgevoerd. Met behulp van jaargemiddelde concentraties en debieten konden massabalansen voor deze stoffen worden opgesteld. Op basis van de massabalansen is de globale herkomst van de 11 stoffen geanalyseerd. Onderscheid werd gemaakt tussen zeven herkomstgebieden: 1. Duitsland, 2. Rijn NL, 3. Utrecht, 4. Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) van Utrecht tot Nieuwersluis, 5. Vecht van Utrecht tot Maarssen, 6. de plassen (Zodden) en polders onder invloed van de Vecht en 7. de Loosdrechtse Plassen. Voor de herkomst-analyse is zowel een theoretische benadering gebruikt met rwzi-kengetallen uit de literatuur als een praktische benadering met actuele meetgegevens.

3.3.1 Theoretische massabalansanalyse

De theoretische massabalans-analyse van de herkomst van stoffen is uitgevoerd door Judith van Tol (TU Delft) en beschreven in het rapport "Organic micro pollutants: Assessment on optimum treatment strategies in the water cycle" (Van Tol, 2013). Bij deze benadering zijn de betrouwbare jaargemiddelde stofconcentraties die bij Lobith ons land binnenkomen als uitgangspunt genomen. Met bekende gegevens van de waterkwantiteit is volgens het schema

van Figuur 1 een berekening uitgevoerd om de vrachten van de verschillende stoffen te bepalen.

Figuur 1: Schematische weergave van het massabalans model voor de theoretische analyse



Met een model waarin de waterbalansen, de massabalansen en de grondwaterstromen zijn geïntegreerd werden alle stofstromen richting Bethunepolder berekend. De input van de verschillende rwzi's in figuur 1 is bepaald met kengetallen uit de literatuur en de inwonerequivalenten van de rwzi's. De theoretisch bepaalde stofconcentraties werden vergeleken met de gemeten concentraties. De aannamen bij het model waren:

- Er is geen afbraak en adsorptie aan vaste deeltjes (worst-case).
- Het is een gemengd systeem, waarbij gemeten concentraties representatief zijn voor het waterlichaam en lozingen direct worden gemengd.
- Alleen de belangrijke rwzi lozingen en significante aan- en afvoeren (Figuur 1) worden in beschouwing genomen. Lozingen of inname door landbouw of industrie of kleine waterlichamen zijn buiten beschouwing gelaten vanwege ontbrekende gegevens.
- De gemeten concentraties in oppervlaktewater zijn gelijk aan de concentraties van deze stoffen in het grondwater en de kwel naar de Bethunepolder. Voor deze aanname is ook de eerste aanname (geen afbraak en adsorptie) belangrijk. Deze veronderstelling is niet juist, maar binnen de reikwijdte van het project is het niet mogelijk om het gedrag te voorspellen van de 11 stoffen tijdens grondwatertransport over een lange periode (1-100 jaar). De berekende concentraties van het kwelwater naar de BP zullen daarom hoger zijn dan de werkelijke concentraties.
- De gemodelleerde jaren zijn representatief, zonder extreme droogte of neerslag.

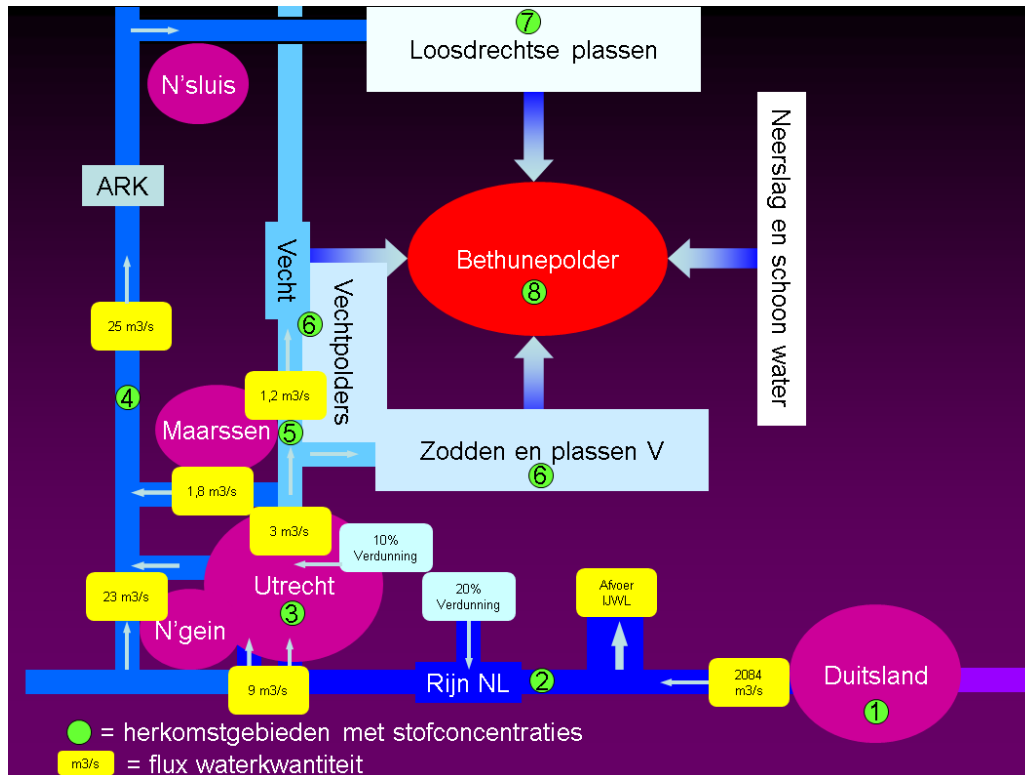
3.3.2 Praktische massabalans-analyse

De praktische massabalans-analyse naar de herkomst van stoffen is uitgevoerd door Ron van der Oost, met adviezen van Jos Beemster, Jan Willem Voort en Theo Janse. Bij deze analyse is uitgegaan van de gemeten analyseresultaten (tabel 2). Voor de balansen van de stoffen werd een versimpeld model gehanteerd (figuur 2) met zeven compartimenten (herkomstgebieden):

1. Duitsland (concentraties bij Lobith)
2. Rijn NL (concentraties vóór Utrecht)
3. Utrecht (concentraties na Utrecht)
4. ARK (concentraties bij Nieuwersluis)

5. Vecht en stedelijk gebied Maarssen (concentraties bij Maarssen); V+M
6. Vechtpolders/-plassen (concentraties bij Zodden); VPP
7. Loosdrechtse Plassen (concentraties bij de Strook); LP

Figuur 2: Schematische weergave van het massabalansmodel voor de praktische analyse



Ook bij het praktische model is sprake van een aantal aannamen:

- Als basis zijn de stoffstromen gebruikt, met weinig invloed van volumeveranderingen. Voor water in Rijn NL is 20% verdunning door bijkomend water aangenomen en voor water in Utrecht 10% verdunning. Dit zijn beide ruwe schattingen.
- Met afbraak en adsorptie aan vaste deeltjes (worst-case) is geen rekening gehouden.
- Met de invloed van seizoensinvloeden is geen rekening gehouden, omdat het grondwatertransport naar BP meer dan een jaar duurt.
- Omdat geen gegevens aanwezig zijn van het stedelijke gebied van Maarssen (met mogelijke riooloverstorten) is hiervoor de waterkwaliteit van de Vecht aangenomen en is de flux naar de BP samengevoegd met de Vecht-flux.

De aanpak van de praktijkanalyse was als volgt:

1. Identificeren van de bronnen van herkomst door per stof de toename in waterconcentraties per compartiment (tussen twee meetpunten in het schema van Figuur 2) te bepalen (ARK [4] is vergeleken met 2 compartimenten: 90% Rijn NL [2] + 10% Utrecht [3]). Als in een compartiment geen significante toename in stofconcentratie wordt waargenomen, wordt dat compartiment niet als bron van de betreffende stof beschouwd.
2. De toename in concentratie is vermenigvuldigd met de flux om de vracht per compartiment (herkomstgebied) te bepalen.
3. Het relatieve aandeel van het water uit een herkomstgebied dat uiteindelijk terechtkomt in de Vecht en in het ARK-water is bepaald met een zogenaamde relatieve flux, de flux van de bron ten opzichte van de fluxen in Vecht en ARK.

4. De bijdragen van de verschillende herkomstgebieden aan de vrachten in Vecht en ARK zijn per stof bepaald door de toenames in stofconcentraties per herkomstgebied te vermenigvuldigen met de relatieve flux (stap 3).
5. Door de data van stap 4 te delen door de fluxen van Vecht en ARK is de bijdrage bepaald van alle herkomstgebieden van stofconcentraties in het water van Vecht en ARK.
6. Met de relatieve bijdragen van de herkomstgebieden aan Vecht- en ARK-concentraties, de geschatte bijdragen van Vecht- en ARK-water aan LP en VPP en de grondwaterfluxen van LP, VPP en V+M naar de Bethunepolder zijn uiteindelijk per stof de relatieve bijdragen van alle herkomstgebieden aan BP-vrachten bepaald met de formule:

$$\text{flux}_{LP} \cdot (0.03 \cdot C_V + 0.25 \cdot C_{ARK} + 0.72 \cdot C_{LP}) + \text{flux}_{VPP} \cdot (0.3 \cdot C_V + 0.7 \cdot C_{VPP}) + \text{flux}_{V+M} \cdot C_V$$
 Hierin zijn $C_{V,ARK,LP,VPP}$ de jaargemiddelde concentraties in Vecht, Amsterdam-Rijnkanaal, Loosdrechtse Plassen en Vechtpolders/-plassen.

Met deze methodiek kan een schatting worden gemaakt van de bijdragen van de verschillende herkomstgebieden aan de stofconcentraties in het water van de Bethunepolder. Als controle werden de berekende en gemeten concentraties met elkaar vergeleken.

3.4 Fase 2D: Advies over noodzakelijke maatregelen

Na inventarisatie van de potentiële problemen wordt een advies gegeven over de mogelijke oplossingen. Hiervoor zijn, met het oog op toekomstige ontwikkelingen, de invloeden van verschillende maatregelen onderzocht die kunnen voorkomen dat stoffen een risico voor de mens gaan vormen. Er worden aanbevelingen gedaan voor de meest efficiënte en duurzame maatregelen om de situatie inzake de milieuvreemde stoffen binnen de watercyclus te verbeteren.

3.4.1 MCA

Judith van Tol (TU Delft) heeft een Multi Criteria Analyse (MCA) uitgevoerd op negen mogelijke maatregelen om de vrachten van microverontreinigingen naar drinkwaterwinningen te verlagen (Van Tol, 2013):

1. Groene medicijnen
2. Bewustzijn bij gebruik en voorschrift van medicijnen
3. Wetgeving en beleid
4. Groene landbouw in kas, landbouw en veeteelt
- 5a. Decentrale inzameling en behandeling van urine
- 5b. Gecentraliseerde inzameling en behandeling van urine
6. Decentrale afvalwaterinzameling & behandeling op lokale schaal
7. Decentrale inzameling en behandeling van het ziekenhuisafvalwater
8. Verbetering van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi)
9. Verbetering van de drinkwaterzuiveringsinstallatie (dwzi).

Een Multi Criteria Analyse (MCA) is een hulpmiddel om de beste oplossing te vinden van een reeks opties en bestaat uit criteria, wegingsfactoren, een werkgebied en een doelgroep. Alle mogelijkheden worden beoordeeld op basis van verschillende criteria. Door wegingsfactoren voor de criteria tellen sommige zwaarder mee dan andere. Alle opties werden beoordeeld door een panel van deskundigen (met onder andere Jan Peter van der Hoek van Waternet) op de volgende criteria: kosten (investering, onderhoud en verwijdering), duurzaamheid (energieverbruik, materialen, flexibiliteit en robuustheid) en toepasbaarheid (complexiteit, risico en tijdsduur implementatie, technisch risico, gebruiksgemak, effectiviteit, sociale acceptatie en

innovatie). Vervolgens werd nog een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de invloed van de wegingsfactoren te bepalen.

3.4.2 Modelberekeningen

De effecten van een aantal mogelijke maatregelen op de vrachten van elf stoffen die met het grondwater naar de Bethunepolder gaan zijn onderzocht met behulp van modelberekeningen met massabalansen (zie 3.3). Naast de maatregelen die in 3.4.1 zijn genoemd zijn ook effecten onderzocht van een verandering van de waterhuishouding.

4 Resultaten en discussie

De resultaten van de eerste fase van het onderzoek zijn gepresenteerd in het rapport "Fase 1 KRW-spagaat, milieuvreemde stoffen in de watercyclus" (Scholte-Veenendaal *et al.*, 2010). De resultaten van alle voor Fase 2A uitgevoerde analyses zijn in detail beschreven in het rapport "KRW spagaat: aanwezigheid van organische microverontreinigingen in en rond de Bethunepolder" (Schriks *et al.*, 2012). In "KRW spagaat; voortgangsrapportage fase 2AB" zijn de meest opvallende resultaten uit deze studie samengevat en toegelicht (Van der Oost, 2013). Een overzicht van de in Fase 1 en Fase 2A geïdentificeerde organische microverontreinigingen en bioassay-effecten in en rond de Bethunepolder is weergegeven in bijlage 1. De resultaten van de aanvullende monitoring van de 11 geselecteerde stoffen (fase 2C) zijn samen met de al bekende concentraties van deze stoffen opgenomen in tabel 1.

