

KWR 2015.095 | December 2015

Wateraanvoer van Waal naar Maas: gunstig voor de waterkwaliteit?

Wateraanvoer van Waal naar Maas: gunstig voor de waterkwaliteit?

KWR 2015.095 | December 2015

Opdrachtnummer

401302

Projectmanager

Edu Dorland

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat

Kwaliteitsborger(s)

Pieter Stuyfzand

Auteur(s)

Rosa Sjerps & Gertjan Zwolsman

Verzonden aan

Wim Werkman (RWS)

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

Dr. Gertjan Zwolsman

T 030 60 69 542

E gertjan.zwolsman@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl



KWR 2015.095 | December 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

De waterkwaliteit van de Maas staat meer en meer onder druk, zowel door calamiteiten als door toename van de kans op langdurig lage afvoeren (klimaatverandering). Een mogelijke oplossing om de waterkwaliteit van de Maas te verbeteren is aanvoer van water van de Waal. De voorliggende studie brengt de effecten van de aanvoer van Waalwater naar de Maas op de waterkwaliteit in beeld, zowel in de huidige situatie als in de toekomst (zichtjaar 2050). De studie is specifiek gericht op de drinkwaterfunctie van de Maas, dus niet op de ecologische functie. De stofkeuze is dan ook gebaseerd op de problemen die de drinkwaterbedrijven die Maaswater innemen thans ervaren met de waterkwaliteit, of zouden kunnen ervaren in de toekomst. De studie richt zich op het ongestuwde deel van de Maas, waar innamepunten liggen van Dunea (Brakel, Afgedamde Maas) en Evides (Gat van de Kerksloot, Brabantse Biesbosch).

De kennisvragen kunnen als volgt worden benoemd:

- 1) Wat zijn de maatgevende verschillen tussen Rijn en Maas vanuit drinkwateroptiek in de huidige situatie en in de toekomst?
- 2) Wat zijn de (autonome) ontwikkelingen binnen Dunea en Evides die van belang zijn voor de afweging om Waalwater aan te voeren?
- 3) Wat is het belang van wateraanvoer van de Waal naar de Maas in de huidige en toekomstige situatie voor de drinkwaterproductie vanuit de Maas?

Ad 1) Wat zijn de maatgevende verschillen tussen Rijn en Maas vanuit drinkwateroptiek in de huidige situatie en in de toekomst?

a) Huidige situatie

De waterkwaliteit van de Rijn (Lobith) is vergeleken met die van de Maas bij Keizersveer. We gaan ervan uit dat de waterkwaliteit bij Lobith representatief is voor de waterkwaliteit van de Waal. De vergelijking is gebaseerd op de jaarlijkse lage afvoer periode van de Maas over de jaren 2010 t/m 2014. Voor veel van de onderzochte stoffen is de waterkwaliteit van de Rijn (tijdens de lage afvoer periode) beter dan die van de Maas. Dit is het geval voor bijna alle onderzochte bestrijdingsmiddelen (glyfosaat en AMPA, diuron, MCPA, MCPP, metolachloor), enkele geneesmiddelen (metoprolol, sotalol), en industriële stoffen (EDTA, MTBE en TBP).

Er zijn echter ook stoffen waarvan de concentratie in de Rijn hoger ligt dan die in de Maas. Dit is het geval voor alle vijf onderzochte röntgencontrastmiddelen, sulfamethoxazool en diclofenac. Voor sommige stoffen zijn de concentraties in de Maas en de Rijn min of meer vergelijkbaar: isoproturon, carbamazepine, metformine en zijn metaboliet guanlylurea.

b) Toekomstige situatie (2050)

Waterkwaliteitsprognoses zijn opgesteld voor de locaties Keizersveer, Brakel en Lobith, op basis van de huidige concentratie-afvoer (Q-C) relaties op deze locaties en de hydrologische afvoerprojecties in het jaar 2050 bij huidig klimaat, G en W⁺ scenario. Hierbij wordt impliciet aangenomen dat de belasting van het watersysteem niet zal veranderen tussen nu en 2050. De waterkwaliteit bij Keizersveer achten we representatief voor het innamepunt Gat van de Kerksloot. De prognoses van de waterkwaliteit bij Brakel (Afgedamde Maas) zijn gebaseerd op die van Keizersveer, waarbij voor de meest reactieve stoffen afbraak is verdisconteerd.

Het algemene beeld van de prognoses (Bijlage IV) is dat de concentraties van veel stoffen in de Maas flink gaan toenemen in de droge scenario's, veel sterker dan in de Rijn het geval is. Zo kunnen de maximale AMPA concentraties bij Keizersveer verdubbelen van ca. 5 µg/l bij huidig klimaat tot bijna 10 µg/l bij het W⁺ scenario. Door deze verslechtering van de waterkwaliteit neemt de mate van normoverschrijding (zowel in hoogte als tijdsduur) op de innamepunten langs de Maas toe voor zowel glyfosaat als AMPA. In het droogste scenario overschrijden amidotrizoïnezuur en metoprolol de signaleringswaarden in de Maas; voor de overige scenario's is dat niet het geval.

In tegenstelling tot de Maas, blijven de toekomstige concentraties van de meeste stoffen in de Rijn bij Lobith tijdens lage afvoeren onder de inname-norm van 0,1 µg/L (bestrijdingsmiddelen) of de signaleringswaarde van 1 µg/L (overige stoffen). Zolang de Rijn wordt gevoed door sneeuwsmelt uit de Alpen, zal de afvoer van de Rijn tijdens een zeer droge periode minder ver wegzakken dan die van de Maas (regenrivier). Daarom is de impact van lage afvoeren op de waterkwaliteit van de Rijn, hoewel duidelijk aanwezig, minder sterk dan die op de Maas.

Ad 2) Wat zijn de (autonome) ontwikkelingen binnen Dunea en Evides die van belang zijn voor de afweging om Waalwater aan te voeren?

Dunea heeft in zijn Bronnenvisie 2011 – 2040 een analyse gemaakt van de toekomstige ontwikkelingen die gevolgen kunnen hebben voor de beschikbaarheid en kwaliteit van de Afgedamde Maas, zoals klimaatverandering, wet- en regelgeving, en economische, maatschappelijke en demografische ontwikkelingen. De analyse mondt uit in een aantal oplossingsrichtingen om de waterkwaliteit in de toekomst zeker te stellen. Twee van deze maatregelen zijn reeds in de praktijk gebracht, geheel of gedeeltelijk:

- a) Een tweede innamepunt in de Lek bij Bergambacht, volledig operationeel sinds 2015.
- b) Aanpassing van de waterzuivering. In 2018 wordt naar verwachting een vijfde van het door Dunea ingenomen water – 2.200 m³ per uur – extra gezuiverd op basis van ozon, peroxide en UV, voordat het naar de duinen wordt getransporteerd.

Evides zet sterk in op preventief beleid om het Maaswater schoon te houden. Daarnaast beschikt Evides over een uitgebreid meetprogramma om de kwaliteit van het Maaswater continu te monitoren. Wanneer er stroomopwaarts een vervuiling wordt geconstateerd, sluit Evides tijdelijk de inname, zodat de kwaliteit van het water in de spaarbekkens niet in gevaar komt. De spaarbekkens in de Brabantsche Biesbosch bevatten een watervoorraad voor drie maanden. Om in de toekomst nog beter te kunnen reageren op vervuilingsspieken in het Maaswater en de variërende waterstanden in de rivier, gaat Evides (bovenstrooms) een nieuw inlaatpompstation bouwen voor de Biesboschbekkens. Dit plan is in de voorbereidende fase.

Evides is in 2014 gestart met het onderzoeksprogramma H2020, dat zich richt op praktische vraagstukken rondom zuiveringstechnologie en distributie, naast strategisch onderzoek om de kansen en uitdagingen tot ver voorbij 2020 in kaart te brengen. In acht verschillende, onderling samenhangende onderzoeksprojecten, onderzoekt Evides nieuwe technologieën om de levering van drinkwater in de toekomst veilig te stellen. Tevens wordt onderzocht wat een optimale drinkwaterinfrastructuur (bron-winning-transport-zuivering-distributie) zou zijn bij verschillende toekomstscenario's.

Ad 3) Wat is het belang van wateraanvoer van de Waal naar de Maas in de huidige en toekomstige situatie voor de drinkwaterproductie vanuit de Maas?

Het aanvoeren van Waalwater naar de Maas tijdens lage afvoer perioden is vooral gunstig voor die stoffen die in de Maas de wettelijke innamenorm van het BKMW overschrijden (0,1 µg/l; glyfosaat en diuron; 1 µg/L; AMPA) en voor overige stoffen die de signaleringswaarde van de drinkwaterregeling (1 µg/l) overschrijden. Daarnaast zijn er voor diverse andere stoffen gunstige gevolgen, maar voor röntgencontrastmiddelen en sommige andere stoffen verslechtert de waterkwaliteit van de Maas juist door aanvoer van Waalwater. Echter, de gezondheidskundige relevantie van röntgencontrastmiddelen is, naar de mening van KWR experts, minder groot dan die van geneesmiddelen of bestrijdingsmiddelen.

In de huidige situatie heeft de aanvoer van 25 m³/s Waalwater naar de Maas een gunstige, zij het beperkte, invloed op de waterkwaliteit (ca. 10-20% verlaging van de concentraties van glyfosaat en AMPA). In de toekomst neemt het effect van de aanvoer van Waalwater naar de Maas tijdens lage afvoeren toe, omdat de afvoer van de Maas veel verder kan wegzakken dan die van de Rijn. Op hoofdlijnen kan daarom worden geconcludeerd dat de waterkwaliteit van de Maas tijdens een toekomstige lage afvoer periode sterk verbetert bij aanvoer van 25 m³/s Waalwater. Dit effect is het grootst in een zeer droog jaar in combinatie met het W⁺ scenario. Echter, om daadwerkelijk aan de inlaatnormen voor glyfosaat en AMPA te kunnen voldoen, is een grotere toestroom van Waalwater naar de Maas vereist (tot 50 m³/s voor glyfosaat en 450 m³/s voor AMPA, afhankelijk van het scenario).

Zolang de Rijn wordt gevoed door sneeuwmelt uit de Alpen, zal de afvoer van de Rijn tijdens een zeer droge periode minder ver wegzakken dan die van de Maas. Dat betekent dat aanvoer van Waalwater naar de Maas tijdens toekomstige lage afvoer perioden een steeds gunstiger effect zal hebben op de waterkwaliteit van de Maas, voor zover het organische microverontreinigingen betreft (qua zoutgehalte zal dat wellicht niet het geval zijn).

Inhoud

1	Aanleiding, doelstelling en uitgangspunten	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doelstelling en kennisvragen	8
1.3	Uitgangspunten	9
2	Waterkwaliteit Maas en Rijn bij lage afvoeren (2010-2014)	11
2.1	Waterkwaliteit Lobith versus waterkwaliteit Keizersveer	11
2.2	Waterkwaliteit Keizersveer versus waterkwaliteit Brakel	15
2.3	Conclusies	18
3	Impact klimaatverandering op waterkwaliteit Maas en Rijn	19
3.1	Veranderd stofgebruik	19
3.2	Q-C relaties voor de Maas (Keizersveer) en de Rijn (Lobith)	21
3.3	Waterkwaliteitsontwikkeling Maas en Rijn bij klimaatscenario's G en W ⁺	26
3.4	Consequenties voor innamepunten Gat van de Kerksloot en Brakel	30
4	Autonome ontwikkelingen binnen Dunea en Evides	33
4.1	Relevante ontwikkelingen bij Dunea	33
4.2	Relevante ontwikkelingen bij Evides	33
4.3	Kanttelingen bij de aanvoer van Rijnwater	34
4.4	Hoeveel zouter is het Rijnwater?	35
5	Belang wateraanvoer Waal naar Maas	37
5.1	Waterkwaliteitsverandering door aanvoer van Waalwater: huidige situatie	37
5.2	Benodigde verdunning: huidige situatie	39
5.3	Waterkwaliteitsverandering door aanvoer van Waalwater: toekomstige situatie	40
5.4	Benodigde verdunning: toekomstige situatie	42
5.5	Conclusies	43
6	Conclusies	45
7	Referenties	47
Bijlage I		49
•	Vergelijking waterkwaliteit Rijn (Lobith) en Maas (Keizersveer)	49

Bijlage II	54
• Vergelijking waterkwaliteit Keizersveer en Brakel	54
Bijlage III	59
• Q-C relaties in de Rijn en de Maas (2010-2011), volgens $C = a/Q + b$.	59
Bijlage IV	62
• Waterkwaliteitsontwikkeling bij Lobith, Keizersveer en Brakel bij huidig klimaat en het G en W⁺ scenario (zichtjaar 2050)	62
Bijlage V	67
• Waterkwaliteitsontwikkeling bij aanvoer Waalwater in huidige situatie	67
Bijlage VI	69
• Aantal dagen met een normoverschrijding in de prognoses	69
Bijlage VII	71
• Effect van aanvoer 25 m³/s Waalwater	71
Bijlage VIII	76
• Benodigd aanvoerdebiet Waalwater voor waterkwaliteitsverbetering op de wettelijke norm	76

1 Aanleiding, doelstelling en uitgangspunten

1.1 Aanleiding

In het Deelprogramma Zoetwater (Deltaprogramma) is geconstateerd dat in droge perioden tekorten kunnen optreden in de stuwpanden van de Maas en als gevolg hiervan ook voor inname richting delen van het beheersgebied van waterschap Rivierenland. In het kader van het deelprogramma Zoetwater is daarop de mogelijkheid verkend om water van de Waal naar de Maas te leiden om watertekorten tijdens laagwater perioden te verminderen. Er bestond veel twijfel over de betrouwbaarheid van de analyse van deze maatregel, waardoor deze bij de kosten-baten analyse uiteindelijk niet is meegenomen. Toch blijft de wens bestaan om nut en noodzaak en rendabiliteit van deze maatregel vast te stellen. In het eindrapport van het Deltaprogramma staat bij de voorkeurstrategie zoetwater dan ook beschreven:

“In het rivierengebied zal onderzoek plaatsvinden naar aanvoer van water van de Waal naar de Maas, gericht op nut en noodzaak, voor verschillende varianten (zoals Maas-Waalkanaal en Heerewaarden), neveneffecten en kosteneffectiviteit.”