Tabel 1: Analysegegevens van 11 drinkwaterrelevante stoffen die zijn gebruikt voor het opstellen van massabalansen voor het KRW-spagaatonderzoek

	ACEK		AMPA		BENT		CAFF		CARB		GLYF		IOPR		METF		MTBE		NDMS		SULF	
	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog	nat	droog
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Lobith																						
RWA, RWS	16	2,2	0,29	0,41	0,008	0,018		0,03	0,06	0,07	0,02	0,05	0,20	0,18	0,87	0,88	0,15	0,12	0,04	0,05	0,01	0,06
gemiddeld	16	2,2	0,29	0,41	0,008	0,018		0,03	0,06	0,07	0,02	0,05	0,20	0,18	0,87	0,88	0,15	0,12	0,04	0,05	0,01	0,06
jaargemiddeld	19		0,35		0,013		0,03		0,07		0,04		0,19		0,87		0,14		0,04		0,04	
Utrecht IN																						
HWL Lekkanaal	12		0,34	0,47															0,06			
RWA, RWS					0,016	0,016	0,17	0,09	0,07	0,07	0,04	0,06	0,21	0,16	0,83	0,46	0,12	0,20			0,03	0,11
gemiddeld	12		0,34	0,47	0,016	0,016	0,17	0,09	0,07	0,07	0,04	0,06	0,21	0,16	0,83	0,46	0,12	0,20	0,06		0,03	0,11
jaargemiddeld	12		0,41		0,016		0,13		0,07		0,05		0,19		0,65		0,16		0,06		0,07	
Utrecht UIT																						
HDSR vecht rode brug					0,015	0,043																
Waternet vecht rode brug	2,6			0,35			0,01		0,10		0,08		0,88		0,96		0,06		0,00		0,03	
gemiddeld	2,6			0,35	0,015	0,043		0,01	0,10		0,08		0,88		0,96		0,06		0,00		0,03	
jaargemiddeld	2,6		0,35		0,029		0,01		0,10		0,08		0,88		0,96		0,06		0,00		0,03	
ARK Nieuwersluis																						
RWA, RWS			0,36	0,56	0,016	0,022	0,16	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,40	0,29	0,71	0,44	0,05	0,12			0,03	0,03
Waternet	3,3																		0,10			
gemiddeld	3,3		0,36	0,56	0,016	0,022	0,16	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,40	0,29	0,71	0,44	0,05	0,12		0,10	0,03	0,03
jaargemiddeld	3,3		0,46		0,019		0,12		0,06		0,05		0,35		0,57		0,09		0,10		0,03	
Vecht Maarssen																						
Waternet	5,1	15,0		0,20		0,008		0,06		0,08		0,08		0,39		1,70		0,12		0,04		0,08
gemiddeld	5,1	15,0		0,20		0,008		0,06		0,08		0,08		0,39		1,70		0,12		0,04		0,08
jaargemiddeld	10,1		0,20		0,008		0,06		0,08		0,08		0,39		1,70		0,12		0,04		0,08	
Loosdrechtse Plassen																						
Waternet	0,9	19		0,12		0,008		0,04		0,02		0,01		0,02		0,07		0,31		0,42		0,001
gemiddeld	0,9	19		0,12		0,008		0,04		0,02		0,01		0,02		0,07		0,31		0,42		0,001
jaargemiddeld	14		0,12		0,008		0,04		0,02		0,01		0,02		0,06		0,31		0,42		0,001	
Maarseveen/zodden																						
Waternet	2,2	12		0,05		0,021		0,06		0,04		0,08		0,12		0,08		0,06		0,16		0,002
gemiddeld	2,2	12		0,05		0,021		0,06		0,04		0,08		0,12		0,08		0,06		0,16		0,002
jaargemiddeld	17		0,05		0,021		0,06		0,04		0,08		0,12		0,08		0,06		0,16		0,002	
Bethunepolder WK																						
Waternet/HWL	0,4			0,002		0,016		0,01		0,004		0,001		0,001		0,013		0,08		0,08		0,001
gemiddeld	0,4			0,002		0,016		0,01		0,004		0,001		0,001		0,013		0,08		0,08		0,001
jaargemiddeld	0,4		0,002		0,016		0,01		0,004		0,001		0,001		0,013		0,08		0,08		0,001	

Stofcodes: ACEK = acesulfaam-K, AMPA = Aminomethyl phosphonic acid, BENT = bentazon, CAFF = cafeïne, CARB = carbamazepine, GLYF = glyfosaat, IOPR = iopromide, METF = metformine, MTBE = Methyl-tert-butylether, NDMS = N,N-dimethylsulfamide, SULF = sulfamethoxazol

	betrouwbaar
	1 meting beschikbaar
	meer dan 33% onder detectiegrens
	onbekend/missende waarden

In tabel 1 zijn ook de bronnen vermeld waarvan de gegevens zijn verkregen (RIWA-database, Rijkswaterstaat [RWS], Het Waterlaboratorium [HWL], Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden [HDSR] en aanvullende Waternet-metingen die zijn uitgevoerd voor het KRW-spagaat-project). Daarnaast is met verschillende kleuren de betrouwbaarheid van deze gegevens weergegeven. De gemeten concentraties in tabel 1 zijn weergegeven als gemiddelden van de metingen in natte en droge perioden en als jaargemiddelde concentraties.

4.1 Analyse van massabalansen van drinkwater relevante stoffen

Bij het analyseren van de massabalansen werden de jaargemiddelde concentraties van tabel 1 gehanteerd. Deze zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 2: Jaargemiddelde concentraties van 11 drinkwaterrelevante stoffen op de meetlocaties, gebruikt bij de massabalans-analyses voor het KRW-spagaatonderzoek

Concentraties	ACEK	AMPA	BENT	CAFF	CARB	GLYF	IOPR	METF	MTBE	NDMS	SULF
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Lobith	1,890	0,349	0,013	0,027	0,070	0,036	0,190	0,874	0,135	0,045	0,038
Utrecht IN	1,190	0,408	0,016	0,130	0,070	0,048	0,189	0,650	0,158	0,060	0,068
Utrecht UIT	2,575	0,348	0,029	0,015	0,103	0,084	0,878	0,965	0,065	0,001	0,027
ARK bij Nieuwersluis	3,300	0,464	0,019	0,119	0,063	0,052	0,346	0,573	0,086	0,102	0,029
Vecht bij Maarssen	10,050	0,202	0,008	0,062	0,080	0,079	0,394	1,700	0,120	0,040	0,076
Vecht plassen & Zodden	1,700	0,048	0,021	0,056	0,040	0,080	0,123	0,080	0,057	0,155	0,002
Loosdrechtse Plassen	1,375	0,124	0,008	0,041	0,018	0,012	0,019	0,065	0,309	0,415	0,001
Bethunepolder	0,440	0,002	0,016	0,009	0,004	0,001	0,001	0,013	0,080	0,080	0,001

Voor de theoretische analyse zijn de gegevens van Lobith als basis genomen en zijn de overige concentraties gebruikt om het model te toetsen (bijlage 2A). Bij de theoretische benadering werden de relatieve bijdragen bepaald van rwzi's die de kwaliteit van het water in de Vecht beïnvloeden. Omdat van de meeste rwzi's geen gegevens beschikbaar waren, zijn zogenaamde kengetallen gebruikt om de belasting per inwonerequivalent te schatten. Tabel 3 bevat de gegevens van een aantal Nederlandse onderzoeken waarin de hoeveelheden zijn bepaald van de 11 stoffen per inwonerequivalent (i.e.) per jaar die via de rwzi worden geloosd op het oppervlaktewater.

Tabel 3: Gegevens van stofgehalten in Nederlandse rwzi-effluenten en de kengetallen die in deze studie zijn toegepast om de rwzi-belasting te schatten (geel)

	Gemiddeld totaal	Min.	Max.	STOWA, VP	Gebiedsstudie Utrecht	Alles NL	Toegepast in deze studie
	[g/p/j]	[g/p/j]	[g/p/j]	[g/p/j]	[g/p/j]	[g/p/j]	[g/p/j]
ACEK	1,507	0,602	2,519				1,507
AMPA	0,186	0,081	0,279			0,186	0,186
BENT							0,000
CAFF	0,035	0,002	0,293		0,021	0,021	0,021
CARB	0,037	0,003	0,074	0,050	0,043	0,042	0,042
GLYF	0,272	0,189	0,460			0,272	0,272
IOPR	0,670	0,443	0,896			0,896	0,896
METF	0,459	0,145	0,999	0,525	0,446	0,459	0,459
MTBE	0,134	0,001	0,347				0,134
NDMS							0,000
SULF	0,012	0,009	0,016	0,010	0,012	0,012	0,012

Voor de praktische analyse zijn alleen gemeten concentraties gebruikt. Alleen wanneer de uitgaande concentraties van een herkomstgebied hoger waren dan de ingaande concentraties werd dit gebied als bron voor deze stof beschouwd (tabel 4). Deze bronnen van herkomst zijn in tabel 4 rood gemarkeerd. De gebieden waarin een afname (groen) of geen relevante

toename (wit) werd gevonden, werden bij de praktische analyse dus niet beschouwd als bron van herkomst voor de betreffende stoffen.

Tabel 4: Toename en afname van concentraties van 11 drinkwaterrelevante stoffen per herkomstgebied, als bron-identificatie voor de praktische massabalans-analyse

Af/toename	ACEK	AMPA	BENT	CAFF	CARB	GLYF	IOPR	METF	MTBE	NDMS	SULF
	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil	verschil
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Duitsland	1,890	0,349	0,013	0,027	0,070	0,036	0,190	0,874	0,135	0,045	0,038
Rijn NL	-0,700	0,059	0,003	0,103	0,000	0,013	-0,001	-0,225	0,023	0,015	0,030
Utrecht	1,385	-0,061	0,013	-0,115	0,032	0,036	0,689	0,315	-0,093	-0,060	-0,041
ARK tot Nieuwersluis	1,972	0,062	0,002	0,001	-0,011	0,000	0,087	-0,108	-0,062	0,048	-0,035
Vecht tot Maarssen	7,475	-0,146	-0,021	0,048	-0,023	-0,005	-0,484	0,735	0,055	0,040	0,049
Vecht polders/plassen	-8,350	-0,154	0,013	-0,007	-0,040	0,001	-0,271	-1,620	-0,063	0,115	-0,073
Loosdrechtse Plassen	-1,925	-0,340	-0,011	-0,079	-0,045	-0,040	-0,327	-0,509	0,223	0,313	-0,029

Verklaring: rood = relevante bron; groen = afname in concentratie; wit = geen relevante toename

Met behulp van de waterbalansen kon het aandeel van de verschillende bronnen in de Vecht en het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) worden bepaald. Deze twee wateren zijn verantwoordelijk voor de aanvoer van microverontreinigingen naar het water rond de Bethunepolder (BP) van waaruit de grondwaterkwel naar de BP plaatsvindt. Bij de theoretische benadering is het relatieve aandeel van de verschillende rwzi's op de waterkwaliteit van de Vecht berekend, terwijl bij de praktische benadering het aandeel van de zeven herkomstgebieden op de waterkwaliteit van de Vecht en het ARK is bepaald. Een kwantitatieve analyse is gemaakt van de invloed die het water uit de Vecht en ARK heeft op de Loosdrechtse Plassen (LP) en op de plassen en polders die onder invloed staan van de Vecht (VPP, onder andere Maarsseveense Plassen en Zoden). Voor de beide intrekgebieden is een schatting gemaakt van het aandeel van Vecht- en ARK-water in het totale volume van deze wateren. De resultaten van de analyse zijn te vinden in tabel 5.

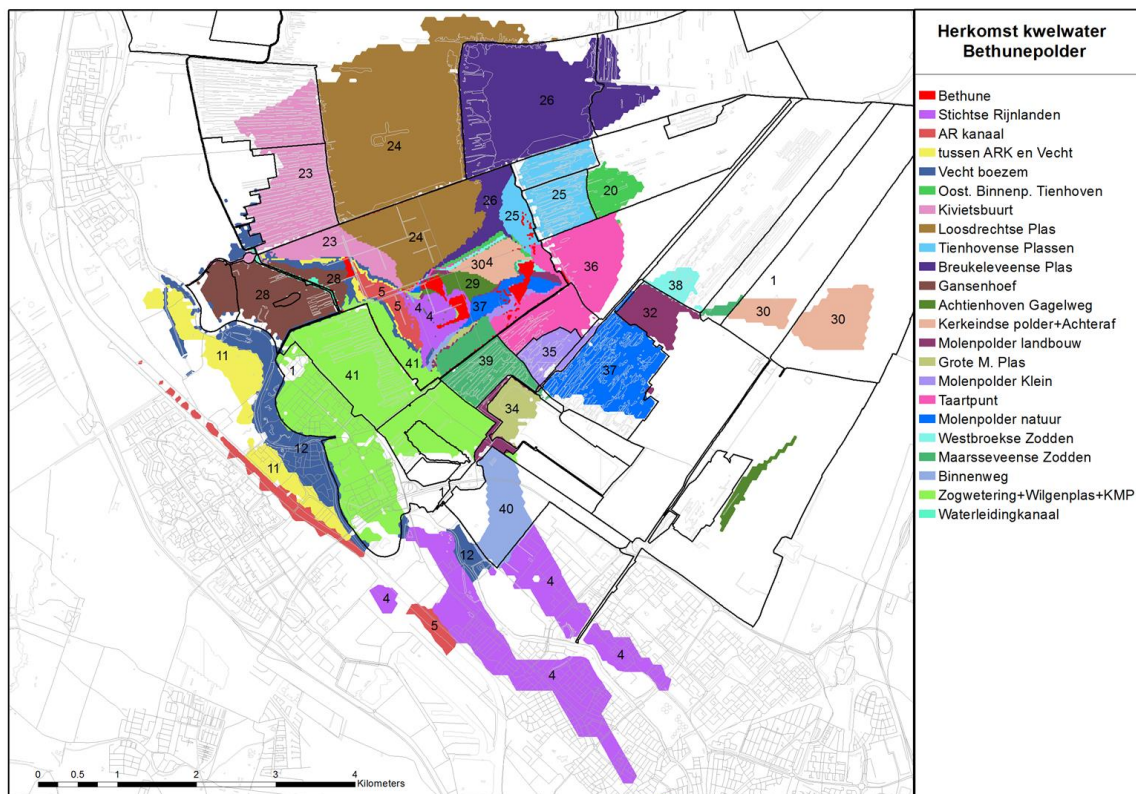
Tabel 5: Aandeel van Vecht- en ARK-water in de belangrijkste intrekgebieden van de BP

	Loosdrechtse Plassen	Vechtpolders & -plassen
	[%]	[%]
Vecht	3	30
ARK	25	0
Rest	72	70

Uit deze schatting, die is gecontroleerd met de chloridebalans van het water, blijkt dat het water in de Loosdrechtse Plassen sterk wordt beïnvloed door de kwaliteit van het ARK (door suppletie via Nieuwersluis), terwijl de polders en plassen rond de Vecht voor een groot deel uit Vechtwater bestaan (de gebruikte schatting van 30% op basis van globale suppletiegegevens is lager dan een chloridebalans-analyse die uitkomt op ruim 50%).

Met een grondwatermodel van Waternet heeft Jos Beemster vervolgens een schatting gemaakt van de kwel van grondwater vanuit de verschillende intrekgebieden naar de BP. De herkomst van het kwelwater naar de BP is weergegeven in figuur 3. De belangrijkste brongebieden van het water in de Bethunepolder (kwel en neerslagoverschot) zijn samengevoegd in tabel 6. In deze tabel is ook de vereenvoudigde bronverdeling weergegeven die bij de praktische analyse is gebruikt. Hierin zijn de bronnen samengevoegd waarvan wordt aangenomen dat ze niet zijn vervuurd (natuurgebied, diepe kwel en neerslag) en is de waterkwaliteit van het stedelijke gebied van Maarssen gelijkgesteld met die van de Vecht.

Figuur 3: Herkomst van het kwelwater naar de Bethunepolder (Waternet model Jos Beemster)



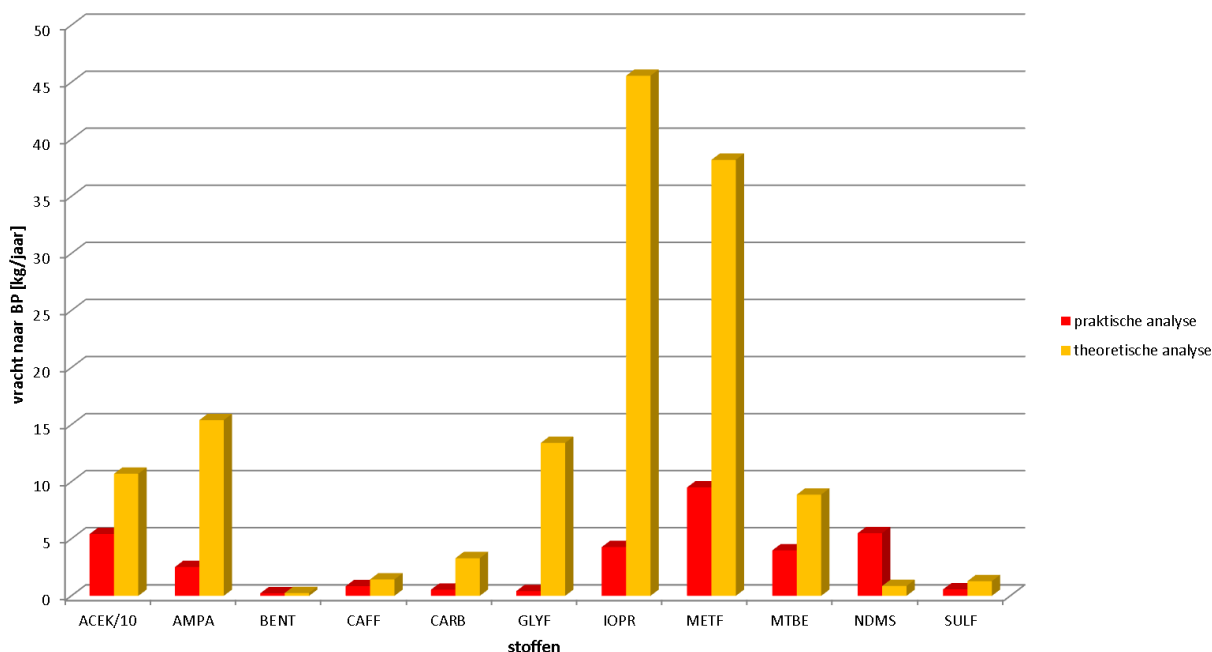
Tabel 6: Vereenvoudigde herkomst van het water in de Bethunepolder

	Grondwatermodel	Praktische analyse
	[m3/s]	[m3/s]
Loosrechtse Plassen (LP)	0.407	0.407
Plassen & polders o.i.v. Vecht (VPP)	0.227	0.227
Vecht	0.029	
Stedelijk gebied Maarssen	0.022	
Vecht + Maarssen (V+M)		0.051
Natuur	0.033	
Diepe kwel	0.128	
Neerslagoverschot	0.063	
Natuur + diepe kwel + neerslag		0.224
TOTAAL	0.909	0.909

Bij de praktische benadering wordt een schatting gemaakt van de relatieve bijdragen van de herkomstgebieden waarin zich de belangrijkste bronnen bevinden van de stoffen in het BP-water terwijl de theoretische benadering een schatting geeft van de bronnen die de kwaliteit van het Vechtwater beïnvloeden. Een validatie van de twee modellen door middel van een vergelijking tussen de berekende en de gemeten concentraties is te vinden in bijlage 2. De grootte van de berekende en gemeten waarden in het water van Vecht en ARK kwam vooral voor het praktische model goed overeen. De totale vrachten aan stoffen die volgens de twee modellen naar de BP trekken (kg/jaar) zijn te zien in figuur 4. Met uitzondering van NDMS worden de hoogste vrachten berekend met het theoretische model. Beide modellen zijn worst-casebenaderingen (geen afbraak en binding aan organisch materiaal), dus de werkelijke vrachten naar de BP zullen lager zijn. Dit blijkt uit de verschillen tussen de berekende en de

gemeten concentraties in het water van de BP (bijlage 2B). Met uitzondering van bentazon zijn alle gemeten concentraties lager dan de modelmatig berekende waarden.

Figuur 4: Met twee massabalans-analyses berekende vrachten van 11 stoffen naar de BP; ACEK-vrachten zijn 10x hoger

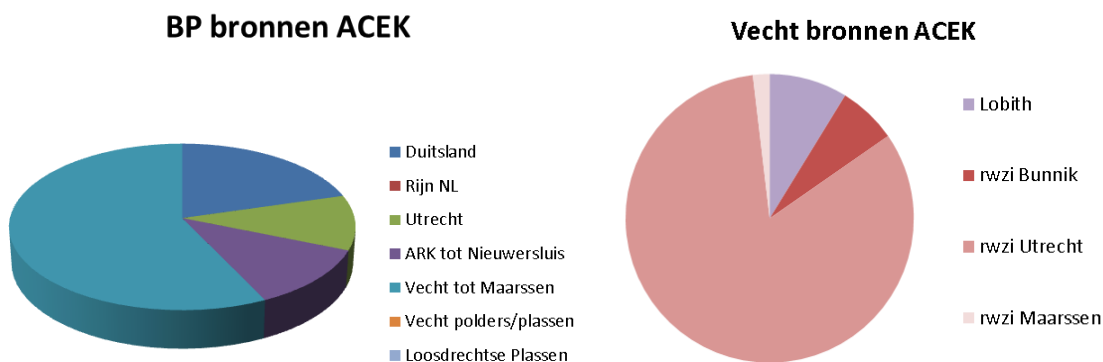


De gegevens van de twee modelanalyses worden in de volgende paragrafen voor elk van de elf stoffen besproken.

4.1.1 Acesulfaam K (ACEK)

Acesulfaam K is een zoetstof die zeer slecht afbreekbaar (persistent) is en uitsluitend afkomstig is van menselijk gebruik. Daarom is deze stof een zeer goede indicator van de invloed van rwzi-effluenten op de oppervlaktewaterkwaliteit. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken is weergegeven in figuur 5. Op grond van de praktische analyse is de stof voor het grootste deel afkomstig uit bronnen langs de Vecht van Utrecht tot Maarsse. Deze analyse is echter gebaseerd op slechts twee metingen in de Vecht, waarvan er één zeer hoog was (15 µg/L, tabel 1). Omdat het aandeel van de rwzi Maarsse op de waterkwaliteit relatief klein is, werd de hoogste concentratie mogelijk waargenomen na riooloverstorten in Utrecht en/of Maarsse. Uit de theoretische analyse blijkt dat de rwzi Utrecht verreweg de belangrijkste bron is van acesulfaam K in de Vecht en waarschijnlijk ook van de vrachten daarvan naar de BP.

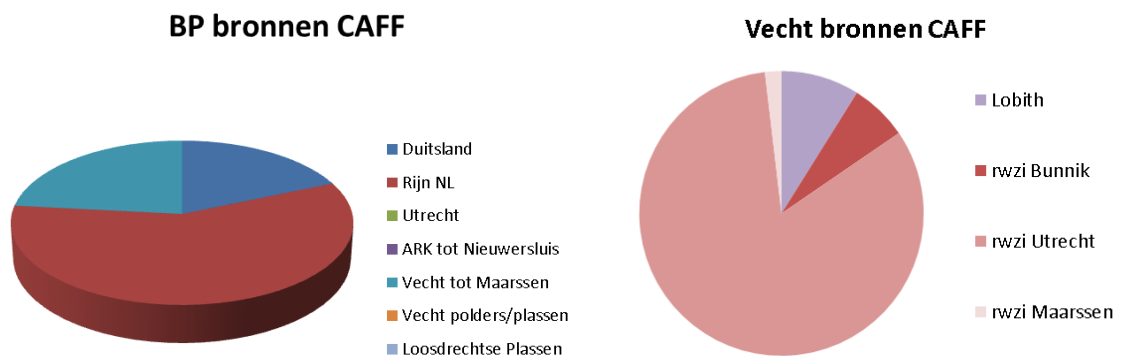
Figuur 5: Bronnen van acesulfaam K in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.2 Caffeïne (CAFF)

Ook cafeïne, het opwekkende bestanddeel van koffie, wordt wel gebruikt als indicator van de invloed van rwzi's of riooloverstorten op de waterkwaliteit. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken wordt getoond in figuur 6. De extractie en analyse van cafeïne is echter vaak problematisch, waardoor veel analyseresultaten niet betrouwbaar zijn. Het feit dat de concentraties erg laag waren die werden gemeten na het lozingspunt van de rwzi Utrecht in de Vecht illustreert dit. Door dit analyseresultaat wordt Utrecht bij de praktische benadering niet gezien als potentiële bron van deze stof. In dit geval lijkt de theoretische analyse dus de meest relevante informatie op te leveren en kan de rwzi Utrecht worden beschouwd als de voornaamste bron van deze stof in het water van de Vecht en de BP.

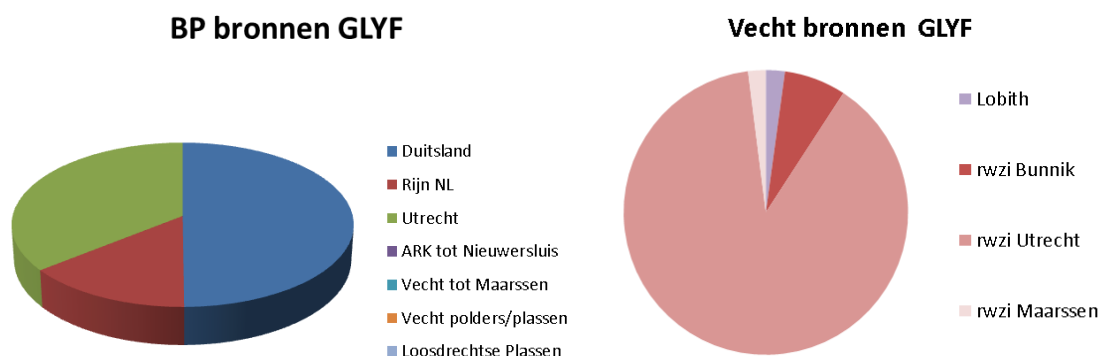
Figuur 6: Bronnen van cafeïne in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.3 Glyfosaat (GLYF)

Glyfosaat is een herbicide dat veel wordt toegepast bij onkruidbestrijding. Daarom is afspoeling van verharde oppervlakken, vooral in stedelijk gebied, een belangrijke emissieroute van deze stof. Met de regenwaterafvoer kan de stof bij gemengde stelsels ook via de rwzi worden geloosd. De herkomst van glyfosaat volgens de twee methodieken is te zien in figuur 7. Glyfosaat in het Nederlandse water is voor een belangrijk deel afkomstig uit het buitenland (Nederlandse regering, 2009), wat duidelijk wordt geïllustreerd met de praktische analyse, waarbij ongeveer de helft van de hoeveelheid glyfosaat in de BP afkomstig blijkt te zijn uit Duitsland. De theoretische benadering lijkt in dit geval een onderschatting te geven van de relatieve hoeveelheden uit Duitsland en het Nederlandse deel van de Rijn. Bij beide methodieken komt Utrecht naar voren als belangrijke glyfosaat-bron van de BP en de Vecht. Theoretisch komt zelfs meer dan 90% van het glyfosaat uit het effluent van de rwzi Utrecht.

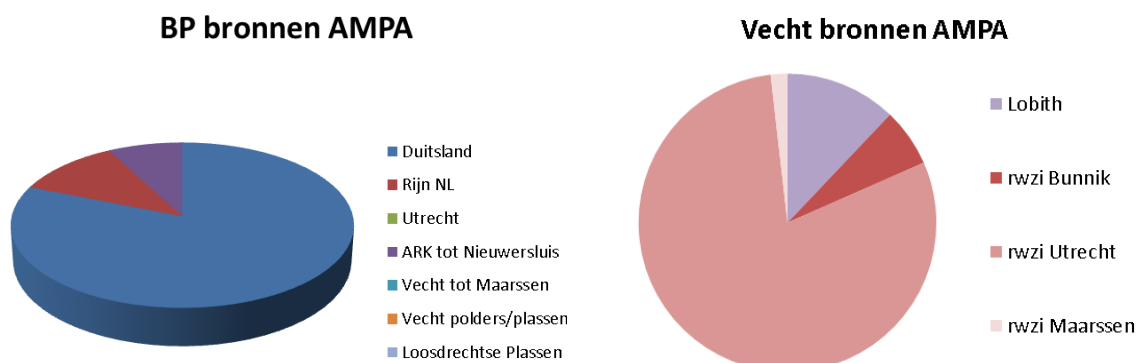
Figuur 7: Bronnen van glyfosaat in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.4 Aminomethyl phosphonic acid (AMPA)

AMPA is het belangrijkste afbraakproduct van glyfosaat (3.1.3) en is persistenter in water dan de moederstof. Daarom wordt het vaak in hogere concentraties aangetroffen dan glyfosaat (Botta *et al.*, 2009). De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken is weergegeven in figuur 8. Opvallend is dat bij beide methodieken de herkomst uit Duitsland groter is dan bij glyfosaat (zelfs meer dan 75% bij de praktische analyse). Daarnaast valt op dat Utrecht geen AMPA-bron is, terwijl het wel een belangrijke bron van glyfosaat was. De eenmalige analyse van het water na de rwzi Utrecht lijkt niet betrouwbaar genoeg voor een goede herkomst-analyse. Ook voor AMPA lijken Duitsland, de NL Rijn en Utrecht daarom de belangrijkste bronnen.

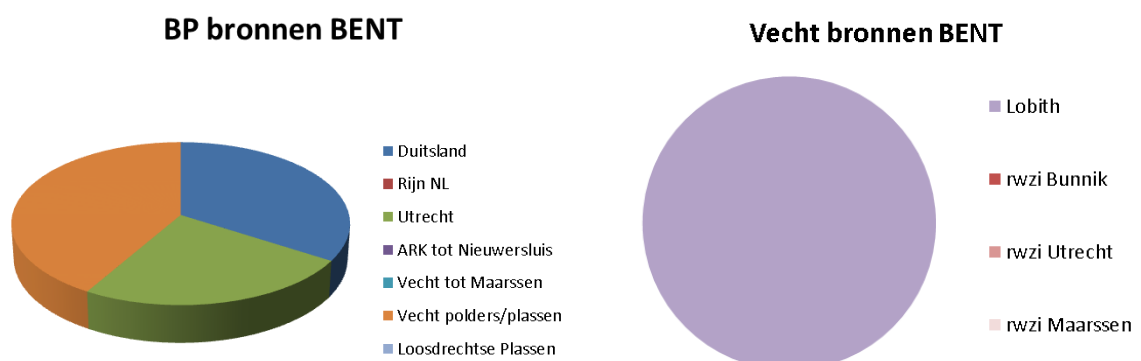
Figuur 8: Bronnen van AMPA in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.5 Bentazon (BENT)

Bentazon is een herbicide dat bij veel landbouwgewassen wordt toegepast. Dit is het eerste pesticide dat in het Nederlandse drinkwater werd aangetoond, en het vormde daarmee de aanleiding voor de uitbreiding van de drinkwaterzuivering van Waternet met ozonoxidatie en actief-koolfiltratie. De stof is erg mobiel in de bodem, maar wordt redelijk snel afgebroken in water. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken wordt getoond in figuur 9. De beperking van de theoretische aanpak, waarbij alleen rwzi's als bron worden beschouwd, blijkt uit het resultaat waarin de stof volgens deze analyse voor 100% afkomstig is uit Duitsland. Bij de praktische analyse blijkt dat ook in Utrecht en in de plassen en polders rond de Vecht bronnen van bentazon voorkomen. De concentraties zijn echter zeer laag zijn (vaak onder de detectiegrens), waardoor de massabalans-analyse onbetrouwbaar is. Mogelijk wordt bentazon in de BP toegepast (de gemeten concentraties zijn hoger dan de berekende).