(http://www.deltacommissaris.nl/Images/Deltaprogramma%202015%20Nederlands_tcm309-358049.pdf)

Genoemd onderzoek is in 2015 in opdracht van DGRW gestart en wordt uitgevoerd door Rijkswaterstaat. De analyse verloopt in meerdere stappen. In de 1^e fase is de nadruk gelegd op de frequentie en ernst van de tekorten in de stuwpanden Grave en Lith. De vervolgstap is om helderheid te scheppen in nut en noodzaak van de maatregel gelet op de onttrekkingen van drinkwaterbedrijven in het ongestuwde deel van de Maas. Dit betreft de onttrekking van Dunea uit de Afgedamde Maas (Brakel) en de onttrekking van Evides uit de Brabantsche Biesbosch (Gat van de Kerksloot).

In droge perioden is de Maasafvoer laag en kunnen op twee manieren problemen ontstaan voor de onttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. In de eerste plaats verslechtert de waterkwaliteit van de Maas naarmate de afvoer daalt, omdat bij lage afvoeren puntlozingen (industrie, RWZI's) minder worden verdund (Van Vliet & Zwolsman, 2007). Ten tweede is een restdebiet van 25 m³/s op de Maas na de inname van Evides gewenst. Bij het inventariseren van mogelijke maatregelen voor het Deelprogramma Zoetwater hebben Dunea en Evides aangegeven dat de aanvoer van water uit de Waal mogelijk positief zal uitwerken op de waterkwaliteit van de Maas, maar een goede onderbouwing hiervoor is tot op heden niet gegeven.

Voor de eventuele aanvoer van Waalwater naar de Maas zijn drie routes in beeld:

- Via het Maas-Waalkanaal
- Via de sluis St Andries
- Via een nog te ontwikkelen verbinding bij Heerewaarden (project Overstroom)

1.2 Doelstelling en kennisvragen

De voorliggende studie dient de effecten van de aanvoer van Waalwater naar de Maas op de waterkwaliteit in beeld te brengen, zowel in de huidige situatie als in de toekomst (zichtjaar 2050). De kennisvragen kunnen als volgt worden benoemd:

1) Wat zijn de maatgevende verschillen tussen Rijn en Maas vanuit drinkwateroptiek in de huidige situatie en in de toekomst?

Met daarbij de volgende aandachtspunten;

- Het gaat om drinkwaterrelevante stoffen
- Het betreft situaties met lage afvoeren onder verschillende klimaatscenario's:
 - Het huidige klimaat (referentie)
 - Scenario G 2050 (KNMI06 scenario)
 - Scenario W⁺ 2050 (KNMI06 scenario)
- Schatting van de waterkwaliteit in het zichtjaar 2050 op de innamepunten Brakel en Keizersveer voor enkele indicatorstoffen (bij G en W⁺ scenario), en van de Rijn op de locatie Lobith (we achten dit representatief voor de waterkwaliteit van de Waal).
- Bepaling hoe lang de perioden zijn dat er met inname gestopt moet worden.

2) Wat zijn de (autonome) ontwikkelingen binnen de drinkwatersector die van belang zijn voor de afweging om Waalwater aan te voeren?

- Navraag bij Dunea en Evides welke plannen er zijn om hun productiebedrijven verder te ontwikkelen, zowel op grond van de huidige ontwikkelingen als op grond van de te verwachten klimaatverandering. Het kan hierbij gaan om ontwikkeling van alternatieve inname locaties, verbeterde waterzuivering en aanleg van extra buffers.
- Vaststellen welke aspecten van invloed zijn op een mogelijk besluit om water van de Waal naar de Maas te sturen.

3) Wat is het belang van wateraanvoer van de Waal naar de Maas in de huidige en toekomstige situatie voor de drinkwaterproductie vanuit de Maas?

Met daarbij de volgende aandachtspunten;

- Onderscheid tussen 2 routes (Maas-Waalkanaal enerzijds en St. Andries en Heerwaarden anderzijds).
- Vaststelling of als gevolg van de aanvoer van Waalwater de waterkwaliteits- en kwantiteitscriteria minder over- cq overschreden worden. Anders gezegd; of de periodes dat de inname gestopt zou moeten worden minder groot kunnen worden door de aanvoer van Waalwater.
- Verduidelijking waarom Dunea en Evides normaliter het Rijnwater (Merwede) juist bij de inname locaties mijden ('Maasbel' aan de noordkant van de Wilhelminasluisen, restdebiet van 25 m³/s op de Amer), terwijl Waalwater in droge jaren wel soelaas zou bieden maar dan via een andere route.

1.3 Uitgangspunten

De huidige en toekomstige waterkwaliteit van de Waal (Rijn) en de Maas is gedefinieerd vanuit de optiek van de gebruiksfunctie “bron voor drinkwater”. Dit betreft in hoofdzaak bestrijdingsmiddelen en farmaceutische stoffen. Binnen het bedrijfstakonderzoek (BTO) van de Nederlandse drinkwatersector is een lijst met aandachtstoffen opgesteld voor de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater, zie Tabel 1-1 (Sjerps et al., 2015). Verdere waterkwaliteitsanalyses spitsen zich toe op deze stoffen.

TABEL 1-1 GESELECTEERDE AANDACHTSTOFFEN RELEVANT VOOR DRINKWATER (SJRPS ET AL., 2015).

Geneesmiddelen	Röntgencontrastmiddelen	Gewasbeschermingsmiddelen	Industriële en consumentenstoffen
Carbamazepine	Amidotrizoïnezuur	AMPA ²	Acesulfaam-K
Diclofenac	Johexol	Carbendazim	DEHP
Fenazon	Jomeprol	Diuron	EDTA
Guanylurea ¹	Jopamidol	Glyfosaat	MTBE
Lincomycine	Jopromide	Isoproturon	Tributylfosfaat (TBP)
Metformine		MCPA	
Metoprolol		Mecoprop (MCP)	
Pentoxifylline		Metolachloor	
Sotalol		Nicosulfuron	
Sulfamethoxazool			

¹Metabool van metformine. ²Metabool van glyfosaat

De prognose van de waterkwaliteitsontwikkeling bij toekomstige afvoer is gebaseerd op de Q-C relatie tussen de afvoer en de stofconcentratie. De Q-C relatie baseert zich op werkelijke meetgegevens van de afvoer en de waterkwaliteit op de onderzocht locaties (informatie uit de RIWA Database). Deze methodiek is ontwikkeld binnen het bedrijfstakonderzoek (BTO) van de Nederlandse drinkwatersector (Sjerps et al., 2015) en iets aangepast in het kader van de onderhavige studie:

- De concentraties in het Maaswater bij Keizersveer zijn vergeleken met de afvoer gemeten bij Megen, om de invloed van het getij bij Keizersveer uit te sluiten.
- De fit van de Q-C relaties is aanmerkelijk verbeterd door het verdisconteren van een achtergrondconcentratie.
- Deltares heeft nieuwe afvoerreeksen aangeleverd voor de prognoses van het debiet van het Maaswater in de verschillende klimaatscenario's.

De drinkwaterrelevantie van de stoffen wordt bepaald door het overschrijden van specifieke norm-, streef- of signaleringswaarden (zie Tabel 1-2). In de waterkwaliteitsprognoses wordt de waterkwaliteit getoetst aan de wettelijk verankerde normen van het Drinkwaterbesluit. In het Drinkwaterbesluit is een specifieke norm opgenomen voor bestrijdingsmiddelen (0,1 µg/L) en AMPA (1 µg/l) en een signaleringswaarde voor overige antropogene stoffen (1 µg/L).

De rivierwaterbedrijven, verenigd in de RIWA, hanteren ook generieke streefwaarden met een niet-juridisch karakter in het Europees Rivierwater Memorandum (ERM). De streefwaarde van 0,1 µg/L geldt voor pesticiden, biociden, geneesmiddelen en hormoonverstorende stoffen (IAWR, 2013). Röntgencontrastmiddelen zijn strikt genomen geen geneesmiddelen, maar RIWA toetst deze stoffen wel aan de streefwaarde van 0,1 µg/L, vanwege hun gebruik in de medische sector en hun classificatie als ‘overige organische halogeenverbindingen’. Geëvalueerde stoffen zonder biologische werking en slecht afbreekbare stoffen hebben een streefwaarde van 1,0 µg/L (zoals acesulfaam-K, ETBE, MTBE en TBP).

TABEL 1-2 STREEFWAARDEN EN NORMEN VOOR DE AANDACHTSTOFFEN, AFKOMSTIG VAN HET EUROPEES RIVIERWATER MEMORANDUM (IAWR, 2013) EN DE DRINKWATERREGELING VOOR KWALITEITSEISEN VOOR OPPERVLAKTEWATER BESTEMD VOOR DE BEREIDING VAN DRINKWATER (DRINKWATERBESLUIT 2015). ALLE CONCENTRATIES ZIJN GEGEVEN IN µg/L.

Type stof	Stof	Streefwaarden volgens het Europees Riverwater Memorandum (ERM)	Normen en signaleringswaarde volgens de Drinkwaterregeling
Gewasbeschermingsmiddelen en metabolieten	AMPA	1,0	1,0 ¹
	Carbendazim	0,1	0,1 ¹
	Diuron	0,1	0,1 ¹
	Glyfosaat	0,1	0,1 ¹
	Isoproturon	0,1	0,1 ¹
	MCPA	0,1	0,1 ¹
	MCPP	0,1	0,1 ¹
	Metolachloor	0,1	0,1 ¹
	Nicosulfuron	0,1	0,1 ¹
	Geneesmiddelen	Carbamazepine	0,1
Diclofenac		0,1	1,0 ²
Fenazon		0,1	1,0 ²
Guanylureum		0,1	1,0 ²
Lincomycine		0,1	1,0 ²
Metformine		0,1	1,0 ²
Metoprolol		0,1	1,0 ²
Pentoxifylline		0,1	1,0 ²
Sotalol		0,1	1,0 ²
Sulfamethoxazool		0,1	1,0 ²
Röntgencontrastmiddelen	Amidotrizoïnezuur	0,1	1,0 ²
	Johexol	0,1	1,0 ²
	Jomeprol	0,1	1,0 ²
	Jopamidol	0,1	1,0 ²
	Jopromide	0,1	1,0 ²
Industriële stoffen	Acesulfaam-k	1,0	1,0 ²
	DEHP	0,1	1,0 ²
	EDTA	1,0	1,0 ²
	MTBE	1,0	1,0 ²
	TBP	1,0	1,0 ²

¹ drinkwaternorm, ² signaleringswaarde

Overigens zal de signaleringswaarde voor antropogene stoffen in het vernieuwde protocol monitoring (Bkmw, 2015) worden verlaagd van 1 µg/L verlaagd naar 0,1 µg/L, gelijk aan de ERM-streefwaarde. Als stoffen deze concentratie overschrijden op een innamepunt voor de drinkwatervoorziening moet de waterbeheerder nader onderzoek verrichten.

2 Waterkwaliteit Maas en Rijn bij lage afvoeren (2010-2014)

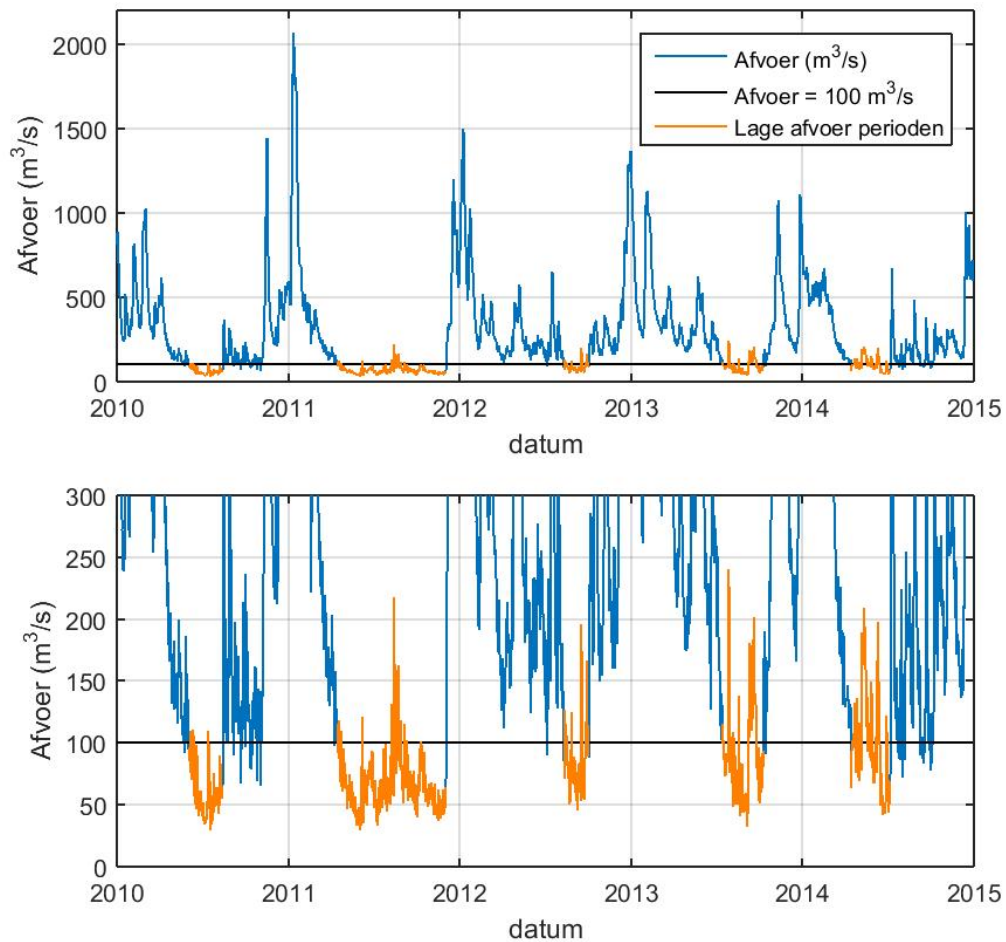
In dit hoofdstuk worden diverse vergelijkingen gemaakt van de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas vanuit drinkwaterperspectief. Ten eerste wordt in paragraaf 2.1 de waterkwaliteit vergeleken tussen de Rijn bij Lobith en de Maas bij Keizersveer. We nemen hierbij aan dat de waterkwaliteit bij Lobith representatief is voor die van de Waal, van waaruit de aanvoer naar de Maas kan plaatsvinden. Zo wordt getoetst of de aanvoer van Waalwater de waterkwaliteit van de Maas daadwerkelijk kan verbeteren in de huidige situatie. Ten tweede vergelijken we in paragraaf 2.2 de waterkwaliteit op meetpunt Keizersveer met die van het innamepunt Brakel. De waterkwaliteit bij Keizersveer achten we representatief voor het innamepunt Gat van de Kerksloot (Brabantsche Biesbosch) van Evides, echter niet voor het innamepunt van Dunea in de Afgedamde Maas bij Brakel. De locaties van de meetpunten zijn weergegeven in Figuur 2-1.