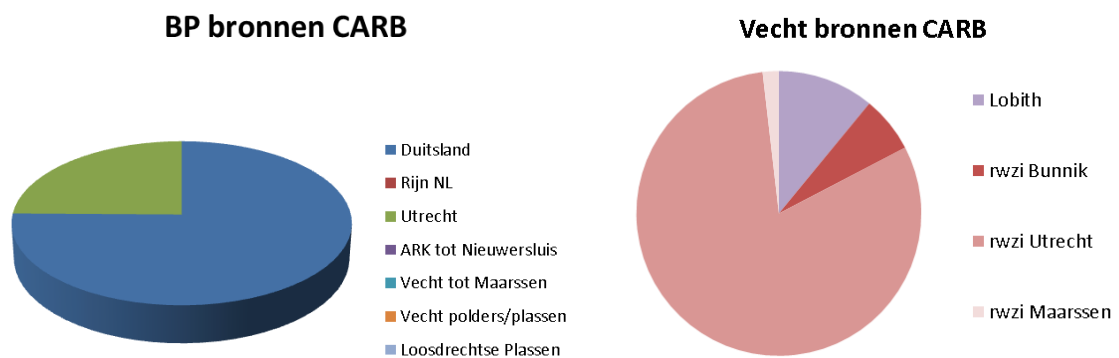
Figuur 9: Bronnen van bentazon in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.6 Carbamazepine (CARB)

Carbamazepine is een medicijn dat op grote schaal wordt toegepast bij epilepsie en manische depressies. Hoewel deze stof maar voor 1-2% als zuivere stof wordt uitgescheiden in de urine (het grootste deel wordt omgezet) is het een van de meest aangetroffen medicijnen in grond- en oppervlaktewater. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken is te zien in figuur 10. Ook hier worden weer grote verschillen waargenomen tussen de theoretische en de praktische analyse. Bij de theoretische analyse is het aandeel uit het buitenland veel kleiner dan bij de praktische analyse. De praktijkmethode geeft aan dat naast Duitsland (75%) alleen Utrecht een significante bijdrage levert aan de carbamazepinevracht naar de BP, maar dat de overige gebieden hiervoor geen relevante bronnen zijn (afname van concentraties).

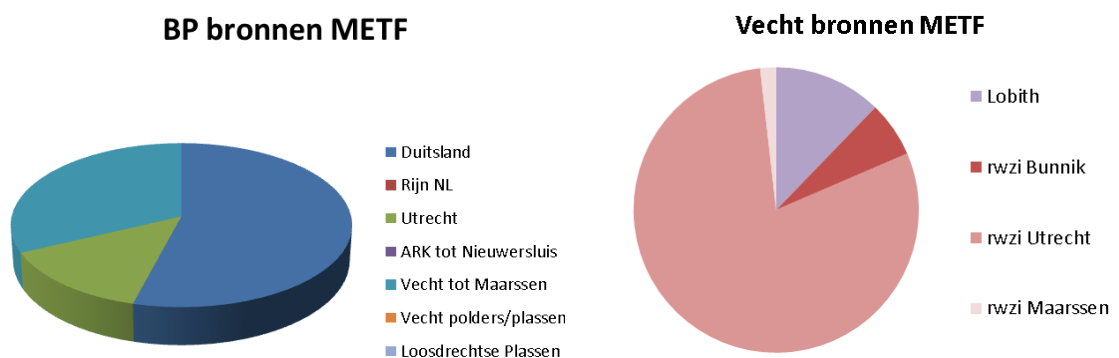
Figuur 10: Bronnen van carbamazepine in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.7 Metformine (METF)

Metformine is een medicijn dat wereldwijd zeer veel wordt voorgeschreven tegen suikerziekte (diabetes). In de rwzi wordt metformine voor het grootste deel omgezet in guanylurea, dat ook zeer vaak in oppervlaktewater wordt aangetroffen. De herkomst van metformine volgens de twee methodieken wordt getoond in figuur 11. De figuren lijken op die van carbamazepine, met als opvallend verschil dat volgens de praktische analyse in de Vecht tot Maarssen ook een relevante bron aanwezig is. In de Vecht is (zowel bij Maarssen als Nieuwersluis) vaker een hoge metformineconcentratie aangetoond, maar in de Vecht na de rwzi Utrecht is slechts één meting verricht waarbij een relatief lage concentratie werd aangetoond. Waarschijnlijk zal het relatieve aandeel van Utrecht hoger zijn, zoals in het theoretische model wordt aangetoond. De significante bijdrage van Duitsland aan de vracht naar de BP wordt ook hier weer duidelijk aangetoond met de praktische analyse.

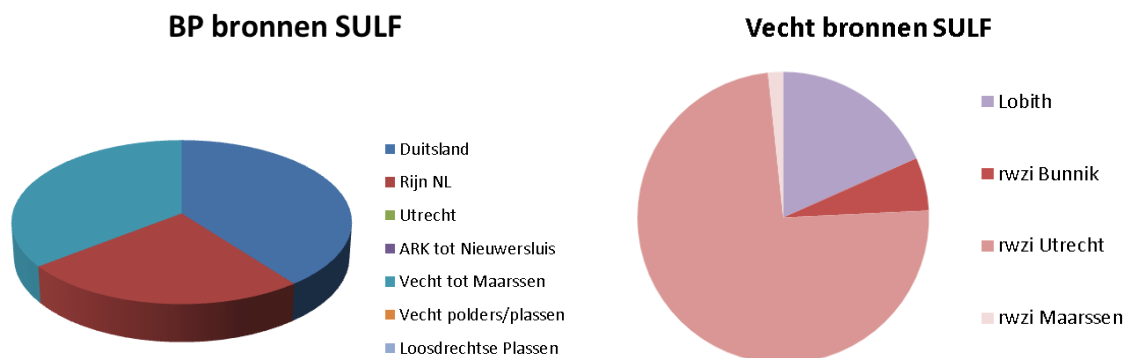
Figuur 11: Bronnen van metformine in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.8 Sulfamethoxazol (SULF)

Sulfamethoxazol is een antibioticum dat zowel bij mensen als dieren wordt toegepast, dus de emissie zal niet alleen van rwzi's afkomstig zijn maar ook van landbouwgrond. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken is weergegeven in Figuur 12. Uit de praktische analyse blijkt dat de Nederlandse bronnen vooral in landbouwgebieden liggen en dat ook voor deze stof een belangrijk aandeel uit Duitsland komt. Omdat bij de theoretische analyse geen rekening is gehouden met de emissie vanuit de landbouw is het beeld hiervan onvolledig. Overigens is het aandeel uit Duitsland bij deze methodiek ook relatief groot, maar kleiner dan dat van de rwzi Utrecht. Doordat deze stof diffuse bronnen kan hebben, lijkt een aandeel van zowel Duitsland, NL Rijn, Vechtpolders en -plassen als Utrecht (slechts één meting uitgevoerd) reëel.

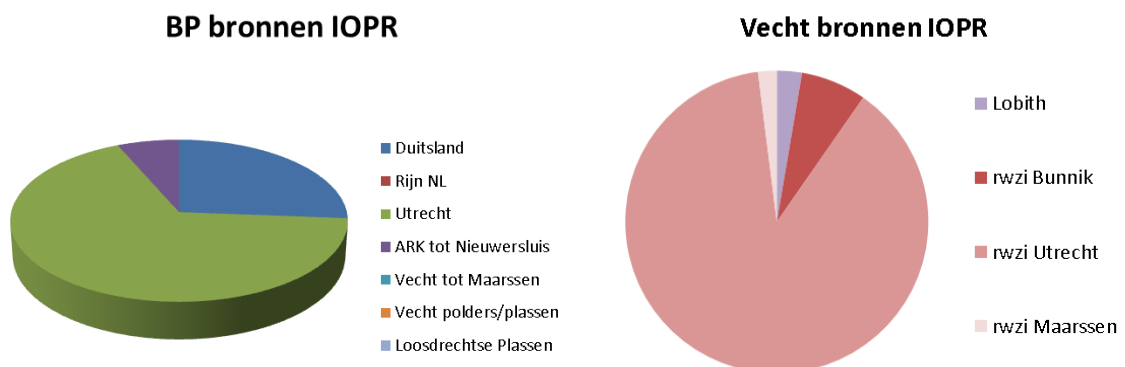
Figuur 12: Bronnen van sulfamethoxazol in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.9 Iopromide (IOPR)

Iopromide wordt gebruikt als röntgencontrastmiddel bij medisch onderzoek (CT-scans). Dit soort stoffen wordt over het algemeen snel en vrijwel volledig uitgescheiden door de mens. Hierdoor kunnen de concentraties van deze stoffen in de watercyclus erg hoog worden. De belangrijkste bronnen van deze stoffen (ongeveer 75%) zijn de ziekenhuizen waarin de onderzoeken plaatsvinden. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken wordt getoond in figuur 13. Op basis van de beide analyses wordt de rwzi Utrecht gezien als de belangrijkste bron van deze stof gezien. Bij de praktische analyse wordt ook een bron aange- toond die op het ARK loost. Het Duitse aandeel is ook voor deze stof hoger bij de praktische analyse.

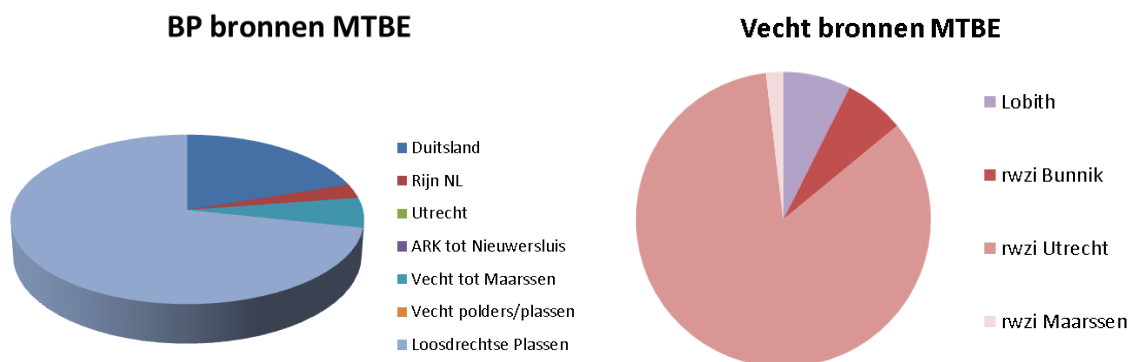
Figuur 13: Bronnen van iopromide in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.10 Methyl-tert-butylether (MTBE)

MTBE is een oplosmiddel dat vooral wordt gebruikt als loodvervanger in benzine. De stof is moeilijk afbreekbaar en zeer mobiel in het milieu. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken is te zien in figuur 14. De verschillen tussen de praktische en de theoretische herkomstmodellen zijn bij deze stof zeer groot, vooral omdat de theoretische analyse alleen rekent met rwzi-emissies. Omdat de stof vooral in het milieu komt via scheepsbrandstof en grondwatervervuiling bij benzinestations lijkt de praktische benadering hier het meest relevant. Volgens deze analyse komt de MTBE-vracht naar de BP vooral uit de Loosdrechtse Plassen en is een klein deel afkomstig uit Duitsland, de Nederlandse Rijn en de Vecht. Op grond van deze herkomstgebieden lijkt de scheepvaart de voornaamste MTBE-bron te zijn.

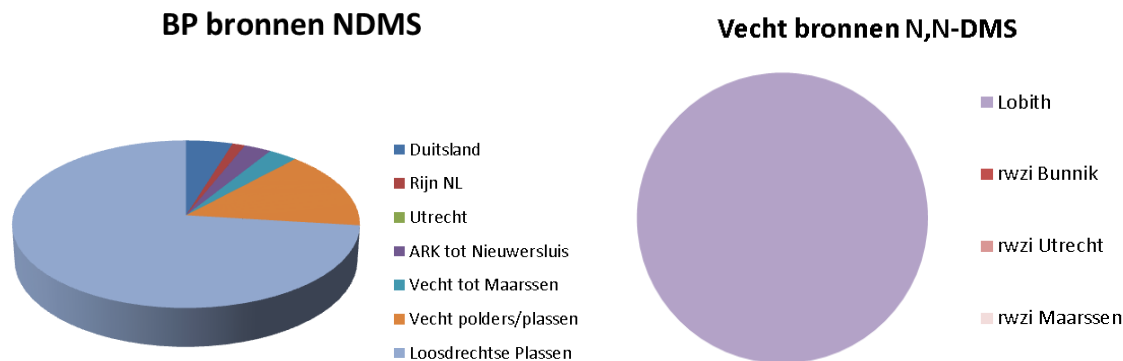
Figuur 14: Bronnen van MTBE in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.11 N,N-dimethylsulfamide (NDMS)

NDMS is een afbraakproduct van de biociden tolylfluanide en dichlofluanide, die worden toegepast als fungicide en als antifouling om algengroei aan schepen te voorkomen. Omdat NDMS niet erg giftig is leek het risico voor de drinkwaterproductie laag. Toen echter werd ontdekt dat de stof tijdens ozonisatie werd omgezet in de kankerverwekkende metaboliet N-nitrosodimethylamine (NDMA) werd het wel als een serieus probleem beschouwd. Hoewel de moederstoffen sinds 2007 zijn verboden, wordt het moeilijk afbreekbare NDMS nog steeds aangetroffen in het milieu. De herkomst van deze stof volgens de twee methodieken wordt getoond in figuur 15.

Figuur 15: Bronnen van NN-DMS in Bethunepolder (praktisch) en Vecht (theoretisch)



4.1.12 Belangrijkste brongebieden van de onderzochte stoffen

Tabel 7: Belangrijkste bronnen en brongebieden voor stoffen in de Vecht en de Bethunepolder

4.2 Efficiëntie van maatregelen

24/43

verlagen. Daarnaast wordt het praktische massabalans-model toegepast om het effect van verschillende maatregelen op de stofstromen naar de Bethunepolder te illustreren.

4.2.1 MCA maatregelen

De Multi Criteria Analyse (MCA) is uitgevoerd op negen mogelijke maatregelen om de vrachten van microverontreinigingen naar drinkwaterwinningen te verlagen:

1. "Groene" medicijnen (ontwikkeling van milieuvriendelijke geneesmiddelen)
2. Bewustzijn bij gebruik en voorschrift van medicijnen (artsen en patiënten)
3. Wetgeving en beleid (meest schadelijke stoffen verbieden of strengere normen)
4. "Groene" landbouw in kas, landbouw en veeteelt (minder/geen pesticiden en medicijnen)
- 5a. Decentrale inzameling en behandeling van urine
- 5b. Gecentraliseerde inzameling en behandeling van urine
6. Decentrale afvalwaterinzameling en behandeling op lokale schaal
7. Decentrale inzameling en behandeling van het ziekenhuisafvalwater (bijv. Pharmafilter)
8. Verbetering van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi)
9. Verbetering van de drinkwaterzuiveringsinstallatie (dwzi).

Een panel van experts heeft de 9 maatregelen beoordeeld aan de hand van criteria voor kosten, duurzaamheid en toepasbaarheid. Er zitten echter wat beperkingen aan deze analyse. Voor de maatregelen 1-4 is het erg lastig om de kosten te schatten, omdat alternatieve middelen of methoden moeten worden gevonden waarvan de kosten onbekend zijn. Voor maatregelen 5 en 7 zijn de kosten veel hoger dan voor verbetering van de zuiveringsprocessen (8-9). De kosten voor decentrale lokale zuivering (6) zitten daar tussenin. Hierbij moet worden aangetekend dat bij het Pharmafilter-concept de hoge kosten van de afvalwaterzuivering worden terugverdiend door besparingen op energie, logistiek en personeel in het ziekenhuis (STOWA, 2012). De tabel met scores die de deskundigen gaven aan de verschillende criteria voor deze maatregelen is te vinden in bijlage 3. Het resultaat van de analyse was dat de maatregelen 1-4 (aankoop van het gebruik) werden gezien als goede strategieën, de maatregelen 8 en 9 (optimaliseren gecentraliseerde zuivering) als redelijk goed en de maatregelen 5, 6 en 7 als de minst goede (optimaliseren decentrale zuivering/scheiding). Van de maatregelen 1-4 werd "Wetgeving en beleid" (3) beoordeeld als beste strategie. Bij een gevoeligheidsanalyse waarbij de verschillende wegingsfactoren voor de criteria werden gevarieerd bleven de strategieën 1-4 meestal de beste. Alleen als het gewicht van de kosten en de duurzaamheid werd verlaagd en de effectiviteit het belangrijkste werd, kregen de aanvullende zuiveringen (strategieën 8 en 9) de hoogste score. Een uitgebreide beschrijving van deze analyse met alle resultaten is te vinden in het rapport van Judith van Tol (Van Tol, 2013).

4.2.2 Modelberekeningen met maatregelen

De maatregelen die als het meest kansrijk uit de MCA kwamen, waren alle gericht op een aanpak waarmee de emissie van stoffen naar het milieu zou moeten afnemen door verminderd gebruik. Als deze methoden zouden worden toegepast kunnen de resultaten daarvan als volgt worden gemodelleerd (aannames volgens Van Tol, 2013):

- Groene medicijnen: verlaging concentraties van medicijnen/caféïne in water 50% en 25%
 - Groene landbouw: verlaging concentraties van pesticiden en diermedicijnen in water 50%
 - Wetgeving en beleid: verlaging concentraties van alle microverontreinigingen in water 50%.
- Het effect van het scenario voor bewuster gebruik en voorschrift van medicijnen is nog lastiger te modelleren, maar dit kan een vergelijkbare uitwerking hebben als die van groene medicijnen. De effecten die deze maatregelen zouden hebben op stofstromen naar de Bethunepolder

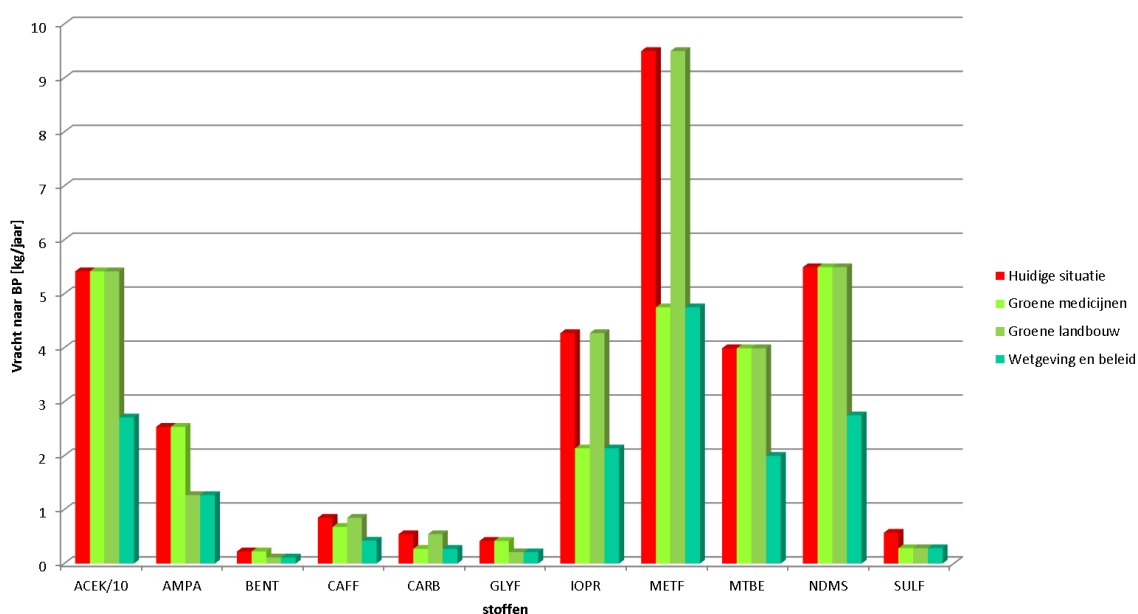
(als ze ook in het buitenland worden uitgevoerd), berekend met het praktische model van de massabalans en de bovengenoemde aannamen, zijn weergegeven in figuur 16.

Ook voor maatregelen om stoffen te verwijderen voordat ze op het oppervlaktewater worden geloosd (mitigerende maatregelen) kunnen aannamen worden gedaan van het mogelijke effect op de waterconcentraties:

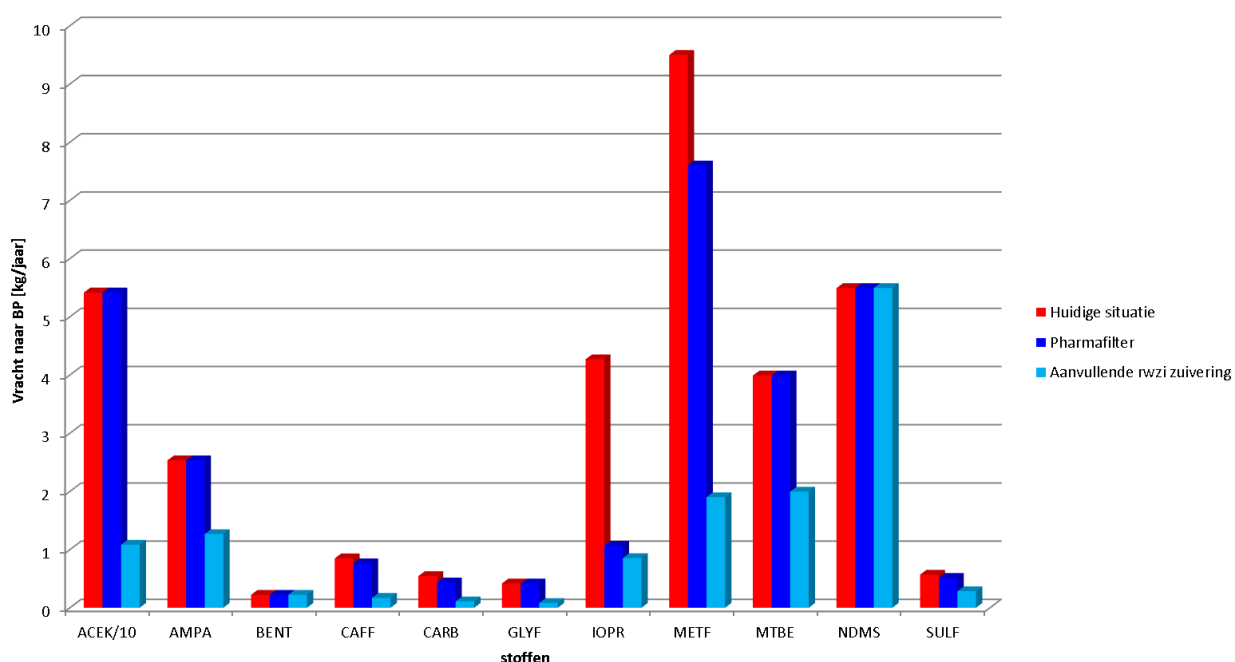
- Pharmafilter: verlaging waterconcentraties medicijnen 20%, röntgencontrastmiddelen 75% (maximale aandelen ziekenhuizen volgens STOWA, 2009).
- Aanvullende zuivering rwzi's: verlaging waterconcentraties alle "rwzi-stoffen (ACEK, CAFF, CARB, IOPR, METF)" 80%, "deels rwzi-stoffen (AMPA, GLYF, MTBE, SULF)" 50%.

De effecten die deze maatregelen zouden hebben op stofstromen naar de Bethunepolder (NB. als ze ook in het buitenland worden uitgevoerd!), berekend met het praktische model van de massabalans en de bovengenoemde aannamen, worden getoond in figuur 17.

Figuur 16: Effect van bronmaatregelen op de grondwatervrachten van 11 stoffen naar de BP (ACEK-concentraties zijn 10x hoger dan in de grafiek)

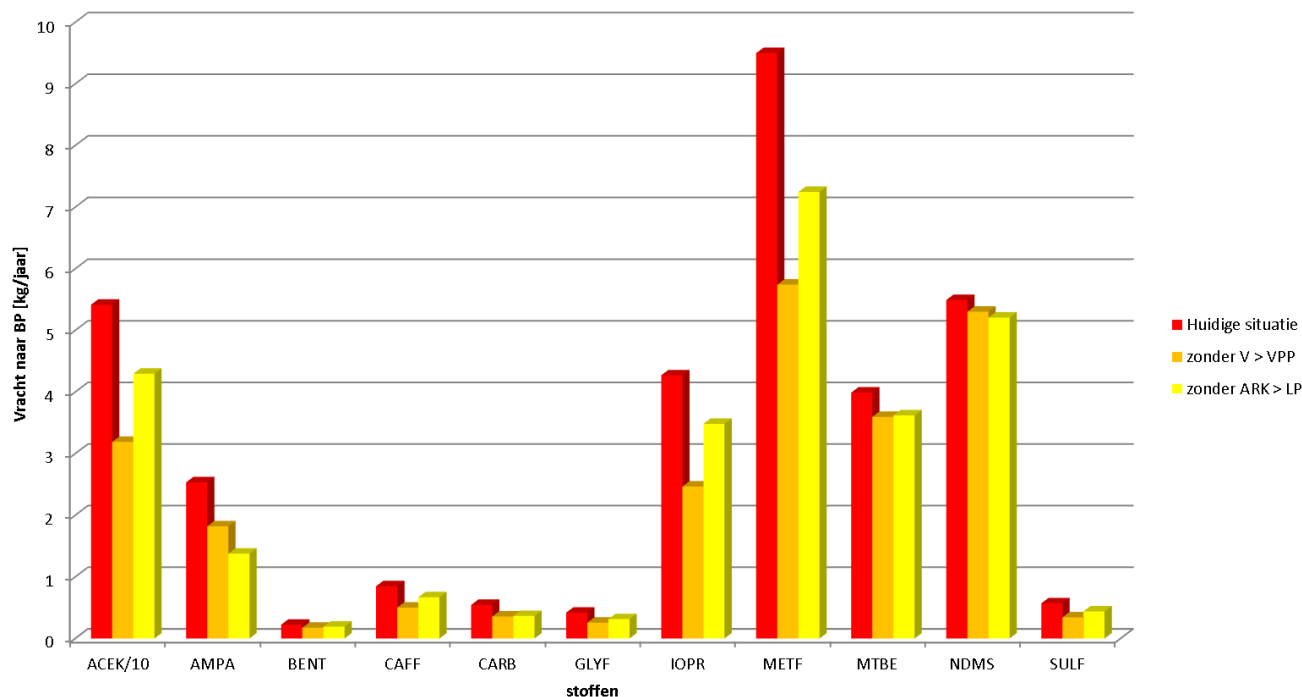


Figuur 17: Effect van aanvullende zuiveringen op de grondwatervrachten van 11 stoffen naar de BP (ACEK-concentraties zijn 10x hoger dan in de grafiek)



Naast de in de MCA onderzochte maatregelen is het ook mogelijk om de waterhuishouding zodanig aan te passen dat stoffen uit verontreinigd water zo min mogelijk terechtkomen in de intrekgebieden van het drinkwater. In het geval van de Bethunepolder wordt het grootste volume van het kwelwater onttrokken aan de Loosdrechtse Plassen en de plassen en polders die onder invloed staan van de Vecht. De hoogste concentraties microverontreinigingen worden echter waargenomen in de Vecht en het ARK. Als het mogelijk is om maatregelen te nemen die voorkomen dat het Vechtwater en het ARK-water de intrekgebieden beïnvloeden (bijvoorbeeld door flexibel peilbeheer en afsluiten van inlaten), dan zal de belasting van het BP-grondwater met microverontreinigingen afnemen. Het modelmatig berekende effect van dergelijke maatregelen is weergegeven in figuur 18. Alleen voor de stoffen waarvan de Loosdrechtse Plassen en de polders en plassen rond de Vecht zelf een bron vormen (MTBE en NDMS) verandert weinig. Een optie om de waterkwaliteit van de Vecht te verbeteren kan zijn om het effluent van de rwzi Utrecht te lozen op het ARK. Daarmee zal het effect van het stopzetten van de suppletie van ARK-water naar de LP (gele balken in figuur 18) worden vergroot.

Figuur 18: Effect van maatregelen in de waterhuishouding (afsluiten Vecht van omringende plassen en polders en afsluiten ARK van Loosdrechtse Plassen) op de grondwater-vrachten van 11 stoffen naar de BP (ACEK-concentraties zijn 10x hoger dan in de grafiek)



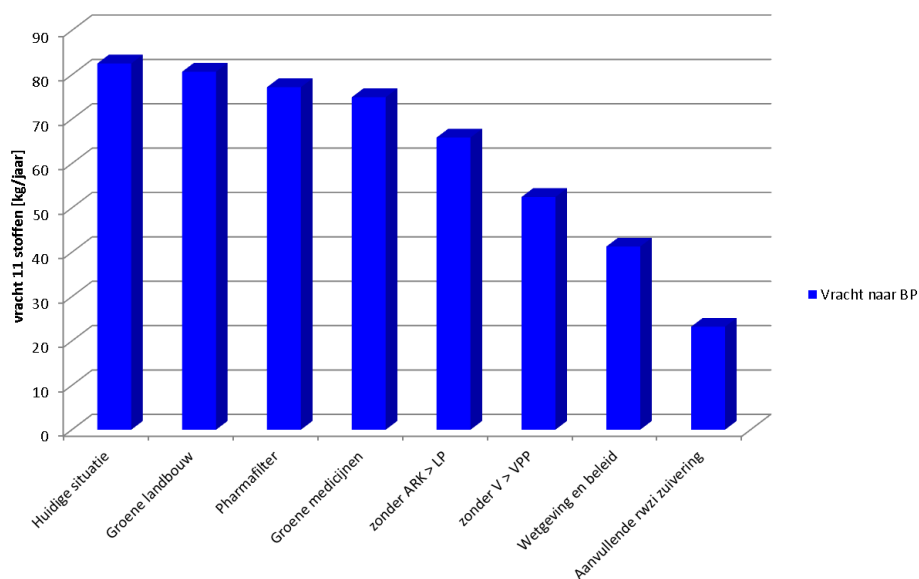
4.2.3 Analyse van de meest effectieve maatregelen

Ondanks een uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijft de MCA van maatregelen voor de aanpak van microverontreinigingen (3.2.1) afhankelijk van de persoonlijke voorkeuren van de geraadpleegde deskundigen en zal dus niet helemaal objectief zijn. De expertgroep bestond in dit geval uit slechts vijf personen. Bij deze analyse is een aantal kanttekeningen te maken. Ten eerste is het onduidelijk in een aantal waarden (zowel kosten als effecten op duurzaamheid en kwaliteit). Sommige maatregelen vergen transitie en zijn niet effectief voor dit doel alleen. Als de nu gebruikte middelen moeten worden vervangen door alternatieven die minder schadelijk zijn voor mens en milieu zal dat vermoedelijk veel tijd en geld kosten. Het ontwikkeltraject van een nieuw medicijn kost miljoenen euro's. Als de gezondheid van de mens in gevaar komt zal dit geld ongetwijfeld worden gevonden, maar als het alleen om milieueffecten gaat worden de economische belangen meestal zwaarder meegewogen. De

strategie “Wetgeving en beleid”, die nu als beste uit de MCA komt, zal daarom zeker geen kortetermijnoplossingen bieden. Bovendien zal deze strategie alleen voor een beperkt aantal stoffen kunnen worden uitgevoerd, terwijl meer dan 100.000 stoffen voorkomen in het watermilieu (Depledge en Fossi, 1994). Het laatste argument geldt ook voor de strategieën 1, 2, 5 en 7, die vooral gericht zijn op een vermindering van de emissie van geneesmiddelen. Strategie 4 lijkt iets beter, omdat naast diergeneesmiddelen ook pesticiden worden aangepakt. Bij strategieën 6 en 8 kan een breed spectrum aan stoffen worden verwijderd, maar emissies via landbouw, industrie en recreatie worden hiermee niet aangepakt, tenzij de afvalstromen daarvan worden aangesloten op de aanvullende zuivering. Een strategie die niet in de MCA werd onderzocht is een beïnvloeding van de waterhuishouding zodat stoffen niet terechtkomen in drinkwaterwingebieden. Deze strategie kan effectief zijn voor alle stoffen waarvan de bron niet direct in deze wingebieden ligt. Alleen met een efficiënte zuivering van het drinkwater kunnen vrijwel alle stoffen worden verwijderd, maar hiermee wordt de kwaliteit van het oppervlaktewater niet verbeterd. De bovenstaande analyse geeft in grote lijnen dezelfde conclusies als Hofman *et al.* (2013), waarvan een overzicht wordt gegeven in bijlage 5.