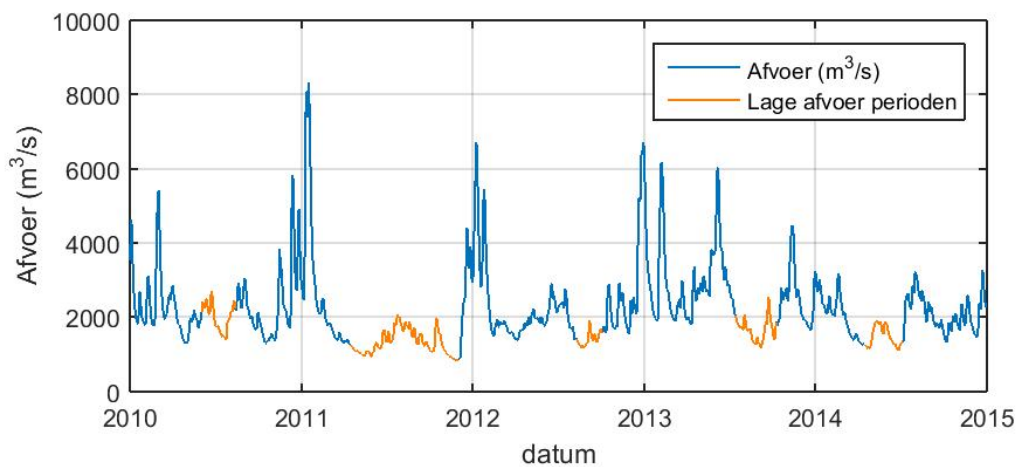
FIGUUR 2-1 LOCATIES VAN DE MEETPUNTEN LOBITH (RIJN) EN KEIZERSVEER (MAAS) EN DE INNAMEPUNTEN BRAKEL (DUNEA) IN DE AFGEDAMDE MAAS EN GAT VAN DE KERKSLOOT (EVIDES) IN DE BIESBOSCH.

2.1 Waterkwaliteit Lobith versus waterkwaliteit Keizersveer

Voor de vergelijking van de waterkwaliteit van het Maas- en Rijnwater zijn meetdata gebruikt van de aandachtstoffen (Tabel 1-1) over de periode 2010-2014 voor Keizersveer (Maas) en Lobith (Rijn). Specifiek hebben we ingezoomd op de jaarlijkse periode met lage afvoeren van de Maas, door ons gedefinieerd als de aaneengesloten periode met afvoeren lager dan 100 m³/s. De betreffende perioden zijn aangegeven in Figuur 2-2 (Maas) en Figuur 2-3 (Rijn); alle details staan in Tabel 2-1. In 2011 vond de langste periode plaats met lage afvoeren: van half april tot begin december. De gemiddelde afvoer bij Keizersveer lag in deze periode op 68 m³/s. In het jaar 2010 zakte de afvoer ook diep weg (gemiddeld 60 m³/s over 72 dagen), maar de jaren 2012 t/m 2014 kenden een minder intense lage afvoer periode (zie Tabel 2-1). De gemiddelde afvoer bij Lobith tijdens lage Maasafvoeren varieerde van 1320-2000 m³/s.



FIGUUR 2-2 AFVOER VAN DE MAAS BIJ KEIZERSVEER (2010-2014). DE JAARLIJKS TERUGKERENDE LAGE-AFVOER PERIODE IS AANGEGEVEN IN ORANJE. IN DE ONDERSTE FIGUUR IS DE Y-AS BEPERKT TOT 300 M³/S OM DE DETAILS VAN DE LAGE AFVOER PERIODE ZICHTBAAR TE MAKEN. DETAILS STAAN IN TABEL 2-1.



FIGUUR 2-3 AFVOER VAN DE RIJN BIJ LOBITH (2010-2014). DE ORANJE LIJN MARKEERT DE JAARLIJKSE LAGE-AFVOER PERIODE VAN DE MAAS. ZIE DETAILS IN TABEL 2-1.

TABEL 2-1 DETAILS VAN DE LAGE-AFVOER PERIODEN VAN DE MAAS BIJ KEIZERSVEER (2010-2014).

Jaar	Start lage afvoer periode	Eind lage afvoer periode	Aantal dagen lage afvoer periode	Gemiddelde afvoer bij Keizersveer (m ³ /s)	Gemiddelde afvoer bij Lobith (m ³ /s)	Gemiddeld aantal stofmetingen Lobith/K'veer
2010	3 juni	14 augustus	72	60	2004	2/2
2011	16 april	3 december	231	68	1321	8/8
2012	11 augustus	3 oktober	53	86	1410	2/3
2013	14 juli	9 oktober	87	89	1653	3/4
2014	15 april	7 juli	83	103	1484	3/5

Per jaar zijn de gemiddelde stofconcentraties gedurende de lage-afvoer periode van de Maas vergeleken op de meetlocaties Keizersveer en Lobith. Deze gemiddelden zijn gebaseerd op 2 tot 8 metingen per jaar (zie Tabel 2-1). In Tabel 2-2 zijn de resultaten op hoofdlijnen samengevat: de stoffen zijn onderverdeeld in drie categorieën, gebaseerd op hogere, lagere of vergelijkbare concentraties in het Maaswater vergeleken met Rijnwater. De volledige dataset waarop Tabel 2-2 is gebaseerd is weergegeven in Bijlage I. Alle data zijn afkomstig van de RIWA Database.

TABEL 2-2 VERGELIJKING VAN DE WATERKWALITEIT VAN DE MAAS (KEIZERSVEER) EN DE RIJN (LOBITH) TIJDENS DE LAGE-AFVOER PERIODE IN DE MAAS, ZOALS GEDEFINIEERD IN TABEL 2-1. STOFFEN IN GRIJS OVERSCHRIJDEN REGELMATIG DE NORM VOOR BESTRIJDINGSMIDDELEN (0,1 µg/L), ERM-STREEFWAARDE VOOR GENEESMIDDELEN EN RÖNTGENCONTRASTMIDDELEN (0,1 µg/L) OF DE SIGNALERINGSWAARDE VOOR OVERIGE ANTROPOGENE STOFFEN (1 µg/L). DE VOLLEDIGE DATASET STAAT IN BIJLAGE I.

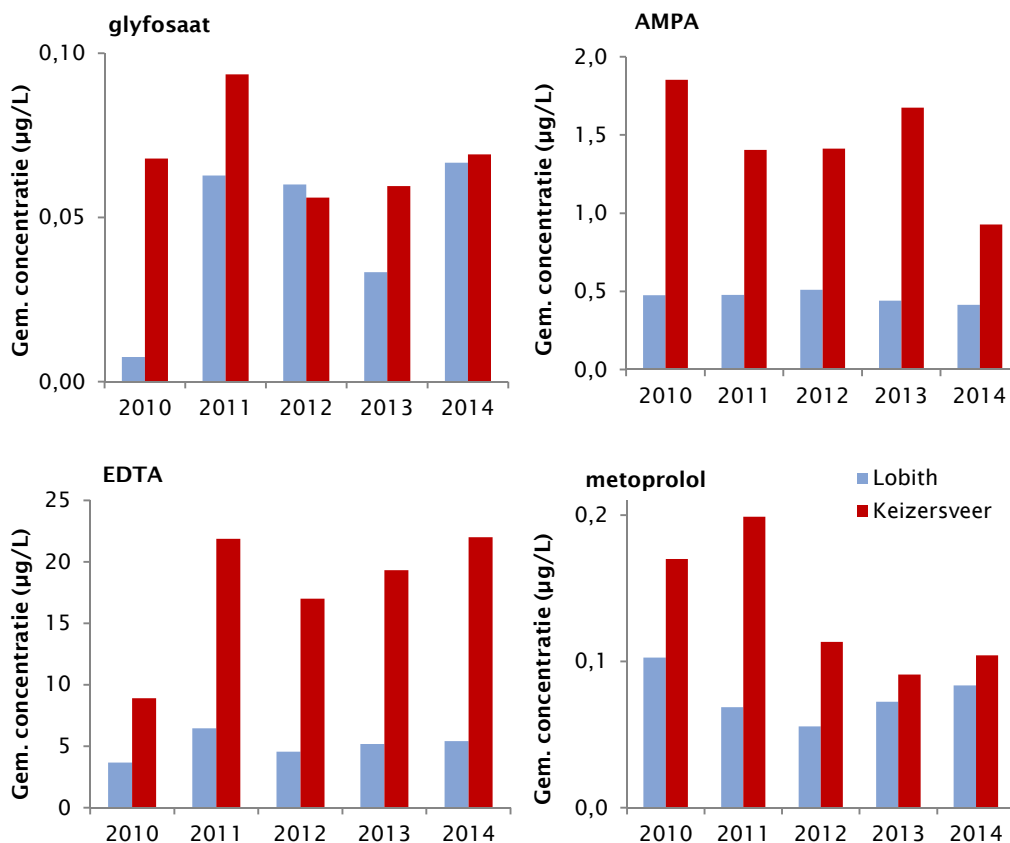
Concentratie Maas > Concentratie Rijn	Concentratie Rijn > Concentratie Maas	Concentratie Maas ≈ Concentratie Rijn	Te weinig data om verschil vast te stellen
glyfosaat	diclofenac ¹	isoproturon	bromacil
AMPA	sulfamethoxazool	carbamazepine	fenazon
diuron	amidotrizoïnezuur	metformine	lincomycine
MCPA	jomeprol	guanylureum	nicosulfuron
MCPP	jopamidol	johexol	pentoxifylline
metolachloor	jopromide		acesulfaam-K
metoprolol			DEHP
sotalol			
EDTA			
MTBE			
TBP			

¹Diclofenac overschrijdt de streefwaarde voor geneesmiddelen (0,1 µg/L) wel tijdens de winterperiode in de Rijn.

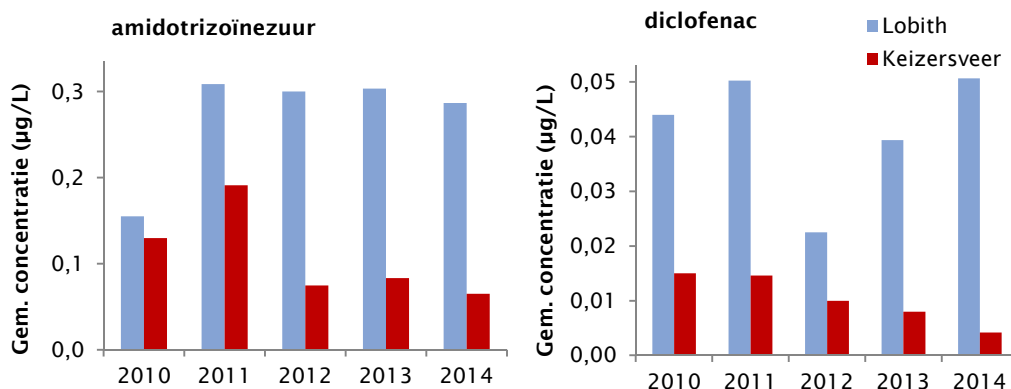
In de Figuren 2-4 t/m 2-6 wordt een aantal illustratieve voorbeelden gegeven van stoffen waarvan de concentratie tijdens lage-afvoer perioden hoger is in de Maas, resp. hoger in de Rijn, of waarvan de concentratie in Maas en Rijn vergelijkbaar is. Uit Tabel 2-2 en Figuur 2-4 blijkt dat de kwaliteit van het Maaswater slechter is dan die van het Rijnwater voor alle onderzochte bestrijdingsmiddelen en voor verschillende industriële stoffen. Echter, de Rijn

scoort duidelijk slechter op het gebied van röntgencontrastmiddelen (Tabel 2-2, Figuur 2-5). Voor geneesmiddelen is het beeld divers: voor metoprolol en sotalol scoort de Maas slechter dan de Rijn; voor diclofenac en sulfamethoxazool is het andersom, en voor carbamazepine en metformine zijn de concentraties in de Maas en de Rijn vergelijkbaar (Figuur 2-6).

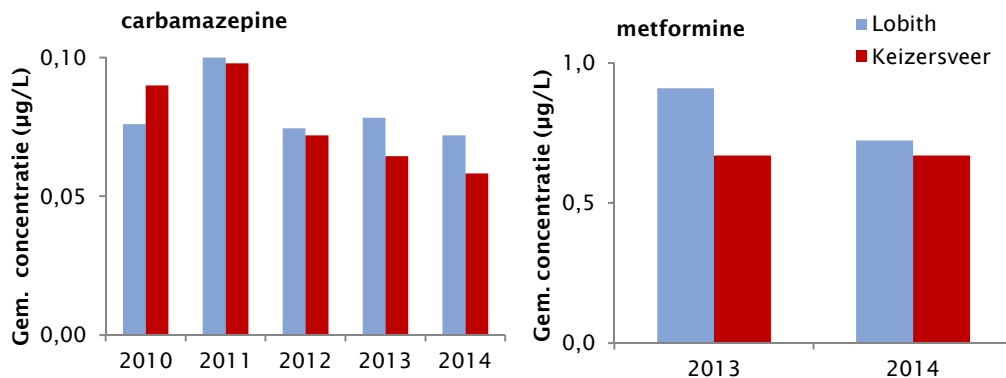
Op basis van Tabel 2-2 kan worden geconcludeerd dat aanvoer van Waalwater naar de Maas tijdens een lage-afvoer periode de waterkwaliteit zal verbeteren met betrekking tot diverse bestrijdingsmiddelen, waaronder glyfosaat en AMPA (die in de Maas vaak de inlaatnormen overschrijden). Ook voor diverse andere stoffen zal de waterkwaliteit verbeteren (zie Tabel 2-2). Voor de röntgencontrastmiddelen echter zal bijmenging van Waalwater leiden tot enige verslechtering van de waterkwaliteit. Röntgencontrastmiddelen overschrijden de ERM-streefwaarde van 0,1 µg/L in de Rijn, echter niet de signaleringswaarde van 1 µg/L en zijn naar de mening van KWR experts gezondheidskundig minder relevant dan geneesmiddelen. Sulfamethoxazool overschrijdt de ERM-streefwaarde nooit in Rijn- en Maaswater; diclofenac overschrijdt de ERM-streefwaarde enkel in de winterperiode in de Rijn en heeft met een gemiddelde concentratie van 0.04 µg/L in de zomerperiode in de Rijn geen nadelige gevolgen voor de Maaswaterkwaliteit bij aanvoer met Waalwater (zie Figuur 2-5).