Met de modelanalyses van 3.2.2 is een schatting gemaakt van de effecten die verschillende maatregelen kunnen hebben op de vrachten van de 11 onderzochte stoffen die via het grondwater naar de Bethunepolder trekken. In Figuur 19 zijn de berekende BP-vrachten van deze stoffen gesommeerd en zijn de effecten van de maatregelen gerangschikt op hun potentiële effectiviteit (de verlaging van de vrachten naar de BP).

Figuur 19: Modelmatig berekend effect van maatregelen op grondwatervrachten van 11 stoffen naar de BP

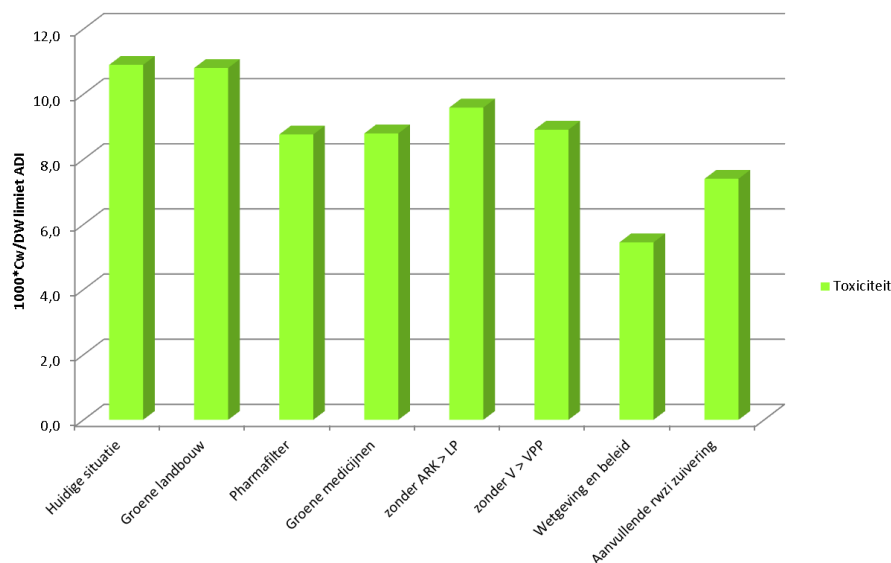


Uit deze modelmatige analyse blijkt dat aanvullende zuivering op de rwzi het sterkste effect heeft op de vermindering van de totale vracht van de 11 onderzochte stoffen naar de BP. Bij deze maatregel is aangenomen dat 80% van de typische “rwzi-stoffen” en 50% van de stoffen die gedeeltelijk via de rwzi worden geloosd met de aanvullende zuivering worden verwijderd. Deze maatregel scoort beter dan de aanpassing van wetgeving en beleid, waarbij een afname van de waterconcentraties van 50% voor alle stoffen werd aangenomen. Ook maatregelen via de waterhuishouding lijken zinvol volgens deze berekening.

De berekende vrachten van de 11 stoffen die met het grondwater naar de BP gaan worden voor een belangrijk deel (66%) bepaald door hoge concentraties van de zoetstof acesulfaam K. Deze stof heeft echter een zeer lage toxiciteit en zal daarom geen risico vormen voor de drinkwater-

kwaliteit. Om het effect van maatregelen op de mogelijke gezondheidsrisico's via drinkwater te onderzoeken is het dus relevanter om de toxiciteit van de stoffen mee te wegen. De ADI (= *Acceptable daily intake*) is de wetenschappelijk vastgestelde hoeveelheid van de stof die een mens dagelijks kan opnemen zonder dat dit effecten op de gezondheid heeft. De ADI-waarden van stoffen (zie bijlage 4) kunnen worden omgerekend naar drinkwaterlimieten met de aanname dat een mens van 60 kg gemiddeld 2 liter water drinkt. De opname via drinkwater mag maximaal 10% van de ADI zijn, omdat de stof ook via andere routes (lucht, voedsel) kan worden opgenomen. Op deze manier zijn op de ADI gebaseerde drinkwaterlimieten van 10 stoffen berekend, op een vergelijkbare manier als Schriks *et al.* (2010). Van NDMS is geen ADI bekend. De stof heeft weliswaar een lage toxiciteit, maar omdat het via ozonisatie kan worden omgezet in het zeer giftige NDMA kan het toch een risico voor de drinkwaterkwaliteit vormen. Voor NDMS is daarom de laagste ADI van alle stoffen aangenomen (10 µg/kg/dag). Als we de concentraties in het water van de BP delen door de berekende ADI-drinkwaterlimieten kunnen we iets zeggen over de mogelijke risico's voor de volksgezondheid en het effect van maatregelen daarop. In de huidige situatie is het totale risico-quotiënt RQ (som van de concentraties van 11 stoffen gemeten in het BP water, gedeeld door hun drinkwaterlimieten) ongeveer 0,003. Dat is dus ruim driehonderd maal lager dan de gesommeerde ADI's. Hierbij moet ook nog worden aangetekend dat het werkelijke RQ lager zal zijn omdat een groot deel van de stoffen wordt verwijderd bij de drinkwaterzuivering. Met de praktische modelberekening (worst-case) is het totale RQ in de bron ongeveer 0,011. Figuur 20 toont het berekende effect van de verschillende maatregelen op de modelmatig bepaalde toxiciteit van het water (totaal RQ*1000).

Figuur 20: Modelmatig berekend effect van maatregelen op toxiciteit van 11 stoffen in de BP, weergegeven als 1000*RQ (RQ = berekende waterconcentratie/ADI drinkwaterlimiet)



Omdat de toxiciteit voor een belangrijk deel wordt bepaald door de stoffen met de laagste ADI's (geneesmiddelen en NDMS) ziet het patroon van figuur 20 er heel anders uit dan dat van figuur 19. Omdat NDMS een belangrijk deel van het risico bepaalt, is de invloed van de meeste maatregelen minder sterk, behalve bij "wetgeving en beleid" (afname van 50% voor alle stoffen). Deze maatregel is al genomen, omdat de moederstoffen van NDMS nu zijn verboden. Omdat ook de medicijnen een belangrijke bijdrage leveren aan de toxiciteit van de 11 stoffen komen specifieke maatregelen voor deze stofgroep er relatief beter uit dan op basis van de totale stofgehalten. Het Pharmafilter scoort bij deze analyse beter, omdat met deze maatregel – mits in alle ziekenhuizen toegepast – ongeveer 75% van het röntgencontrastmiddel iopromide wordt verwijderd (naast circa 20% van de overige medicijnen).

5 Conclusies en aanbevelingen

Met nadruk moet worden gesteld dat de voor deze studie uitgevoerde modelberekeningen slechts een indicatie zijn voor bepaalde trends van elf onderzochte stoffen. Door de aannamen in de beide modellen is het niet mogelijk om een nauwkeurige analyse te maken van de stoffen die daadwerkelijk in de BP terechtkomen. Ten eerste is de afbraak van de stoffen niet in de berekeningen meegenomen, omdat hiervoor onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Hoewel de meeste stoffen moeilijk afbreekbaar zijn kan dit na langere tijd toch een belangrijke rol spelen. Daarnaast is de binding aan organisch materiaal niet meegenomen, wat vooral tijdens het grondwatertransport naar de BP een zeer belangrijke rol zal spelen. Omdat de duur van dit transport vanuit de verschillende intrekgebieden kan variëren van 1 tot 100 jaar is het vrijwel onmogelijk om dit voor alle stoffen kwantitatief in kaart te brengen. De belangrijkste afwijkingen van de modellen zijn veroorzaakt door de verschillen in tijdsduur van het grondwatertransport, waarin stoffen meer aan organisch materiaal binden en meer worden afgebroken naarmate dat langer duurt. De beperking van een kleine selectie van elf stoffen kan ook van belang zijn voor de conclusies. In werkelijkheid kunnen totaal andere stoffen een rol spelen bij de mogelijke risico's voor de drinkwaterkwaliteit. Daarnaast zijn niet alle mogelijke bronnen (zoals bodemverontreinigingen) in beschouwing genomen. Een beperking van de theoretische analyse is dat alleen rwzi's als mogelijke bronnen werden meegenomen, terwijl de belangrijkste beperking van de praktische analyse het lage aantal betrouwbare meetgegevens op een aantal locaties was.

5.1 Herkomst van stoffen in de Bethunepolder

Volgens een gecombineerde massabalans-analyse met twee modellen waren Duitsland en Utrecht de belangrijkste herkomstgebieden van de meeste organische microverontreinigingen in de Bethunepolder. Voor MTBE en NDMS (die via de scheepvaart in het milieu komen), zijn de Loosdrechtse Plassen ook een belangrijke bron. Sulfamethoxazol (veel gebruikt als diergeneesmiddel) is ook voor belangrijk deel afkomstig van de Rijn en de Vecht.

5.2 Efficiënte maatregelen tegen microverontreinigingen in de BP

Om alle risico's voor de mens te voorkomen lijkt een robuuste drinkwaterzuivering het meest efficiënt. Op termijn zijn echter milieurisico's te verwachten van de stoffen, bijvoorbeeld omdat door klimatologische veranderingen de invloed van rwzi's op de waterkwaliteit van de bronnen voor drinkwater toeneemt. In dat geval wordt het zinvol om de emissies bij de bron te saneren. Maatregelen die emissies beperken leveren per definitie meer winnaars op dan zuiveren aan het eind (*end-of pipe*) bij de drinkwaterbereiding. Dit is ook het algemene (Europese) beleid rond emissiebeperkende maatregelen (KRW). De brongerichte aanpak is echter zeer lastig als het gaat om diffuse bronnen zoals de landbouw. De toepassing en het gebruik van de stoffen is daarom belangrijk bij de keuze van de beste maatregelen. Mede op grond van dit onderzoek lijken de onderstaande maatregelen het meest relevant om de waterkwaliteit van de Bethunepolder te verbeteren:

- *Wetgeving en beleid.* Stoffen die een bewezen hoog risico voor mens of milieu vormen zullen internationaal moeten worden verboden. Deze maatregel is al genomen voor de moederstoffen van NDMS, maar het zal nog jaren duren voordat deze stof uit het water is verdwenen. Ook ruimtelijk beschermingsbeleid kan hieraan op landelijk, provinciaal en gemeentelijk niveau een bijdrage leveren.

- *Aanvullende zuivering rwzi's*. Omdat via het effluent van de rwzi's een groot aantal stoffen in het oppervlaktewater komt, kan het een efficiënte maatregel zijn om de rwzi geschikt te maken voor de verwijdering van microverontreinigingen. Als de mogelijke risico's voor mens en milieu bij alle rwzi's in kaart zijn gebracht kan een keuze worden gemaakt bij welke rwzi's deze maatregel het meest zinvol is. Voor de kwaliteit van het BP-water lijkt een sanering van de rwzi Utrecht het meest effectief.
- *Aanpassing van de waterhuishouding*. Met waterloopkundige maatregelen kan worden voorkomen dat verontreinigd water terechtkomt in de drinkwaterwingebieden of in natuurgebieden. Als de invloed van de Vecht en het ARK op de omringende polders en plassen wordt verminderd zullen verschillende stofstromen naar de BP verminderen.
- *Sanering van puntbronnen*. Rond de Bethunepolder bevinden zich enkele locaties waar grote hoeveelheden chemicaliën in de bodem zijn terechtgekomen (stortplaats Het Slijk, het Zandpad 42). Als er een kans is dat deze stoffen de BP via het grondwater bereiken, zullen maatregelen moeten worden genomen om dat te voorkomen. Dit probleem is niet onderzocht in deze studie, omdat die vooral gericht was op verontreiniging via het oppervlaktewater. Het is natuurlijk ook mogelijk om combinaties van de bovenstaande maatregelen te nemen, waardoor het totale effect zal toenemen.

5.3 Milieueffecten

Bij de vraag of maatregelen nodig zijn die voorkomen dat de stoffen in het oppervlaktewater terechtkomen is het belangrijk de effecten op het watermilieu te onderzoeken. De effecten van microverontreinigingen op het aquatische ecosysteem zijn nog lang niet allemaal goed in kaart gebracht. Voor de elf stoffen die in deze studie werden onderzocht zijn op geen van de locaties overschrijdingen van de PNEC (*Predicted No Effect Concentration*) gevonden, dus zullen deze stoffen geen nadelig milieueffect hebben. Omdat in het water echter ruim 100.000 stoffen kunnen voorkomen is het niet mogelijk om alle milieurisico's te onderzoeken met chemische analyses. Met het Waternet-project "Slim monitoren" wordt getracht een efficiënte strategie te ontwikkelen om de milieukwaliteit in kaart te brengen met effectgerichte analyses. Met vooral toxicologische methoden (bioassays) wordt onderscheid gemaakt tussen laag risico (groen) en mogelijk risico (oranje) van de microchemie voor het watermilieu. Bij een mogelijk risico moet nader onderzoek worden uitgevoerd om te bepalen of het ecologische risico hoog (rood) is en of maatregelen nodig zijn. De eerste resultaten van dit onderzoek op acht locaties in het AGV-beheersgebied laten zien dat de milieurisico's van organische microverontreinigingen het hoogst zijn in het glastuinbouwgebied van de Legmeerpolders (Van der Oost, 2014). In de Vecht werden na het effluent van de rwzi Utrecht wel effecten waargenomen, maar deze lijken minder bedreigend dan die van de glastuinbouwlocaties die hun water via de Amstel afvoeren. De bioassay effecten die in de BP en de intrekgebieden werden waargenomen lagen alle onder de voorlopige signaalwaarden voor ecologische risico's (Van der Oost en Sileno, 2014).