FIGUUR 2-4 VERGELIJKING VAN DE GEMIDDELDE WATERKWALITEIT VAN DE MAAS (KEIZERSVEER) MET DIE VAN DE RIJN (LOBITH) TIJDENS DE JAARLIJKSE LAJE-AFVOER PERIODE VAN DE MAAS, ZOALS GEDEFINIËRD IN TABEL 2-1 (GLYFOSAAT, AMPA, METOPROLOL EN EDTA).



FIGUUR 2-5 VERGELIJKING VAN DE GEMIDDELDE WATERKwalITEIT VAN DE MAAS (KEIZERSVEER) MET DIE VAN DE RIJN (LOBITH) TIJDENS DE JAARLIJKSE LAGE-AFVOER PERIODE VAN DE MAAS, ZOALS GEDEFINIEERD IN TABEL 2-1 (AMIDOTRIZOINEZUUR EN DICLOFENAC).



FIGUUR 2-6 VERGELIJKING VAN DE GEMIDDELDE WATERKwalITEIT VAN DE MAAS (KEIZERSVEER) MET DIE VAN DE RIJN (LOBITH) TIJDENS DE JAARLIJKSE LAGE-AFVOER PERIODE VAN DE MAAS, ZOALS GEDEFINIEERD IN TABEL 2-1 (CARBAMAZEPINE EN METFORMINE).

Wanneer de stofconcentraties in Rijn- en Maaswater in de zomerperiode min of meer vergelijkbaar zijn heeft de aanvoer van Waalwater naar de Maas uiteraard geen relevante impact op de waterkwaliteit. Dit is o.a. het geval voor carbamazepine, guanlyureum en isoproturon. Ook voor metformine lijkt er weinig verschil te zijn, maar voor deze stof zijn nog weinig meetdata beschikbaar (zie Figuur 2-6).

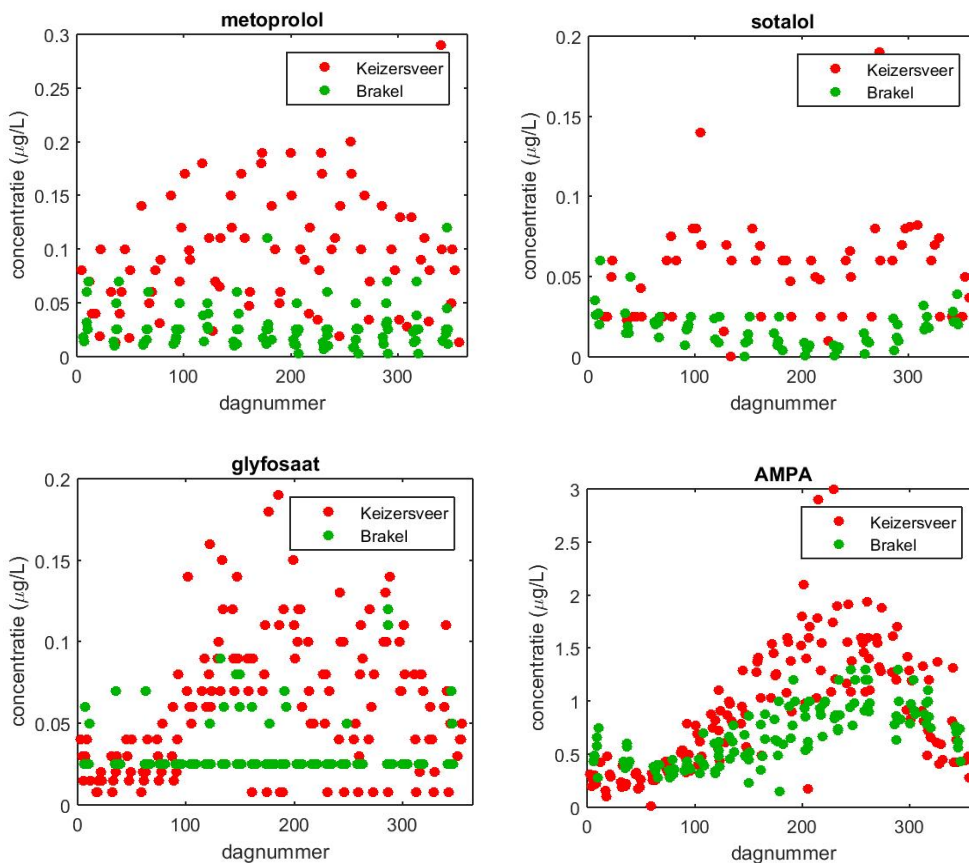
2.2 Waterkwaliteit Keizersveer versus waterkwaliteit Brakel

De Afgedamde Maas wordt enerzijds gevoed door de Maas, anderzijds door uitslag van boezemwater via een drietal gemalen. In het zomerhalfjaar zal de uitslag van boezemwater doorgaans beperkt zijn zodat mag worden verwacht dat de waterkwaliteit in de Afgedamde Maas vooral wordt beïnvloed door de Maas zelf. Er is wel sprake van specifieke lozingen op de Afgedamde Maas, bijvoorbeeld van MCPA en (incidenteel) dimethomorf (RIWA 2013). Voor de inname bij Brakel verblijft het water ongeveer 60 dagen in de Afgedamde Maas waar ook ijzerdosering plaatsvindt om zwevend stof, algen en fosfaat te verwijderen.

Afhankelijk van de afbraaksnelheid en de ijzerdosering (uitvlokking zwevend stof) zullen de concentraties van sommige stoffen afnemen in de Afgedamde Maas. Om dit effect nader te

onderzoeken zijn de concentraties op innamepunt Brakel in de Afgedamde Maas vergeleken met die op het meetpunt Keizersveer. Dit is gedaan door de gegevens van de periode 2010-2014 te clusteren en in een tijdreeks van één jaar te plotten (zie Bijlage II).

In Figuur 2-7 staan de jaarreeksen van vier geselecteerde stoffen waarin duidelijk verschil is te zien in het tijdsverloop van de concentraties bij Keizersveer en Brakel. In de plots zijn de concentraties op twee manieren te onderscheiden: tussen de twee locaties en tussen de zomer en de winter. Bij de meeste stoffen liggen de concentraties in de zomerperiode hoger dan in de winterperiode; dit wijst op een verdunningseffect (van Vliet and Zwolsman 2007) en/of op een seizoensgebonden toepassing. Een lagere concentratie op locatie Brakel vergeleken met de concentratie bij Keizersveer in de zomerperiode kan worden verklaard door afbraak (omzetting), vervluchtiging, en/of adsorptie-sedimentatie met het toegediende ijzer in de Afgedamde Maas. Dit is bijvoorbeeld het geval voor glyfosaat, AMPA, metoprolol en sotalol (Figuur 2-7), die kennelijk behoorlijk reactief zijn. Tijdreeksen voor de overige onderzochte stoffen staan in Bijlage II.



FIGUUR 2-7 CONCENTRATIES OVER DE PERIODE 2010-2014 GECLUSTERD IN ÉÉN TIJDREEKS VAN EEN JAAR OP DE MEETPUNTEN KEIZERSVEER (BERGSCHÉ MAAS) EN BRAKEL (AFGEDAMDE MAAS).

De halfwaardetijd ($t_{1/2}$) van stoffen in de Afgedamde Maas wordt in principe bepaald door drie processen: complexatie met en sorptie aan ijzerdeeltjes of sediment, vervluchtiging (MTBE, DEHP) en omzetting. Alle hier beschouwde stoffen kunnen in principe omgezet worden; hun omzettingssnelheden zullen echter verschillen. Wanneer we uitgaan van eerste-orde kinetiek, kan de halfwaardetijd (de tijd waarin de concentratie van een stof met 50% is verminderd) worden bepaald met vergelijking 2.1. De afbraak- of omzettingsconstante k is te bepalen met vergelijking 2.2. In deze vergelijking zijn de c_0 en c_t de stofconcentraties bij respectievelijk Keizersveer en Brakel; de reistijd tussen beide locaties is bij benadering gelijk aan de verblijftijd van het water in de Afgedamde Maas, gemiddeld 60 dagen. c_0 en c_t zijn geschat als de gemiddelde concentraties bij Keizersveer resp. Brakel over de "zomerperiode" van 1 april t/m 31 oktober. Voor elke stof is de ratio tussen de gemiddelde concentraties in de "zomerperiode" op beide locaties bepaald (per jaar), waaruit de afbraakconstante kon worden berekend met formule 2.2, en de bijbehorende halfwaardetijd met vergelijking 2.1. De aldus verkregen gemiddelde halfwaardetijd en het 95% betrouwbaarheidsinterval voor verschillende stoffen staan in Tabel 2-3..

$$\tau = \frac{\ln 2}{k} \quad (2.1)$$

Waarin τ = halfwaardetijd (dagen), k = afbraakconstante (d^{-1})

$$k = \frac{\ln \frac{c_0}{c_t}}{t} \quad (2.2)$$

Waarin k = afbraakconstante (d^{-1}), c_0 = gemiddelde concentratie (april t/m oktober) bij Keizersveer ($\mu\text{g/L}$), c_t = gemiddelde concentratie (april t/m oktober) bij Brakel ($\mu\text{g/L}$), t = gemiddelde verblijftijd in de Afgedamde Maas (60 dagen).

De berekende halfwaardetijden variëren van gemiddeld 25 dagen tot oneindig (Bijlage II). Deze schatting is goed te maken voor stoffen die merkbaar worden verwijderd in de Afgedamde Maas, dat wil zeggen voor stoffen met een halfwaardetijd tot ca. 120 dagen. Voor stoffen met langere halfwaardetijden is de omzetting in de Afgedamde Maas te beperkt (<30%) waardoor de methode onnauwkeurig wordt. Het berekende 95%-betrouwbaarheidsinterval is een maat voor de reproduceerbaarheid van de methodiek, maar zegt niets over de juistheid van de uitgangspunten, zoals de verblijftijd van 60 dagen in de Afgedamde Maas.

TABEL 2-3 HALFWAARDETIJDEN VOOR VERSCHILLENDE STOFFEN IN DE AFGEDAMDE MAAS.
HALFWAARDETIJDEN VOOR ANDERE STOFFEN (MINDER BETROUWBAAR) ZIJN TE VINDEN IN BIJLAGE II.

Stof	Type	Gem. halfwaardetijd $t^{1/2}$ (dagen)	Min 95% betrouwbaarheidsinterval	Max 95% betrouwbaarheidsinterval	Periode (aantal jaar)
glyfosaat	bestrijdingsmiddel	46	36	66	5
AMPA	metaboliet	89	68	127	5
metolachloor ¹	bestrijdingsmiddel	92	75	120	3
carbamazepine	geneesmiddel	80	57	132	5
metoprolol	geneesmiddel	26	23	29	5
sotalol	geneesmiddel	25	22	30	4
sulfamethoxazool	geneesmiddel	99	65	204	5
jopromide	röntgencontrastmiddel	120	77	272	5
EDTA	Industriële stof	79	59	119	5

¹ Voor deze stof zijn enkel de waarden boven de detectielimiet gebruikt.

Uit Tabel 2-3 blijkt dat de berekende halfwaardetijd van glyfosaat, AMPA, metolachloor, metoprolol en EDTA een 95% betrouwbaarheidsinterval kent binnen een factor twee, wat betekent dat deze schatting zeer betrouwbaar is. De halfwaardetijden van carbamazepine, sulfamethoxazool en jopromide variëren binnen een factor drie tot drieënhalve wat ook zeer acceptabel is. Andere stoffen, zoals de röntgencontrastmiddelen, hebben een grotere spreiding in de berekende halfwaardetijd per zomerhalfjaar (zie Tabel in Bijlage II). Deze resultaten zijn dan ook minder betrouwbaar.

Vanwege de beperkte dataset van metformine bij Keizersveer (alleen 2013-2014) kon geen halfwaardetijd worden bepaald. In een vorige studie werd deze stof gemeten bij Eijsden en Heel (Ter Laak et al. 2013). Tussen deze twee locaties werd een groot verschil gevonden in concentraties tijdens een lage afvoer periode (november 2011): gemiddeld 4 µg/L bij Eijsden en 1.5 µg/L bij Heel (twee metingen). Aangenomen dat de verblijftijd ongeveer 10 dagen is over een afstand van 75 km leidt dit tot een halfwaardetijd van 7 dagen. Metformine is dus zeer reactief in de Maas maar de keerzijde hiervan is de vorming van het afbraakproduct guanylurea.

De prognoses van de waterkwaliteit in de Maas in het jaar 2050 worden zowel opgesteld voor de locatie Keizersveer als voor het innamepunt Brakel. De prognose bij Brakel wordt gebaseerd op die van Keizersveer, waarbij wordt gecorrigeerd voor afbraak met behulp van de halfwaardetijd uit Tabel 2-3 en een verblijftijd van 60 dagen (zie Hoofdstuk 3).

2.3 Conclusies

Het aanvoeren van Waalwater naar de Maas tijdens lage afvoer perioden heeft vooral voordeel voor de stoffen die momenteel in de Maas de DWR (en Bkmw) inname-normen overschrijden (glyfosaat, AMPA) en voor stoffen die de ERM-streefwaarde of de DWR signaleringswaarde overschrijden (EDTA, metoprolol). Tevens zal de aanvoer van Waalwater leiden tot verlagings van de concentraties van diuron, MCPA, MCPP, metolachloor, sotalol, MTBE en TBP.

Er zijn echter ook stoffen waarbij aanvoer van Waalwater de concentraties in de Maas doet toenemen: diclofenac, sulfamethoxazool en alle vijf onderzochte röntgencontrastmiddelen. Echter, de concentraties aan diclofenac en sulfamethoxazool in de Rijn zijn zo laag dat ze geen probleem zullen opleveren voor de bereiding van drinkwater. Röntgencontrastmiddelen overschrijden de ERM-streefwaarde van 0,1 µg/L in de Rijn, maar niet de signaleringswaarde van 1 µg/L (drinkwaterregeling). Gezien de lage concentraties zijn röntgencontrastmiddelen naar de mening van KWR experts bovendien gezondheidskundig niet relevant.

De waterkwaliteitsprognoses worden opgesteld voor de locatie Keizersveer, met behulp van de afvoer bij Meegen. De waterkwaliteit bij Keizersveer achten we representatief voor het innamepunt Gat van de Kerksloot van Evides, echter niet voor het innamepunt van Dunea in de Afgedamde Maas bij Brakel. Op basis van het verschil in concentratie tussen Keizersveer en Brakel is het mogelijk om voor diverse stoffen de halfwaardetijd in de Afgedamde Maas bepalen. In de prognoses van de waterkwaliteit op het innamepunt bij Brakel houden we dan ook rekening met deze halfwaardetijd.

3 Impact klimaatverandering op waterkwaliteit Maas en Rijn

In dit hoofdstuk worden prognoses gemaakt van de waterkwaliteit van Maas- en Waalwater onder verschillende klimaatscenario's. Hierbij moet worden bedacht dat de waterkwaliteit ook wordt beïnvloed door andere factoren, zoals demografische veranderingen (vergrijzing), technologische veranderingen (stofgebruik, waterzuivering) en veranderingen op het gebied van wetgeving. In paragraaf 3.1 wordt hier kort op ingegaan, maar deze veranderingen zijn niet meegenomen bij het inschatten van de toekomstige waterkwaliteit. De prognoses zijn enkel gebaseerd op de mate van verdunning bij toekomstige afvoeren van Rijn en Maas, waarbij wordt uitgegaan van gelijkblijvende belasting van het watersysteem (stand-still). De mate van verdunning wordt beschreven door de relatie tussen de afvoer en de concentratie (Q-C relatie), zie paragraaf 3.2. In paragraaf 0 zijn de prognoses van de waterkwaliteit gegeven bij huidig klimaat, G en W⁺ scenario (zichtjaar 2050). Vervolgens zijn in paragraaf 3.4 de effecten voor de drinkwatervoorziening in kaart gebracht.

3.1 Veranderd stofgebruik

Naast de mate van verdunning (bepaald door de Q-C relatie) kunnen stofconcentraties veranderen door een veranderd stofgebruik. Allerlei maatschappelijke en technologische ontwikkelingen kunnen invloed hebben op het gebruik van stoffen. Veranderend gebruik van stoffen zal leiden tot veranderende emissies en tot veranderende vrachten en concentraties in waterlichamen. In deze paragraaf besteden we aandacht aan de verwachte ontwikkelingen.

Ontwikkelingen in wet- en regelgeving (bijv. toelatingsbeleid voor bestrijdingsmiddelen, Kaderrichtlijn Water), prijsontwikkelingen van producten, maar ook technologische ontwikkelingen zoals de ontwikkeling van nieuwe stoffen of het vinden van nieuwe toepassingen van stoffen laten zich moeilijk voorspellen. Daarnaast kunnen veranderingen in beheer, behandeling en (her)gebruik van afvalwater leiden tot andere emissievolumina en emissieroutes. De effecten van deze processen op gebruik, emissies en concentraties in het water zijn dus ook moeilijk te voorspellen. Hetzelfde geldt voor calamiteiten zoals lozing van druggerelateerde chemicaliën (MDMA, aceton etc.) op het riool, waarbij bovendien een RWZI (tijdelijk) volledig kan uitvallen.

Het effect van demografische ontwikkelingen zoals bevolkingsgroei, bevolkingsafname of vergrijzing op het gebruik van geneesmiddelen is wel redelijk te voorspellen. In Tabel 3-1 staan prognoses van de toename van een aantal typen geneesmiddelen (Van der Aa et al., 2011). De vergrijzing en ook trends als toenemend overgewicht zullen waarschijnlijk leiden tot een toename van het gebruik van geneesmiddelen in Nederland (van der Aa et al. 2011). Dit geldt o.a. voor middelen ter bestrijding van hart- en vaatziekten (bijv. metoprolol en sotalol), pijnstillers (bijv. diclofenac), en antidiabetica (bijv. metformine). Voor andere therapeutische toepassingen neemt het gebruik minder sterk toe, zoals middelen tegen reuma, epilepsie (bijv. carbamazepine), of antibiotica (bijv. lincomycine en sulfamethoxazool). Het gebruik van stoffen kan ook afnemen, zoals wordt verwacht voor synthetische estrogenen ('de pil').

TABEL 3-1 PROGNOSES VAN DE TOENAME IN GEBRUIK VAN DIVERSE GROEPEN GENEESMIDDELEN IN HET JAAR 2040 TEN OPZICHTE VAN HET HUIDIGE GEBRUIK (VAN DER AA, 2011).

Type geneesmiddel	Voorbeeldstof	Consumptietoename (%)
Hart en vaatziekten (bloeddrukverlagers)	metoprolol, sotalol	36
Antidiabetica	metformine	29
Middelen tegen infecties/antibiotica	sulfamethoxazool	19
Anti-epileptica	carbamazepine	13
Pijnstillers	diclofenac	8

Ook het gebruik van röntgencontrastmiddelen kan door een combinatie van vergrijzing en de opmars van medisch diagnostische apparatuur toenemen. Marktanalyses voorspellen een groei van 6.8% per jaar voor diverse diagnostische contrastvloeistoffen tot 2017 (www.mynewsdesk.com). Het is echter de vraag of de veronderstelde toename van röntgencontrastmiddelen in gelijke mate geldt voor alle individuele middelen, zoals amidotrizoïnezuur, johexol, jomeprol, jopamidol en jopromide.

Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen is sterk afhankelijk van teelt, regelgeving (toelatingsbeleid, KRW), en ontwikkeling van nieuwe middelen. Klimaatverandering, en dan vooral zachtere winters en nattere zomers, kunnen tot een toename van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen leiden om de toename van ziekten en plagen te bestrijden (Ziska, 2014). Bovendien is het aantal toegelaten gewasbeschermingsmiddelen in Nederland de afgelopen jaren toegenomen (de Snoo and Vijver 2012).

Voor de herbiciden glyfosaat en diuron, die in deze studie in detail zijn bestudeerd, is het volgende te verwachten. Het gebruik van diuron is sinds 1999 verboden in Nederland (Bannink 2004). Bovendien is het gebruik in anti-aangroei coatings op basis van diuron in verschillende landen aan banden gelegd of verboden (www.epa.gov). Van 2003 tot 2012 is de jaargemiddelde diuron concentratie met 75-90% afgenomen op de locaties Eijsden, Keizersveer en Lobith. Daarmee is diuron op dit moment niet langer een probleemstof voor de bereiding van drinkwater uit de Maas.

Glyfosaat is op dit moment één van de meest gebruikte herbiciden in de wereld. Het gebruik van glyfosaat in Nederland zal hoogstwaarschijnlijk afnemen. Vanaf begin 2016 gaat het verbod in op gebruik van chemische middelen voor onkruidbestrijding op verhard terrein (VEWIN 2014). Duitsland, Vlaanderen en Wallonië hanteren tevens een verbod op het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen op openbare terreinen (RIWA 2015). In Frankrijk zal het verbod ingaan aan het einde van 2016. RIWA gaat ervan uit dat de maatregelen in Nederland en de ons omringende landen ertoe zullen leiden dat de mate van normoverschrijding door glyfosaat en AMPA op de innamepunten drastisch zal verminderen (RIWA 2015). Naast regulatie en trends in productie en in het gebruik zijn er ook maatschappelijke trends waar te nemen in hoe we met ons afval omgaan. Veel microverontreinigingen komen in afvalwater terecht en bereiken via communale of industriële afvalwaterzuiveringen het oppervlaktewater. Voor geneesmiddelen, röntgencontrastmiddelen, enkele herbiciden die in stedelijk gebied worden gebruikt, zoetstoffen en stoffen die in detergenten worden gebruikt is dit de belangrijkste emissieroute. De huidige afvalwaterzuiveringen zijn ontworpen en geoptimaliseerd om koolstof, stikstof en fosfaat te verwijderen. Microverontreinigingen worden slechts in beperkte mate verwijderd (bijvangst). Recent zijn er veel studies in binnen- en buitenland gedaan naar aanvullende zuiveringstechnieken om microverontreinigingen uit het afvalwater te verwijderen (Derksen and ter Laak 2013). In Zwitserland worden de

komende decennia aanvullende zuiveringsstappen aan de grootste afvalwaterzuiveringen toegevoegd om de belasting van het oppervlaktewater met microverontreinigingen te verminderen. Het is mogelijk dat dit ook in andere Europese landen gaat gebeuren waardoor de emissies zullen afnemen. Omdat dergelijke besluiten altijd de resultante zijn van een politieke afweging, is niet te voorspellen of en wanneer er maatregelen worden genomen en welk effect deze maatregelen uiteindelijk hebben op de emissie van bovengenoemde stoffen.

3.2 Q-C relaties voor de Maas (Keizersveer) en de Rijn (Lobith)

Concentraties van stoffen in oppervlaktewater worden bepaald door de emissies, de mate van verdunning, bezinking of resuspensie, omzetting en/of sorptie (reactiviteit). Een hogere afvoer zorgt voor een grotere mate van verdunning van stoffen die door puntbronnen (bijv. RWZI's) worden geloosd, waardoor de concentraties afnemen. De verwijdering van een stof is afhankelijk van de snelheid van afbraak (omzetting) en/of sorptie aan zwevend stof en het sediment. De mate van verwijdering hangt dan ook samen met de verblijftijd die weer mede wordt bepaald door de afvoer.

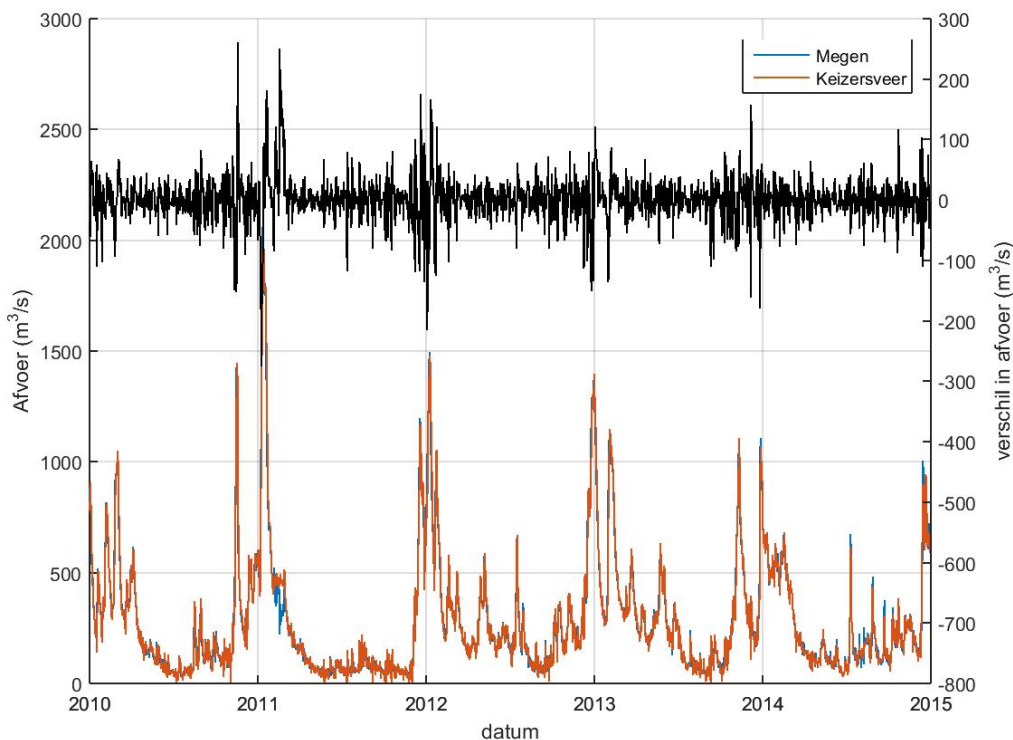
Het effect van verdunning in de projecties van de toekomstige waterkwaliteit wordt beschreven met Q-C relaties: de relatie tussen de afvoer van het rivierwater (Q) en de concentratie van de aandachtstoffen (C). Deze relatie kan worden opgesteld op basis van bestaande monitoringsdata (waterkwaliteit en afvoer). In principe dient de waterkwaliteit op hetzelfde punt te worden gemeten als de afvoer. Dat is het geval voor Lobith maar niet voor Keizersveer. De afvoer bij Keizersveer wordt niet gemeten maar afgeleid met een SOBEK model, waarbij de gemeten afvoer bij Megen (57 km stroomopwaarts) een randvoorwaarde is. In deze modelberekening wordt ook het getij verdisconteerd, maar niet de instroom van zijrivieren, waarvan de Dieze de belangrijkste is. De meerwaarde van de afvoerreeks bij Keizersveer ten opzichte van die bij Megen is dan ook gering te noemen.

De concentraties van de verschillende aandachtstoffen gemeten bij Keizersveer konden niet goed worden gerelateerd aan de gemodelleerde afvoer bij Keizersveer. Vermoedelijk is dit het gevolg van de invloed van het getij op de rivierafvoer bij Keizersveer. In Figuur 3-1 zijn de afvoeren van de Maas bij zowel Keizersveer als Megen (57 km stroomopwaarts) voor de jaren 2010 t/m 2014 geplot. Gemiddeld gezien is de afvoer bij Keizersveer gelijk aan die van Megen, maar er zijn forse uitschieters naar boven en naar beneden. Een faseverschil bij Keizersveer ten opzichte van Megen is niet waarneembaar, terwijl de verblijftijd van het water tussen Megen en Keizersveer tijdens lage afvoeren kan oplopen tot meerdere weken. Dit werpt vragen op over de betrouwbaarheid van de gemodelleerde afvoer bij Keizersveer.

Bovenstrooms van Keizersveer, bij meetpunt Megen, is de invloed van het getij afwezig. Voor een juiste Q-C relatie kan de waterkwaliteit bij Keizersveer wellicht beter gerelateerd worden aan de bovenstroomse afvoer bij Megen, dus zonder de invloed van het getij. Hierbij moet echter wel rekening worden gehouden met de verblijftijd tussen de twee meetpunten. We hebben deze verblijftijd geschat door aan te nemen dat de watermassa tussen Megen en Keizersveer zich verplaatst via propstroming, wat een behoorlijke versimpeling is. De verblijftijd tussen Megen en Keizersveer kan dan worden geschat als:

$$\text{Verblijftijd} = \frac{\text{afstand (Megen - Keizersveer)} * \text{natte doorsnede Maas}}{\text{debiet}} \quad (3.1)$$

De afstand tussen de meetlocaties Megen en Keizersveer is 57 km en de gemiddelde natte doorsnede van de Maas op dit traject is ca. 1000 m² (Geert Prinsen, Deltares, pers. comm.). Bij een Maasafvoer van 100 m³/s is de gemiddelde verblijftijd van het water tussen Megen en Keizersveer dan ca. 7 dagen. Bij een afvoer van 50 m³/s is de verblijftijd ca. 14 dagen en bij een (zeer lage) afvoer van 25 m³/s is de verblijftijd ca. 28 dagen. Aan de hand van de afvoer en de bijbehorende verblijftijd werd bepaald welk debiet bij Megen correspondeert met de waterkwaliteitsmeting bij Keizersveer. Dit faseverschil is minder dan een dag bij afvoeren > 600 m³/s, maar kan bij zeer lage afvoeren (25 m³/s) oplopen tot een maand.