5.4 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt de volgende onderwerpen nader te onderzoeken:

1. Analyse van de milieurisico's door de aanwezigheid van microverontreinigingen in de belangrijkste wateren voor de aanvoer van stoffen naar drinkwaterwingebieden. Als de verontreiniging van het oppervlaktewater nadelige effecten heeft op het ecosysteem kan niet worden volstaan met alleen een effectieve drinkwaterzuivering, maar moeten de verontreinigingsbronnen worden aangepakt.
2. Haalbaarheidsonderzoeken van verschillende maatregelen voor het watersysteem die de belasting van de drinkwaterbronnen met microverontreinigingen kunnen verlagen.

3. De oorzaak ophelderen van de sterke anti-androgene werking in en rond de BP, die ook op veel andere locaties wordt waargenomen. Dit onderzoek moet in samenwerking met externe partijen worden uitgevoerd.
4. Aanvullende analyses in het drinkwater van Weesperkarspel om te zien welke van de in dit onderzoek geïdentificeerde stoffen en welke bioassay-effecten daarin aantoonbaar zijn. Daarnaast kan worden onderzocht welke van deze stoffen of effecten aantoonbaar zijn in het op Leiduin geproduceerde drinkwater. Als in het drinkwater significante hoeveelheden van een stof/effect voorkomen, zullen mogelijke maatregelen zich daarop moeten richten.
5. Het uitvoeren van de Waternet visie over het omgaan met microverontreinigingen, die in hoofdstuk 6 wordt geformuleerd, zal op termijn leiden tot een efficiënte vermindering van de risico's van microverontreinigingen voor mens en milieu. Cruciaal hierbij is om de nadruk van de te nemen maatregelen te leggen bij de bronnen die de hoogste milieurisico's veroorzaken. Deze risico's kunnen worden bepaald met een analyse zoals die is voorgesteld in de Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit (ESF8), waarin de strategie van het Waternet project 'Slim monitoren' wordt opgenomen.

6 Waternet visie microverontreiniging

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is er op gericht om de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren. Er zijn echter tegenstrijdige belangen voor chemische microverontreinigingen bij waterschappen en drinkwaterbedrijven. Waternet wil daarom een visie uitdragen over het omgaan met microverontreinigingen in de watercyclus, waarbij zowel de volksgezondheid als het milieu worden beschermd. Op basis van resultaten van de Onderzoek en Innovatie (O&I) projecten KRW spagaat & Slim monitoren en de inzichten van de medewerkers van de sectoren Drinkwater, Afvalwater en Watersysteem, de afdeling O&A en het Strategisch Centrum is een Waternet visie geformuleerd, die is gebaseerd op het verminderen van de risico's voor mens en milieu (via drinkwater en oppervlaktewater). In deze visie zijn voorbeelden voor de Bethunepolder (BP) *cursief* opgenomen, omdat het KRW spagaat onderzoek daar specifiek op was gericht.

VERMINDERING HUMANE RISICO'S

1. Puntbronnen water- en bodemvervuiling saneren

Als er hoge risico's van microverontreinigingen voor het watermilieu worden aangetoond is het zinvol om emissies bij de bron te saneren. Puntbronnen kunnen bijvoorbeeld effluenten van rwzi's zijn, maar ze kunnen ook bij de industrie of de landbouw liggen (zie onder milieurisico's). Ook bodemverontreinigingen kunnen de waterkwaliteit nadelig beïnvloeden. Als dit een risico oplevert voor de bronnen voor drinkwaterproductie moeten deze verontreinigingen worden gesaneerd.

Er is een aantal plekken in de intrekgebieden van de BP waar de bodem zo verontreinigd is dat er via het grondwater mogelijk schadelijke stoffen naar de BP worden getransporteerd (bodemloket van de provincie Utrecht). In nauw overleg met de provincie zal de ernst van deze verontreinigingen worden gemonitord en waar nodig (en mogelijk) moet de vervuilde grond door de provincie worden gesaneerd.

2. Aanpassing waterhuishouding

De mogelijkheden om de huishouding van het watersysteem aan te passen om de aanvoer van microverontreinigingen naar de bronnen voor drinkwaterbereiding te verminderen moeten worden onderzocht. Als dit op een kosteneffectieve manier mogelijk is kunnen maatregelen worden genomen om op deze manier de waterkwaliteit te beschermen. Een mogelijkheid om de hoeveelheid inlaatwater te beperken is een meer flexibel peilbeheer. *Voor de BP zijn er wat dit betreft beperkte mogelijkheden door de sterk aanzuigende werking op de intrekgebieden, waardoor er altijd een suppletie nodig is vanuit de Vecht of het ARK. Er is voor de BP in 2012 een nieuw peilbesluit vastgesteld dat een maximale kwelreductie van 10% kan opleveren.*

3. Internationale aanpak bij wetgeving & beleid

Omdat veel microverontreinigingen in het Nederlandse water afkomstig zijn uit het buitenland zijn beleidsmaatregelen het meest zinvol als dit op internationaal niveau gebeurt. Als er stoffen zijn waarvan het risico voor de volksgezondheid ondanks de hier genoemde barrières te hoog wordt moet er (via o.a. RIWA, IAWR, VEWIN, RWS en EUREAU) druk worden uitgeoefend op de politiek om het gebruik van deze stoffen aan banden te leggen. Deze afweging moet worden gemaakt op basis van toxiciteit, persistentie (afbreekbaarheid),

toxiciteit omzettingsproducten, mobiliteit via grondwater en gedrag in de zuivering. Indien de gegevens hiervoor ontbreken, kunnen schattingen worden gemaakt met QSAR technieken (voorspellingen op basis van molecuulstructuur). Daarnaast is het mogelijk om lokaal (via provinciale of gemeentelijke plannen) een ruimtelijke bescherming te bereiken, door te voorkomen dat er activiteiten worden toegestaan die de bronnen voor de drinkwaterproductie verontreinigen.

4. Robuuste drinkwaterzuivering

Ook als alle mogelijke maatregelen worden genomen om de belasting van de bronnen voor de winning van drinkwater met microverontreinigingen te voorkomen, dan nog blijft het van belang om een robuuste drinkwaterzuivering te hebben. Dit is nodig om te voorkomen dat de kwaliteit van het drinkwater bij calamiteiten, door diffuse bronnen of door nieuwe en onbekende risicostoffen negatief wordt beïnvloed. Met de combinatie van bronaanpak en een effectieve zuivering kunnen microverontreinigingen nu en in de toekomst zoveel mogelijk uit het drinkwater worden geweerd. Dit is ook van groot belang om het goede imago van Waternet ten aanzien van de drinkwaterkwaliteit te behouden.

VERMINDERING MILIEURISICO'S

1. Prioriteren van maatregelen op puntbronnen door identificatie van milieurisico's

De milieurisico's door organische microverontreinigingen in het AGV beheergebied moeten op een effectieve manier in kaart worden gebracht. De effectgerichte aanpak die in het Waternet O&I project 'Slim monitoren' wordt gehanteerd lijkt hiervoor beter geschikt dan de chemische monitoring volgens de Kaderrichtlijn Water (KRW). De noodzaak tot het nemen van maatregelen om het watermilieu te beschermen kan het best worden onderbouwd met gericht toxicologisch & chemisch onderzoek. Omdat microverontreinigingen een grootschalig probleem zijn, zal de monitoring daarop moeten worden afgestemd en moeten de verschillende overheden hierbij samenwerken.

2. Aanpassen waterhuishouding

De mogelijkheden om de huishouding van het watersysteem aan te passen om de aanvoer van microverontreinigingen naar natuurgebieden te verminderen moeten worden onderzocht. Als dit op een kosteneffectieve manier mogelijk is kunnen maatregelen worden genomen om deze gebieden te beschermen.

3. Internationale aanpak

Omdat veel microverontreinigingen in Nederland afkomstig zijn uit het buitenland zijn de volgende maatregelen het meest zinvol als dit op internationaal niveau gebeurt.

➤ Wetgeving & beleid

Als er stoffen zijn waarvan de risico's voor het milieu ondanks de toepasbare barrières te hoog worden moet er druk worden uitgeoefend op de politiek om het gebruik van deze stoffen aan banden te leggen. Deze afweging moet worden gemaakt op basis van toxiciteit, persistentie, bioaccumulatie (ophoping in waterorganismen), volksgezondheid (medicijnen waarvoor geen 'groen' alternatief is) en gedrag in de afvalwaterzuivering.

➤ Stimuleren preventiemaatregelen

Het vrijkomen van microverontreinigingen kan worden gereduceerd wanneer het minimaliseren van het gebruik (gifvrije onkruidbestrijding, minder medicijnen voorschrijven)

en/of het verwijderen uit puntbronnen (zoals medicijnresten uit ziekenhuizen) gestimuleerd wordt.

➤ **Aanpassing rwzi's voor verwijdering microverontreinigingen**

Als blijkt dat de stoffen die met de rwzi effluenten worden geloosd een schadelijk effect hebben op het watermilieu zal moeten worden overwogen om de rwzi uit te breiden met een extra zuiveringstrap. Als voorbereiding op dergelijke maatregelen zullen de internationale ontwikkelingen op het gebied van 'effluent polishing' goed moeten worden gevolgd, zodat de meest kostenefficiënte technieken kunnen worden toegepast als het nodig is. De noodzaak voor de meest urgente aanpassingen moet blijken uit het hierboven genoemde onderzoek naar de identificatie van milieurisico's.

Voor de waterkwaliteit in de BP lijkt een aanpassing van rwzi Utrecht het meest relevant.

Deze visie is opgesteld door Ron van der Oost, in samenwerking met de projectgroep KRW Spagaat & Slim monitoren: Jan Peter van der Hoek (SC), Leon Kors, Steven van Duijvenbode, Eddy Yedema, Leo van Breukelen, Job Rook (alle DW), Egbert Baars, Manon Bechger, Cor Verkerk, Peter Piekema (alle AW), Jaques van Alphen, Laura Moria, Maarten Ouboter, Kirsten Vendrig, Winnie Rip (alle WS), Joost Kappelhof, Tim Pelsma, Petra Scholte, Rob Tijssen, Theo Janse, Jan Willem Voort, Enna Klaversma, Jos Beemster (alle O&A), Corine Houtman en Jan Kroesbergen (beide HWL).

7 Referenties

- Botta, Lavison, Couturier, Alliot, Morea-guigon, Fauchon, Guery, Chevreuil en Blanchoud, 2009. Transfer of glyphosate and its degradate AMPA to surface waters through urban sewerage systems. *Chemosphere*, 77: 133-139.
- Depledge MH en Fossi MC, 1994. The role of biomarkers in environmental assessment (2). *Ecotoxicology* 3: 161-172.
- Hofman J, Tolkamp H, Ter Laak T, Huizng H, Hofman-Caris R en Van Diepenbeek P, 2013. Terugdringen van geneesmiddelen in de waterketen van Limburg, H2O-Online.
- Scholte-Veenendaal PW, Van Alphen JCA, Baars EJ, Bechner M, Van Duijvenbode SW, Idsinga M, Van der Oost R, Rook J en Vendrig K, 2010. Fase I-KRW spagaat / Milieuvreemde stoffen in de watercyclus. Waternet projectnummer 66043-2.
- Schriks M, Heringa MB, Van der Kooi MM, de Voogt P en Van Wezel AP, 2010. Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. *Water res* 44, 461-476.
- Schriks M, Puijker L, Ter Laak T, Beemster J en Hofman-Caris R, 2012. KRW-spagaat: Aanwezigheid van (organische) microverontreinigingen in en rond de Bethunepolder. KWR rapport project A308789-002.
- STOWA, 2009. Verg(h)ulde pillen Eindrapport; Roorda JH, Derksen JGM, Kuiper MH en Kools SAE. SOWA rapport 2009-06.
- STOWA, 2012. Evaluatierapport Pharmafilter; Batelaan MV, Van den Berg EA, Koetse E, Wortel NC, Rimmelzwaan J en Vellinga S. STOWA rapport 2012-29.
- Van der Oost R, 2013. KRW-spagaat fase 2AB; voortgangsrapport 2012. Waternet rapport 13.005536.
- Van der Oost R, 2014. Slim monitoren; Watersysteem onderzoek 2012-2013. Waternet rapport (concept).
- Van der Oost R en Sileno G, 2014. Derivation of environmental trigger values for in vitro bioassays. Waternet notitie.
- Van Tol J, 2013. Organic micro pollutants: Assessment on optimum treatment strategies in the water cycle. Master Thesis Report, TU Delft.