FIGUUR 3-1 MAAS AFVOER BIJ MEGEN EN KEIZERSVEER (ONDER) EN HET VERSCHIL IN AFVOER (BOVEN) OVER DE PERIODE 2010-2014.

Vervolgens is met de bijbehorende afvoeren de Q-C relatie opgesteld voor elke beschouwde stof waarvan de metingen het toelieten. Aanvankelijk volgens vergelijking 3.2, waarin a de vracht (g/s) is en Q het debiet (m³/s). De vracht (a) kan worden gezien als de sommatie van alle lozingen bovenstrooms van het meetpunt, waarin het effect van afbraak impliciet is meegenomen. Als van de totale geloosde vracht bijvoorbeeld de helft is omgezet voordat het meetpunt wordt bereikt, is de vracht in vgl. 3.2 de helft van alle bovenstroomse lozingen.

$$c = \frac{a}{Q} \quad (3.2)$$

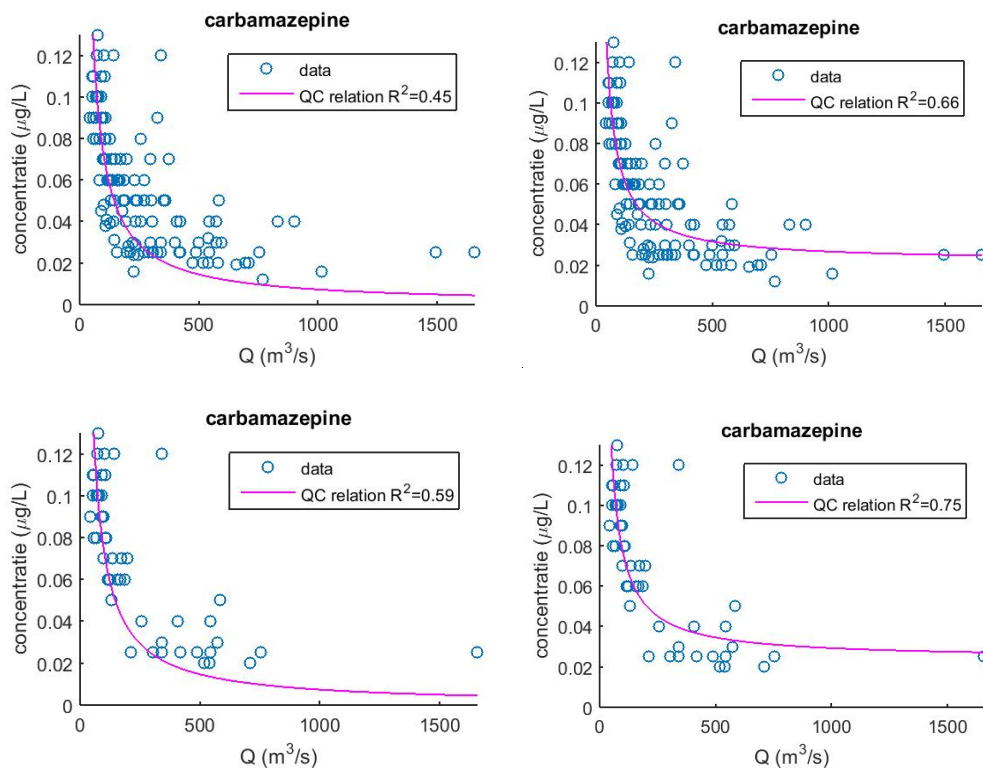
Vergelijking 3.2 gaat uit van volledige menging, een constante vracht over de beschouwde periode en een verwaarloosbare achtergrondconcentratie. Echter, de Q-C plots laten niet zien dat de concentraties afnemen naar nul bij hoge afvoeren; eerder wordt een constante (lage) concentratie bereikt bij hoge afvoeren (zie Figuur 3-2). Dit wijst op de aanwezigheid van een achtergrondconcentratie. Vermoedelijk weerspiegelt deze achtergrondconcentratie de uitwisseling van stoffen tussen het sediment en de waterfase. Hydrofiele stoffen zoals

genesmiddelen kunnen zich via elektrostatische interactie hechten aan het sediment (Williams et al., 2009; Yamamoto et al., 2009) en van daaruit weer desorberen naar de waterkolom. Bij hoge afvoeren daalt de concentratie in de waterfase en kunnen aan het sediment geadsorbeerde microverontreinigingen weer in oplossing gaan (desorptie). Dit proces kan verklaren waarom bij hoge afvoeren toch nog een meetbare concentratie aan organische microverontreinigingen wordt gemeten in het water.

Daarom hebben we de Q-C relaties nogmaals opgesteld met een achtergrondconcentratie (b) volgens vergelijking 3.3.

$$c = \frac{a}{Q} + b \quad (3.3)$$

Ter illustratie van de aanpak worden de Q-C relaties voor carbamazepine bij Keizersveer weergegeven in Figuur 3-2. (let op de meetbare concentraties bij hoge afvoeren).



FIGUUR 3-2 Q-C RELATIES VOOR CARBAMAZEPINE IN DE MAAS (KEIZERSVEER), VOOR VIER VERSCHILLENDE METHODEN. LB: $c=a/Q$ (DATA 2010-2014); RB: $c=a/Q + b$ (DATA 2010-2014; LO: $c=a/Q$ (DATA 2010-2011); RO: $c=a/Q + b$ (DATA 2010-2011).

De betrouwbaarheid van de Q-C relaties voor Keizersveer en Lobith is weergegeven in Tabel 3-2 resp. Tabel 3-3. De determinatiecoëfficiënt (R^2) geeft aan wat de 'fit' is van de Q-C relatie met de werkelijke datapunten. De Q-C relaties zijn opgesteld voor de volledige dataset (2010 t/m 2014) en voor de twee droogste jaren van de dataset (2010 en 2011), zowel zonder als met een achtergrondconcentratie. De beste Q-C relatie wordt verkregen met vergelijking 3.3 op basis van de droge jaren 2010-2011 met een maximale R^2 van 0.75. Het gebruik van een achtergrondconcentratie leidt tot significant betere Q-C relaties (zie Tabel 3-2 en Figuur 3-2).

De Q-C relaties voor alle onderzochte stoffen zijn samengevat in Bijlage III (a, b, R^2). Voor 9 van de 29 geselecteerde stoffen was de beschikbare dataset onvoldoende (te veel metingen onder de detectiegrens) om een Q-C relatie op te baseren. Van de overige 20 stoffen kon een Q-C relatie worden opgesteld, waarvan er 8 voldoende voorspellend vermogen hebben om toekomstige prognoses van de waterkwaliteit op te baseren (vetgedrukt in Tabel 3-2). De corresponderende Q-C plots voor deze stoffen bij Keizersveer en Lobith staan eveneens in Bijlage III.

De beste Q-C relaties zijn gehanteerd voor de prognoses van de toekomstige waterkwaliteit (Tabel 3-4). Dit betrof de Q-C relaties voor de twee droogste jaren (2010 en 2011) met inachtneming van een achtergrondconcentratie. Alleen voor amidotrizoïnezuur is de Q-C relatie voor de hele dataset gebruikt, zonder achtergrondconcentratie. Voor stoffen met een goede Q-C relatie bij Keizersveer maar niet bij Lobith (glyfosaat, metoprolol) zijn wel prognoses gemaakt. Voor deze stoffen is de prognose bij Lobith gedefinieerd als een constante waarde, namelijk de gemiddelde concentratie over de periode 2010-2014.

TABEL 3-2 DETERMINATIECOËFFICIËNT (R^2) VAN DE Q-C RELATIES VOOR DE MAAS BIJ KEIZERSVEER (C) EN MEGEN (Q). ONDERSCHIED IS GEMAAKT TUSSEN TWEE PERIODEN (2010-2014 EN 2010-2011) EN VERGELIJKINGEN ZONDER RESP. MET EEN ACHTERGRONDCONCENTRATIE (B). BRON: RIWA DATABASE.

	2010-2014		2010-2011	
	c=a/Q	c=a/Q+b	c=a/Q	c=a/Q+b
carbamazepine	0.45	0.66	0.59	0.75
metoprolol	0.30	0.46	0.38	0.73
AMPA	0.52	0.60	0.53	0.64
sulfamethoxazool	0.40	0.50	0.19	0.52
glyfosaat	0	0.09	0.08	0.36
diuron	0	0.20	0	0.32
EDTA	0	0.13	0.12	0.32
jomeprol	0	0.22	0	0.28
TBP	0	0.16	0	0.27
amidotrizoïnezuur	0.45	0.33	0.16	0.22
metolachloor	0	0.10	0	0.17
MTBE	0.10	0.15	0	0.12
diclofenac	0	0.09	0	0.09
jopamidol	0	0.11	0	0.06
sotalol ¹	0	0.04	0	0.05
MCPA	0	0.06	0	0.03
jopromide	0	0	0	0.02
johexol	0	0.08	0	0.01
MCPA	0	0.03	0	0.01
isoproturon	0	0	0	0

¹Gebaseerd op 3 meetpunten.

TABEL 3-3. DETERMINATIECOËFFICIËNT VAN DE Q-C RELATIES VOOR DE RIJN BIJ LOBITH. ONDERSCHIED IS GEMAAKT TUSSEN TWEE PERIODEN (2010-2014 EN 2010-2011) EN VERGELIJKINGEN ZONDER RESP. MET EEN ACHTERGRONDCONCENTRATIE (B). BRON: RIWA DATABASE.

	2010-2014		2010-2011	
	c=a/Q	c=a/Q+b	c=a/Q	c=a/Q+b
carbamazepine	0.64	0.65	0.88	0.88
jopamidol	0.46	0.52	0.70	0.73
EDTA	0.32	0.41	0.58	0.59
AMPA	0.53	0.48	0.60	0.46
diuron	0	0.16	0.13	0.37
amidotrizoïnezuur	0.43	0.49	0.27	0.33
metolachloor	0	0.02	0.07	0.19
sotalol	0	0.18	0	0.15
johexol	0.04	0.16	0	0.10
diclofenac	0	0	0	0.06
jomeprol	0	0.08	0	0.03
MTBE	0.01	0.02	0	0.02
jopromide	0	0.07	0	0.01
metoprolol	0	0.05	0	0.01
glyfosaat	0	0	0	0
isoproturon	0	0.02	0	0
sulfamethoxazool¹	0.80	0.65	-	-
MCPA ²	0	0	0	0
MCP ²	0	0	0	0
TBP ²	0	0	0	0

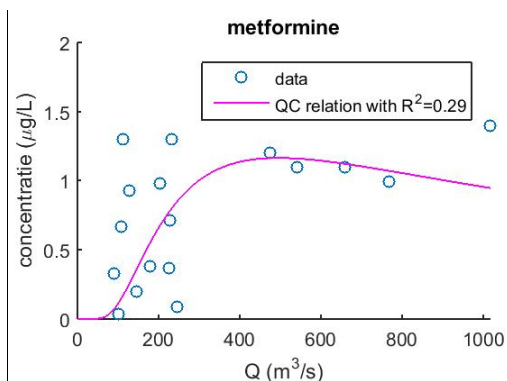
¹Gebaseerd op de jaren met beschikbare data (2013-2014). ²Stoffen niet aangetroffen boven de detectielimiet.

TABEL 3-4 STOFFEN DIE OP BASIS VAN EEN REDELIJKE Q-C RELATIE ZIJN GESELECTEERD VOOR DE WATERKWALITEITSPROGNOSES. DE GEHANTEERDE Q-C RELATIE IS: $C = A/Q + B$ VOOR DE JAREN 2010 EN 2011, TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN. DE CORRESPONDERENDE Q-C PLOTS STAAN IN BIJLAGE III.

Stof	Keizersveer/Megen	Lobith
diuron	X	X
glyfosaat	X	X ¹
AMPA	X	X
carbamazepine	X	X
metoprolol	X	X ¹
sulfamethoxazool	X	X ²
amidotrizoïnezuur	X ³	X ³
EDTA	X	X

1. prognose = gemiddelde concentratie (2010-2014)
2. $C = a/Q$ voor periode 2013-2014
3. $C = a/Q$ voor periode 2010-2014

Voor metformine kon geen goede Q-C relatie worden opgesteld. De data wijzen er wel op dat de stof bij lage afvoeren in lagere (!) concentraties voorkomt vergeleken met hogere afvoeren (zie Figuur 3-3). De gemiddelde metformine concentratie bij Keizersveer bij afvoeren groter dan 400 m³/s is ongeveer 1.2 µg/L, terwijl de concentratie bij afvoeren kleiner dan 400 m³/s gemiddeld 0.7 µg/L is (met een grote spreiding). Dit is in overeenstemming met de relatief hoge omzettingssnelheid van metformine, zoals eerder vastgesteld in de Maas op het traject Eijsden-Heel (Ter Laak et al., 2013). De Q-C relatie waarin afbraak is verdisconteerd is helaas niet beschrijvend genoeg, zodat prognoses van metformine voor het jaar 2050 niet gemaakt konden worden.



FIGUUR 3-3. Q-C RELATIE VOOR METFORMINE BIJ KEIZERSVEER/MEGEN OVER DE PERIODE MET BESCHIKBARE DATA (2013-2014). DE GEHANTEERDE RELATIE IS $c = \frac{a + e^{-kV} Q}{Q}$, WAARIN K = AFBRAAKCONSTANTE EN V = DOORSTROOMD VOLUME.

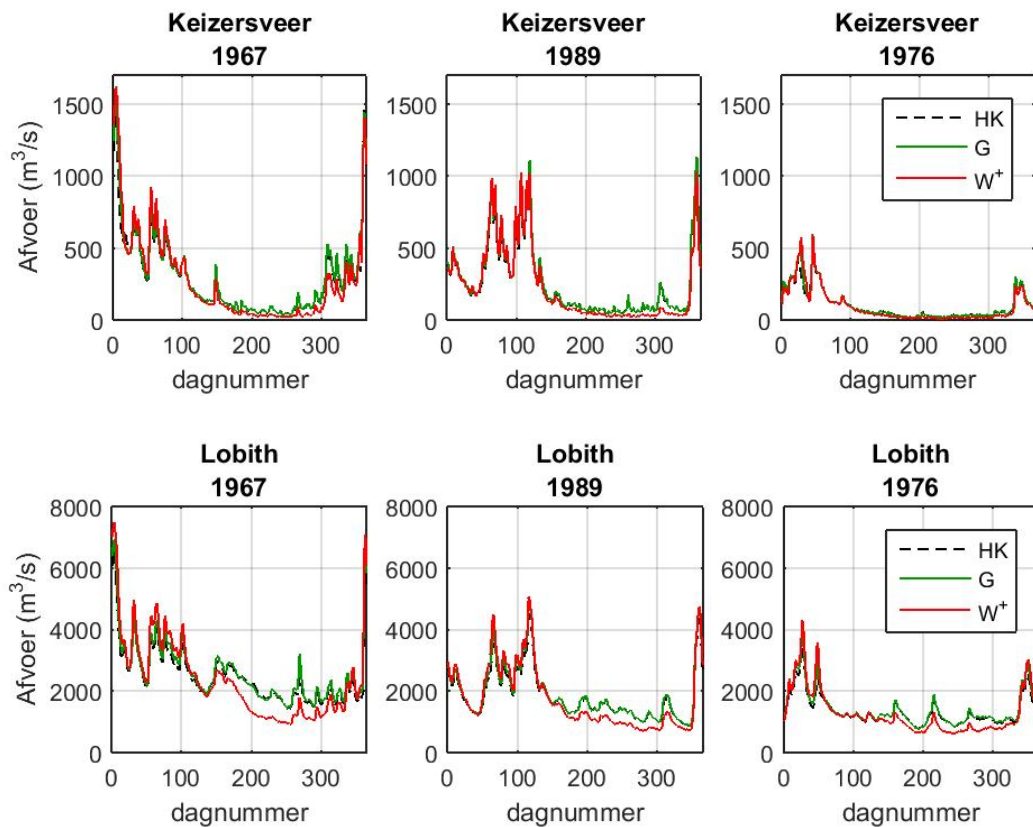
3.3 Waterkwaliteitsontwikkeling Maas en Rijn bij klimaatscenario's G en W⁺

In het kader van deze studie zijn afvoerprojecties gebruikt van de Rijn en de Maas in het jaar 2050 voor het G en W⁺ scenario. De afvoeren zijn afkomstig van modelberekeningen in 2013 met het Deltamodel in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater. Binnen het Deltamodel gaat het specifiek om LSM Light (versie 1.1) waarbij de lateralen zijn afgeleid met NHI (versie 3.01). De afvoerscenario's zijn gebaseerd op de combinaties van verschillende hydrologische jaren (gemiddeld, droog en zeer droog jaar) en het klimaatscenario (huidig klimaat, G en W⁺). Dit leidt tot negen afvoerreeksen per locatie; zie Tabel 3-5 en Figuur 3-4.

Uit Tabel 3-5 blijkt dat Maasafvoer in de jaren 2010 en 2011, die aan de basis ligt van de gehanteerde Q-C relaties, zeer goed overeenkomt met die van het droge jaar 1989.

TABEL 3-5 STATISTIEK VAN DE MAASAFVOEREN (KEIZERSVEER) GEBRUIKT IN DE Q-C RELATIE (2010-2011) EN IN DE HYDROLOGISCHE JAREN 1967 (GEMIDDELD JAAR), 1989 (DROOG) EN 1976 (EXTREEM DROOG).

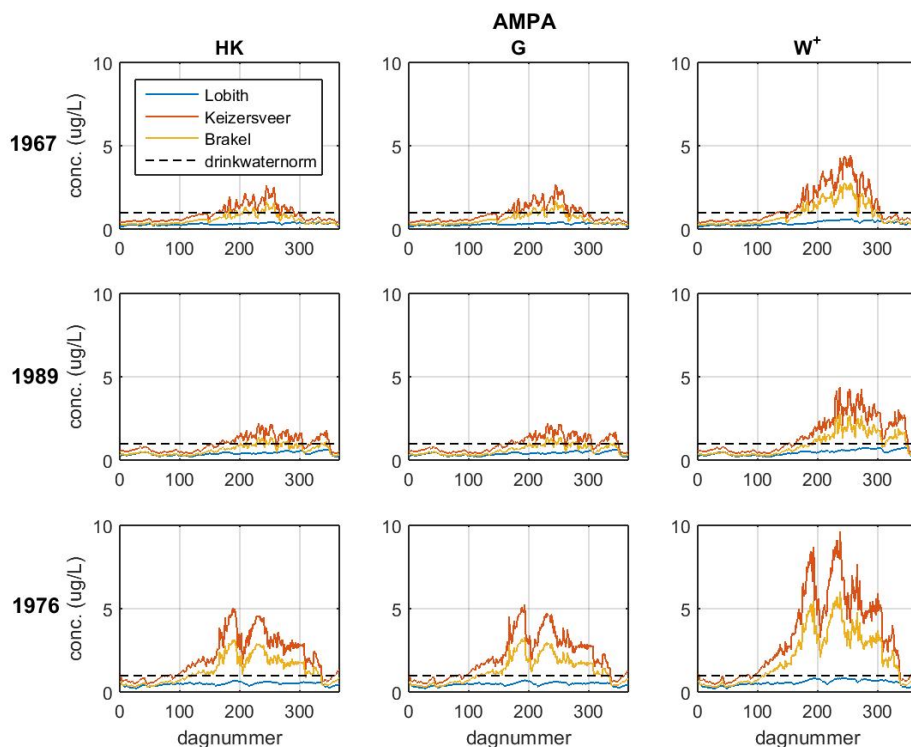
	2010-2011	1967	1989	1976
Gemiddelde	250	291	250	98
Mediaan	140	198	140	52
25 percentiel	80	90	74	30
10 percentiel	55	54	59	21
5 percentiel	50	48	51	18
Minimum	40	33	40	16



FIGUUR 3-4 AFVOERPROGNOSES VOOR EEN COMBINATIES VAN KLIMAATSCENARIO'S EN HYDROLOGISCHE VARIATIE. DE HYDROLOGISCHE JAREN ZIJN 1967 (GEMIDDELD), 1989 (DROOG) EN 1976 (ZEER DROOG); DE KLIMAATSCENARIO'S BESCHRIJVEN HET HUIDIG KLIMAAT (HK), GEMIDDELTE KLIMAATVERANDERING (G) EN SNELLE KLIMAATERANDERING (W⁺) MET ZICHTJAAR 2050.

Met behulp van deze afvoerreeksen, in combinatie met de opgestelde Q-C relaties (over 2010-2011), zijn prognoses gemaakt van de waterkwaliteit op drie locaties: Keizersveer, Brakel en Lobith. Dit is enkel gedaan voor de acht stoffen waarvoor een redelijk goede Q-C relatie is gevonden (zie Tabel 3-4). Het gebruik van Q-C relaties over de jaren 2010-2011 impliceert dat we uitgaan van een stand-still scenario voor de emissies tot het zichtjaar 2050. Voor sommige stoffen kan de belasting echter toenemen, voor andere stoffen kunnen de emissies juist dalen (zie paragraaf 3.1). De concentraties op locatie Keizersveer achten we representatief voor het innamepunt van Evides in de Brabantsche Biesbosch (Gat van de Kerkvloot). Voor het innamepunt Brakel (Dunea) zijn de concentraties in de prognose van Keizersveer aangepast aan het effect van afbraak in de Afgedamde Maas, door combinatie van de berekende halfwaardetijd (zie Tabel 2-3) en een verblijftijd van 60 dagen. Een rekenvoorbeeld om dit duidelijk te maken: als de halfwaardetijd van een stof 30 dagen is, neemt de concentratie van die stof in de Afgedamde Maas af met een factor 4 (ten opzichte van de concentratie bij Keizersveer).

Voor twee stoffen kan op de locatie Lobith geen goede Q-C relatie worden opgesteld: glyfosaat en metoprolol. Voor deze stoffen is de prognose bij Lobith gedefinieerd als een constante waarde, namelijk de gemiddelde concentratie over de periode 2010-2014. In Bijlage VI staan de prognoses voor alle geselecteerde stoffen uit Tabel 3-4. Ter illustratie zijn in onderstaande figuur (Figuur 3-5) de prognoses weergegeven voor AMPA, de metabooliet van het bestrijdingsmiddel glyfosaat. Binnen elke plot staan de prognoses van de waterkwaliteit op drie locaties: Lobith, Keizersveer en Brakel.



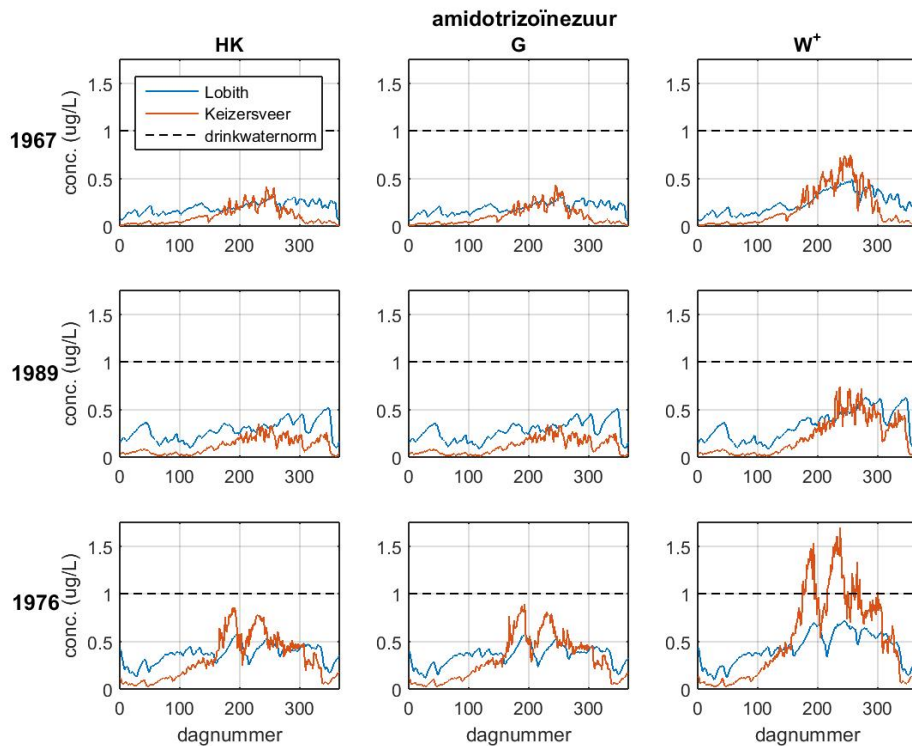
FIGUUR 3-5 WATERKWALITEITSPROGNOSES VOOR AMPA (ZICHTJAAR 2050) OP DE LOCATIES LOBITH, KEIZERSVEER EN BRAKEL, GEBASEERD OP DE HUIDIGE Q-C RELATIES OP DEZE LOCATIES (2010-2011) EN ONDER AANNAME VAN GELIJKBLIJVENDE BELASTING VAN HET WATERSYSTEEM.

Voordat het effect van klimaatverandering wordt besproken, is het goed om naar het effect van hydrologische variaties onder het huidige klimaat te kijken. Dit kan men doen door vergelijking van de prognoses bij huidig klimaat (HK) voor een gemiddeld jaar (1967), een droog jaar (1989) en een zeer droog jaar (1976). Zie het linkerpaneel van Figuur 3-5 (HK). Bij Keizersveer wordt de norm voor AMPA in het zomerhalfjaar overschreden in alle scenario's, maar de mate van normoverschrijding (hoogte en tijdsduur) is in het jaar 1976 veel groter dan in de jaren 1989 en 1967. Bij Brakel wordt de norm voor AMPA niet overschreden in het jaar 1967 en 1989, maar wel (en in aanzienlijke mate) in het zeer droge jaar 1976. Bij Lobith blijft AMPA onder de norm in alle hydrologische jaren. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het aflaten van Waalwater naar de Maas onder huidig klimaat een gunstig effect heeft op de AMPA concentraties bij Keizersveer en Brakel. Deze conclusie werd in Hoofdstuk 2 ook al getrokken, op basis van een directe vergelijking van de kwaliteit van het Rijnwater en het Maaswater tijdens lage afvoeren (zie Figuur 2-4).

Het effect van klimaatverandering is zichtbaar door vergelijking van de waterkwaliteit in het jaar 2050 (G en het W⁺ scenario) met die bij huidig klimaat, voor een gegeven hydrologisch jaar. Het algemene beeld van de toekomstprognoses, en dit komt ook duidelijk naar voren bij AMPA, is dat de concentraties in de Maas flink gaan toenemen in het droge W⁺ scenario, veel sterker dan in de Rijn het geval is. Zo kunnen de maximale AMPA concentraties bij Keizersveer en Brakel verdubbelen bij het W⁺ scenario (voor alle hydrologische jaren). Bij het W⁺ scenario neemt de mate van normoverschrijding op de innamepunten langs de Maas dan ook sterk toe, niet alleen voor AMPA, maar ook voor glyphosaat (zie Bijlage IV). Daarnaast kunnen de signaleringswaarden van amidotrizoïnezuur en metoprolol (1 µg/l) overschreden worden bij het W⁺ scenario in combinatie met een extreem droog jaar (zie Bijlage IV).

In tegenstelling tot de Maas, blijven de toekomstige concentraties van de meeste stoffen in de Rijn bij Lobith onder de drinkwaternorm van 0,1 µg/L of de signaleringswaarde/norm van 1 µg/L (zie AMPA in Figuur 3-5 en de overige stoffen in Bijlage IV). Zolang de Rijn wordt gevoed door sneeuwsmelt uit de Alpen, zal de afvoer van de Rijn tijdens een droge periode minder ver wegzakken dan die van de Maas, die een echte regenrivier is. Dat betekent ook dat aanvoer van Waalwater naar de Maas in de toekomst een steeds gunstiger effect zal hebben op de waterkwaliteit van de Maas.