8 BIJLAGEN

8.1 Bijlage 1: Mogelijk relevante stoffen en effecten in drinkwater, drinkwaterbronnen en intrekgebieden van de Bethunepolder volgens uit het KRW-spagaat-onderzoek

#	Stoffen in drinkwater ¹	#	Stoffen in drinkwaterbron ²	#	Stoffen in intrekgebied drinkwater ³
Bestrijdingsmiddelen					
1	Dichlobenil	1	Bentazon		
2	BAM	2	Metoxuron		
3	Glyfosaat	3	MCP		
4	AMPA				
Antifouling					
5	DMSA				
6	N,N-DMS				
Geneesmiddelen					
7	Carbamazepine	4	Cafeïne*, PS	1	Diclofenac*
		5	Fenazon*, PS+SM	2	Metoprolol*, PS+SM
		6	Sulfadimidine	3	Diatrizoic acid
		7	10, 11-trans-diol carbamazepine**	4	4-formylaminoantipyrine**
		8	Metimazole/AMPH**	5	Furosemide
		9	Sulfadiazine	6	Ibuprofen/hydroxyl ibuprofen**
		10	Atenolol ^{PS}	7	Metformine/guanylurea**
		11	Atorvastatine ^{PS}	8	Sulfamethoxazool
		12	Carbamazepine ^{PS}	9	Tramadol
		13	Clofibrinezuur ^{PS}	10	Venlafaxine
		14	Locaine ^{PS}	11	Hydrochlorthiazide ^{PS}
		15	Naproxen ^{PS}		
		16	Paracetamol ^{PS}		
		17	Paroxetine ^{PS}		
		18	Sotalol ^{PS}		
		19	Sulfaquinoxaline ^{PS}		
		20	Temazepam ^{PS}		
		21	Theophylline ^{PS}		
		22	Tiamulin ^{PS}		
Hormoonverstoorders					
		23	ER-CALUX: estrogene activiteit		
		24	AR-CALUX: anti-androgene activiteit		
Röntgencontrastmiddelen					
				12	Amidotrizoezuur
				13	Iohexol
				14	Iomeprol
				15	Iopamidol
				16	Iopromid
				17	Ioprome ^{PS}
PAKs					
8	Fenantreen				
Naftaleen di- en tri-sulfonaten					
9	Naphthalene-1,3,5-trisulfonaat	25	Naphthalene-1,3,7-trisulfonaat		
10	Naphthalene-1,3,6-trisulfonaat	26	Naphthalin-1,7-disulfonaat		
11	Naphthalin-1,5-disulfonaat	27	Naphthalin-2,7-disulfonaat		

#	Stoffen in drinkwater ¹	#	Stoffen in drinkwaterbron ²	#	Stoffen in intrekgebied drinkwater ³
12	Naphatalin-1,6-disulfonaat				
	Methylbenzenen				
13	Methylbenzeen	28	1,3 en 1,4-dimethylbenzeen		
		29	1,2,3-trimethylbenzeen		
		30	1,2-dimethylbenzeen		
	Complexvormers				
14	NTA	31	DTPA		
15	EDTA				
	Overige microverontreinigingen				
16	MTBE	32	ETBE	18	Tris(2-chloor-isopropyl)fosfaat (TCPP)
		33	Olie	19	Tolueen (industrials)
		34	Di-isobutylftalaat	20	Di(2-methyl-propyl)ftalaat (ftalaten)
		35	Di(ethylhexyl)ftalaat	21	Di-n-butylftalaat (ftalaten)
		36	Dichloormethaan	22	1H-benzotriazole (industrials)
		37	PFOA	23	4-methyl-1H-benzotriazole (industrials)
		38	1,4-dioxaan (industrials)	24	5-methyl-1H-benzotriazole (industrials)
		39	PFHpA ^{PS} (perfluorverbindingen)	25	MDMA (drugs of abuse)
		40	PFOA ^{PS} (perfluorverbindingen)	26	Oxazepam (drugs of abuse)
		41	PFBS ^{PS} (perfluorverbindingen)	27	Sucralose (zoetstoffen)
		42	PFHxS ^{PS} (perfluorverbindingen)	28	HMMM (industrials)
		43	PFOS ^{PS} (perfluorverbindingen)	29	Urotropine (industrials)
		44	Br-PFOS ^{PS} (perfluorverbindingen)		
		45	Barbital (barbitals)		
		46	Phenobarbital (barbitals)		
		47	Acesulfaam-K (zoetstoffen)		
		48	Cyclamaat (zoetstoffen)		
		49	Sacharin (zoetstoffen)		

Geïdentificeerd in Fase 1

Geïdentificeerd in Fase 2A

¹ : Organische microverontreinigingen aanwezig rond de onderste analysegrens in drinkwater uit Weesperkarspel (Fase 1)

² : Organische microverontreinigingen aanwezig boven de onderste analysegrens in de drinkwaterbron (toevoerkanaal of de Waterleiding-plas) en stoffen die boven de wettelijke norm (voor ruwwater) voorkomen in het grondwater dat naar de Bethunepolder toe stroomt; in Fase 2 is alleen het Waterleidingkanaal onderzocht.

³ : Organische microverontreinigingen die boven de drinkwaternorm voor ruwwater voorkomen in oppervlaktewater in het intrekgebied van de Bethunepolder (plassen én Vecht én ARK) (Fase 2: Vecht, Zodden en Strook). Omdat voor de meeste stoffen geen drinkwaternorm beschikbaar is, wordt de TTC-grens van $\geq 0,1 \mu\text{g/L}$ gehanteerd.

* : Bevestigd in het huidige onderzoek

** : Metaboliet (= omzettingsproduct)

^{PS} : Passive sampler-resultaat (ruwe schatting waterconcentratie)

^{PS+SM} : Resultaat in zowel passive sampler als steekmonster

8.2 Bijlage 2: Validatie van de theoretische en praktische modellen voor de massabalans analyse

A. Theoretische analyse: vergelijking tussen berekende en gemeten concentraties (checks)

		Lobith	Utrecht in	CHECK Utrecht in	Utrecht uit	CHECK Utrecht uit	Inlaat zodden	CHECK Inlaat zodden	Vecht	CHECK Vecht	Inlaat LP	CHECK Inlaat LP
		[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]
ACEK	droog	2,192	2,481	1,190	5,633	0,000	5,940	1,200	5,940	15,000	3,312	1,900
	nat	1,588	1,862	1,190	4,876	2,575	5,174	1,700	5,174	10,050	2,840	1,375
AMPA	droog	0,412	0,446	0,472	0,817	0,095	0,853	0,048	0,853	0,202	0,523	0,124
	nat	0,287	0,319	0,344	0,681	0,348	0,717	0,048	0,717	0,202	0,423	0,124
BENT	droog	0,018	0,018	0,016	0,016	0,043	0,016	0,012	0,016	0,008	0,015	0,008
	nat	0,008	0,007	0,016	0,007	0,015	0,006	0,012	0,006	0,008	0,006	0,008
CAFF	droog	0,027	0,031	0,088	0,075	0,015	0,080	0,022	0,080	0,062	0,043	0,011
	nat	0,027	0,031	0,171	0,072	0,015	0,076	0,022	0,076	0,062	0,043	0,011
CARB	droog	0,075	0,083	0,066	0,169	0,103	0,177	0,020	0,177	0,080	0,103	0,012
	nat	0,065	0,072	0,074	0,154	0,103	0,162	0,020	0,162	0,080	0,095	0,012
GLYF	droog	0,047	0,104	0,057	0,716	0,069	0,776	0,000	0,776	0,080	0,315	0,000
	nat	0,024	0,076	0,040	0,650	0,069	0,707	0,080	0,707	0,080	0,303	0,000
IOPR	droog	0,184	0,368	0,164	2,382	0,878	2,578	0,085	2,578	0,394	1,061	0,014
	nat	0,197	0,367	0,214	2,247	0,878	2,432	0,123	2,432	0,394	1,093	0,019
METF	droog	0,879	0,964	0,465	1,898	0,965	1,989	0,080	1,989	1,700	1,180	0,049
	nat	0,870	0,949	0,835	1,823	0,965	1,909	0,080	1,909	1,700	1,173	0,065
MTBE	droog	0,115	0,142	0,195	0,432	0,065	0,460	0,091	0,460	0,112	0,230	0,309
	nat	0,155	0,179	0,120	0,445	0,065	0,472	0,057	0,472	0,120	0,263	0,473
NDMS	droog	0,049	0,048	0,060	0,042	0,000	0,042	0,155	0,042	0,040	0,040	0,415
	nat	0,041	0,041	0,060	0,036	0,000	0,035	0,155	0,035	0,040	0,033	0,810
SULF	droog	0,062	0,064	0,108	0,083	0,027	0,085	0,002	0,085	0,076	0,063	0,000
	nat	0,015	0,017	0,028	0,041	0,027	0,043	0,002	0,043	0,076	0,024	0,000

B. Praktische analyse: vergelijking tussen berekende en gemeten concentraties (checks)

	Vecht	CHECK Vecht	ARK	CHECK ARK	BP	CHECK BP
	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]	[ug/L]
ACEK	10,372	10,050	3,495	3,300	0,189	0,044
AMPA	0,332	0,202	0,361	0,464	0,088	0,002
BENT	0,023	0,008	0,010	0,019	0,008	0,016
CAFF	0,162	0,062	0,056	0,119	0,030	0,009
CARB	0,088	0,080	0,056	0,063	0,019	0,004
GLYF	0,076	0,079	0,033	0,052	0,015	0,001
IOPR	0,841	0,394	0,245	0,346	0,149	0,001
METF	1,750	1,700	0,702	0,573	0,331	0,013
MTBE	0,184	0,120	0,116	0,086	0,139	0,080
NDMS	0,089	0,040	0,089	0,102	0,192	0,080
SULF	0,106	0,076	0,041	0,029	0,020	0,001

8.3 Bijlage 3: Resultaten van de Multi Criteria Analyse (MCA)

Criteria	Weighting factor	1. Green pharmacy	2. Awareness in use and prescription	3. Legislation and policy	4. Green agriculture and cattle breeding	5a. Decentralised collection and treatment of urine	5b. Centralised collection and treatment of urine	6. Decentralised collection and treatment of wastewater on residential scale	7. Decentralised collection and treatment of hospital wastewater	8. Improvement of WWTP	9. Improvement of DWTP
Cost-efficiency	0.26										
Life Cycle Costs	0.26	1.6	2.0	1.8	0.8	-1.6	-1.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Sustainability	0.26										
Energy consumption	0.09	1.6	1.8	1.6	1.2	-1.0	-1.6	-1.2	-1.0	-1.2	-1.2
Raw materials	0.05	2.0	2.0	2.0	1.4	-1.4	-1.0	-1.4	-1.0	-1.2	-1.0
Flexibility	0.05	0.0	0.4	-0.4	0.0	0.4	0.4	0.2	0.0	0.4	0.4
Robustness	0.07	0.0	-1.0	0.0	-0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.4	1.6
Applicability	0.48										
Complexity	0.05	-0.8	-1.2	-0.6	0.0	-0.6	-0.2	-1.6	0.0	0.4	0.6
Ease of operation	0.05	-1.0	-0.8	0.2	-0.8	-1.2	-0.4	-1.6	-0.2	0.8	1.0
Technical risk	0.04	0.8	1.0	1.0	1.0	-1.0	-0.8	-1.2	-0.2	0.2	0.2
Risk in implementation	0.05	0.0	0.2	0.2	0.2	-1.0	-0.4	-1.0	-0.2	0.8	1.0
Effectiveness	0.15	0.2	-0.2	1.4	0.0	0.4	0.4	0.6	0.6	1.8	1.4
Social acceptance	0.07	1.2	0.4	1.6	1.4	-0.8	-0.2	-1.0	1.2	2.0	1.8
Transition period	0.04	-1.6	-1.2	-0.6	-0.8	-1.4	-0.8	-1.4	-0.4	0.4	0.8
Innovation	0.03	1.0	-0.8	-0.4	0.8	1.2	1.0	1.6	1.6	1.4	1.2
TOTAL	1.00	5.0	2.6	7.8	4.8	-7.6	-4.4	-8.0	0.4	6.4	7.0
Weighted score		0.68	0.61	1.01	0.46	-0.72	-0.57	-0.55	-0.11	0.31	0.30

8.4 Bijlage 4: Eigenschappen van de 11 geselecteerde stoffen (referenties, zie Van Tol, 2013)

	Technical info	Measurements					Toxicity			Removal				Other	
	Molecular mass	Ground water	Surface water	Influent (WWTP)	Effluent (WWTP)	Drinking water	PNEC	ADI	NOAEL	Excretion rate unchanged	Removal efficiency (ww)	Removal efficiency (dw)	Log K _{ow}	Practice	Metabolite
	[g/mol]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[mg/kg bw/day]	[mg/kg bw/day]	[%]	[%]	[%]	[-]		
Acesulfame-K	201.24	1,2,3,4,5 6.9	2,3 0.7-6.9	3,4 15-43	3,4 15-46	3 0.02-0.07	3 *	3 5-50	3 *	3 100	3 40	3 *	-1.33	sweetener	*
AMPA	186.17	6 0.01-8	7,8,9,10,11 0.14-83	9 1.5-15	7,9 1.9-28	10 1.1	10 *	10 0.3	10 *	10 *	9,12 14-63	10 *	0.76	metabo- lite of glyphosate	*
Bentazone	240.28	6,13 0.116-11	10,14,15 0.014	* *	* *	10 0.28	10 *	10 0.1	16,17 10	18 91	18 *	18 *	2.5 to 3.8	herbicide	*
Caffeine	194.19	13,19,20,21 0.013-0.23	15,19,20,22 0.01-0.2	19,20 2-300	19,20 0.06-2	22 0.125	23 182 (A)	24,26 3	24,26 *	21 3	19,20 60-80	22,25 60-80	-0.07	domestic tracer	paraxanthine, theobromine, theophylline
Carbamazepine	236.27	13,20,26 0.012-0.39	15,20,26-29 0.025-11.6	9,20,28,30,31 0.33-1.4	9,20,27,28,32 0.157-6.3	26 0.025	33,34 0.42 (A)	35 0.016	35 *	32,36 1-2	9,28,30,37-42 7-30	26 30-96	2.45	anti- eleptic	carbamazepine -10,11-epoxide
Glyphosate	169.08	6,43 0.01-0.5	7,9-11 1.2-77	9 0.19-5.3	9 0.12-23	10 0.46	10 *	10 0.3	16 175	44 97.5 (C)	44 40	44 *	-4.6 to -1.6	herbicide	AMPA
Iopromide	791.12	36 0.01-0.21	10,36,46 0.017-0.91	46 0.18-7.5	36 0.14-11	10,36 0.01-0.086	47 256 (A)	48 0.021	48 *	40,49 97	36 0-73	36 *	-2.05	x-ray agent	*
Metformin	129.16	50,51 9.9	36,50,51 0.06-3.1	50 0.1-105	50 1.3-6	* *	52 511 (B)	53 0.0794	53 *	54 50-60	2,42,50 80-98	50 80-98	-2.64	anti- diabetic	guanyluurea
MTBE	88.15	10,55-57 0.1-27	56-58 0.1-28	56 0.03-120	56 0.02-120	10,55,56,58 0.06-0.11	59 2600 (A)	10 0.3	10 *	60 50-80 (C)	60 *	60 *	0.94	gasoline additive	tert-butyl alcohol
N,N-DMS	124.16	13,61-64 0.1-6	61-64 0.05-0.14	* *	* *	61-63 0.18	69 140 (D)	69 *	69 *	* *	* *	* *	-0.2	antifouling	NDMA
Sulfamethoxazole	253.28	13,36 0.002-0.47	10,15,26,27,36 0.05-4.1	30,65 0.68	27,31,36,65 0.02-1.1	10,26,36,66 0.012-0.025	67 0.118(B)	10 0.13	10 *	32,36 15-30	30,40-42,65,68 8-85	26,36 44-85	0.89	antibiotica human/ veterinary	nitroso sulfamethoxa- zole

* Data not found, A: invertebrates, B: algae, C: rats, D: species unknown

8.5 Bijlage 5: Overzicht van effecten, kosten en voor- en nadelen van verschillende maatregelen (Hofman *et al.*, 2013)

Oplossingsrichting	Effect op drinkwater	Effect op oppervlaktewater	Extra totale kosten	Voordeel	Nadeel
Bronmaatregelen	Effectief	Effectief	Onduidelijk	Geen vreemde stoffen in milieu	Pas op langere termijn effectief
Andere inrichting watersysteem	Effectief	Geen effect	Laag	Snelle oplossing	Noodmaatregel
Aanpak rwzi individueel, lokaal.	Niet effectief, tenzij op groot aantal locaties wordt aangepakt.	Effectief voor lokale kleine ontvangende oppervlaktewateren	8-15 M€/j ¹	Lokale verbetering van oppervlaktewater Voorbeeldfunctie voor grootschalige aanpak	Effecten voor drinkwater alleen op lange termijn bij opschaling naar grootschalige aanpak
Aanpak rwzi grootschalig, internationaal	Effectief	Effectief	8-15 M€/j ¹	Sterke reductie concentratie geneesmiddelen en afbraakproducten	Realisatie vergt lange termijn
Aanpak drinkwaterbehandeling	Effectief	Geen effect	4-8 M€/j	Op relatief korte termijn te realiseren	Geen verbetering oppervlaktewater

¹Alleen de extra kosten in het onderzoeksgebied