Een aardige illustratie hiervan wordt gegeven door de prognoses voor amidotrizoïnezuur in Figuur 3-6. Onder het huidige klimaat liggen de concentraties amidotrizoïnezuur in de Rijn doorgaans hoger dan die in de Maas (behalve voor het extreem droge jaar 1976), maar bij het W^+ scenario is dat beeld omgekeerd. **In het algemeen geldt: hoe droger het scenario, hoe groter het verschil in waterkwaliteit tussen de Maas en de Rijn.** In de droogste afvoerreeks (W^+ in combinatie met 1976) liggen de concentraties in de Maas ver boven die in de Rijn (zie Figuur 3-6 en Bijlage IV).



FIGUUR 3-6 WATERKWALITEITSPROGNOSSES VOOR AMIDOTRIZOÏNEZUUR (ZICHTJAAR 2050) OP DE LOCATIES LOBITH EN KEIZERSVEER, GEBASEERD OP DE HUIDIGE Q-C RELATIES OP DEZE LOCATIES EN ONDER AANNAME VAN GELIJKBLIJVENDE BELASTING VAN HET WATERSYSTEEM. VOOR BRAKEL GELDEN DEZELFDE CONCENTRATIES ALS OP LOCATIE KEIZERSVEER VANWEGE DE ZEER LAGE AFBRAAKSNELHEID.

3.4 Consequenties voor innamepunten Gat van de Kerksloot en Brakel

De waterkwaliteitsprognoses van de geselecteerde stoffen waarvoor een goede Q-C relatie beschikbaar is laten ieder eenzelfde patroon zien, waarbij de concentraties in de Maas flink oplopen bij lage afvoeren onder droge klimaatscenario's, veel sterker dan in de Rijn het geval is (zie Bijlage IV). Dat betekent dat bijmenging van Waalwater gunstiger wordt voor de waterkwaliteit naarmate het hydrologisch scenario droger is.

Glyfosaat en zijn metabool AMPA overschrijden de drinkwaternorm van resp. 0,1 µg/L en 1 µg/L in de Maas gedurende een (groot) deel van het jaar in alle prognoses. De mate van normoverschrijding neemt toe naarmate het scenario droger is (1976, W⁺). Bij het W⁺ scenario is sprake van een zeer ernstige overschrijding (in duur en concentratie) van de inlaatnorm voor glyfosaat en AMPA in de Maas (zie Bijlage IV).

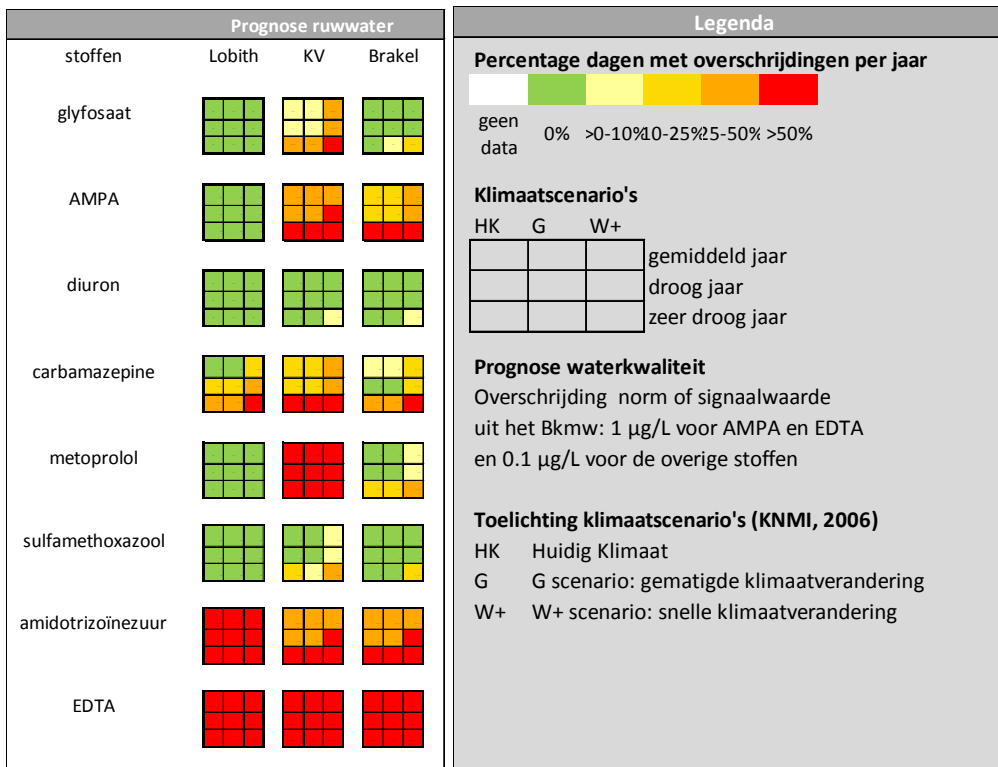
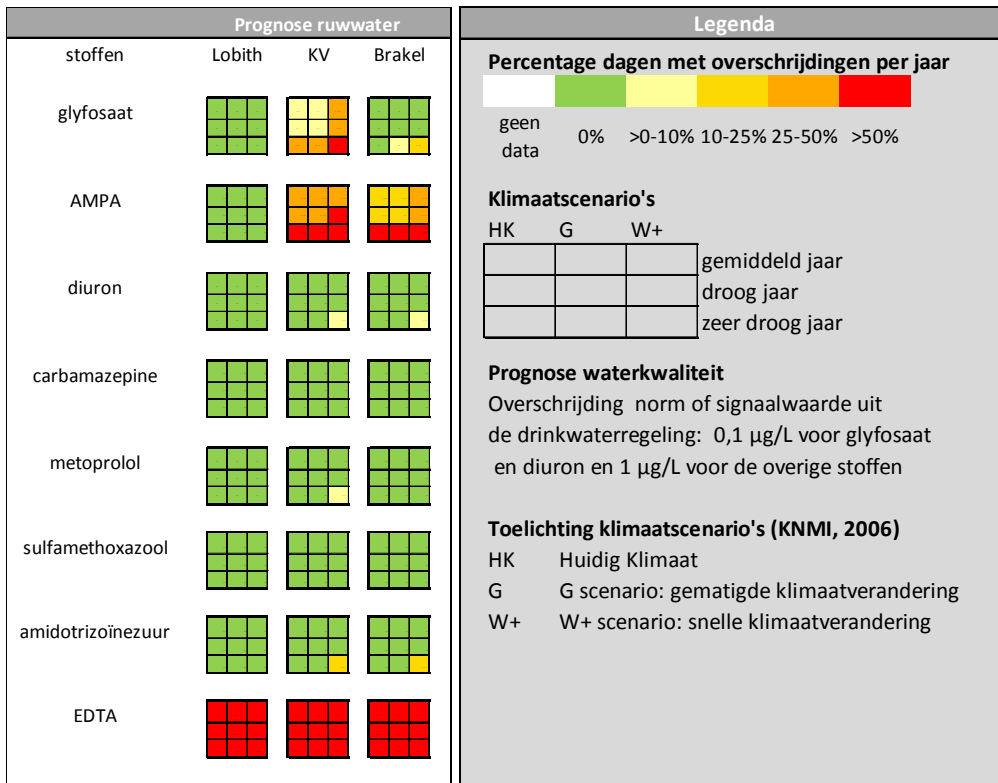
In het meest droge scenario (W⁺ in combinatie met 1976) vindt gedurende korte tijd een beperkte overschrijding plaats van de norm voor diuron (0,1 µg/l) en de signaleringswaarde voor metoprolol en amidotrizoïnezuur (1 µg/l) in de Maas.

Carbamazepine en sulfamethoxazool overschrijden ondanks de toenemende concentraties bij lage afvoeren de signaleringswaarde van 1 µg/L niet in de prognoses in de Maas, ook niet in het extreem droge scenario.

EDTA overschrijdt in alle gevallen en verregaand de signaleringswaarde van 1 µg/L in de Maas. In de prognoses lopen de concentraties op tot meer dan 80 µg/L in de Maas (!). In de Rijn liggen de EDTA concentraties fors lager, maar ook hier wordt de signaleringswaarde van 1 µg/l fors overschreden.

Bovenstaande informatie is overzichtelijk weergegeven in een infographic (Figuur 3-7). De infographic geeft aan hoeveel overschrijdingen per jaar er zijn berekend in de prognoses voor de geselecteerde aandachtstoffen waarvoor een goede Q-C relatie beschikbaar is. De blokjes bestaan uit de verschillende scenario's voor klimaat en hydrologie. De kleur van elk blokje geeft aan hoe vaak de stof op die locatie de norm of signaleringswaarde overschrijdt, bij dat specifieke scenario voor hydrologie en klimaat. De eerste infographic is gebaseerd op een signaleringswaarde van 1 µg/l; de tweede infographic op een signaleringswaarde van 0,1 µg/l (de nieuwe waarde uit het Bkwm, 2015). De nieuwe signaleringswaarde heeft uiteraard grote gevolgen voor de beoordeling van de ernst van de situatie voor geneesmiddelen en röntgencontrastmiddelen; zie Figuur 3-7. De achterliggende gegevens, zijnde het aantal dagen met overschrijding van een specifieke norm of signaleringswaarde voor stof X bij een gegeven combinatie van klimaat en hydrologisch jaar, zijn gegeven in Bijlage VII.

Uit de infographic blijkt dat glyfosaat, AMPA en EDTA de stoffen zijn die het vaakst de inlaatnorm of de signaleringswaarde overschrijden in de Maas. Dit is al het geval bij het huidige klimaat en die trend wordt versterkt als het toekomstig klimaat droger wordt (W⁺ scenario). Bij een signaleringswaarde van 0,1 µg/l zijn amidotrizoïnezuur en carbamazepine "plotseling" problematisch geworden in de Rijn en de Maas; hetzelfde geldt voor metoprolol in de Maas, met name bij Keizersveer. Overschrijding van de signaleringswaarde betekent niet automatisch dat een inname gestaakt zal worden; wel is er noodzaak tot onderzoek wat de impact van die overschrijding betekent voor de volksgezondheid. Overschrijding van een inlaatnorm voor glyfosaat of AMPA kan leiden tot sluiting van de waterinname, afhankelijk van de mate van overschrijding en een inschatting of de overschrijding van langere duur zal zijn.



FIGUUR 3-7 INFOGRAPHIC MET AANTAL OVERSCHRIJDINGEN VAN DE NORM OF SIGNALERINGSWAARDE BIJ LOBITH, KEIZERSVEER EN BRAKEL. SIGNALERINGSWAARDE 1 µg//L (BOVEN) RESP. 0,1 µg/L (ONDER).

4 Autonome ontwikkelingen binnen Dunea en Evides

4.1 Relevante ontwikkelingen bij Dunea

In 2012 heeft Dunea de Bronnenvisie 2011 – 2040 vastgesteld. In deze langetermijnvisie is gekeken naar ontwikkelingen die gevolgen kunnen hebben voor de beschikbaarheid en kwaliteit van het water uit de Afgedamde Maas en van alternatieve bronnen. Hiertoe worden gerekend: klimaatverandering, wet- en regelgeving, en economische, maatschappelijke en demografische ontwikkelingen. Op basis van vier toekomstscenario's is gekeken naar de belangrijkste vraagstukken waar Dunea mee te maken krijgt in de periode tot 2040. Hierbij is ook een relatie gelegd met de strategie voor de zuivering en met het beheer van de duinen. Maatregelen waaraan wordt gedacht zijn:

- Het geschikt maken van het noodinnamepunt Bergambacht voor reguliere inname uit de Lek (in combinatie met de Afgedamde Maas);
- Het robuuster maken van de innamepunten Brakel en Bergambacht door middel van waterberging (boven- of ondergronds);
- De inzet van brak grondwater als extra bron;
- De inzet van gebiedseigen zoet grond- of oppervlaktewater in West-Nederland als extra bron;
- Uitbreiding van de waterzuivering.

Inmiddels is het tweede innamepunt in de Lek bij Bergambacht volledig operationeel. Dit "tweede anker" heeft zijn waarde bewezen in de herfst van 2015, toen de inname bij Brakel twee maanden is gestaakt vanwege een chemische calamiteit op de Maas (pyrazool).

In 2013 heeft Dunea een belangrijke beslissing genomen rondom de uitbreiding van de zuivering. Dunea wil de (zuiverings)barrière voor organische microverontreinigingen vergroten en kiest voor een gefaseerde uitbreiding van de zuivering naast preventieve maatregelen. Dunea heeft hiervoor een technische oplossing ontwikkeld: geavanceerde oxidatie. Het ontwikkelde concept maakt gebruik van ozon, peroxide én UV. Door deze combinatie ontstaat een flexibele oplossing, waarmee een doorbraak in energieverbruik is bereikt. Door toepassing van de technologie in de voorzuivering worden de duinen beter beschermd en ontstaat de robuuste combinatie van geavanceerde oxidatie en duinfiltratie. Dunea heeft gekozen voor gefaseerde implementatie van de technologie. Module 1 is gestart in 2014, waarmee experimenteel ervaring wordt opgedaan. In 2018 wordt naar verwachting een vijfde van het door Dunea ingenomen water – 2.200 m³ per uur – extra gezuiverd op basis van ozon, peroxide en UV voordat het naar de duinen wordt getransporteerd. Met deze innovatie bereidt Dunea zich voor op de toekomst.

4.2 Relevante ontwikkelingen bij Evides

Naarmate het Maaswater schoner is, verloopt de zuivering sneller, eenvoudiger, goedkoper en met minder energieverbruik. Evides besteedt daarom veel aandacht aan preventief beleid, samen met de andere Maaswater bedrijven, RIWA-Maas en VEWIN. Tot de bedreigingen in de Maas behoren onder andere het toenemend gehalte aan medicijnresten en het optreden van calamiteiten, zoals najaar 2015 met pyrazool. Evides beschikt over een meetprogramma waarmee de kwaliteit van het Maaswater continu wordt gemeten. Bovendien staat Evides in

nauw contact met de andere Maaswaterbedrijven. Wanneer er stroomopwaarts een vervuiling wordt geconstateerd, sluit Evides tijdelijk de inname. In 2014 werd de waterinname 14 keer gedurende in totaal ongeveer 23 dagen stopgezet. Hiermee houdt Evides de kwaliteit van het water in de spaarbekkens optimaal, zodat de productie en levering van drinkwater niet in gevaar komt. De spaarbekkens in de Brabantsche Biesbosch hebben een watervoorraad voor ongeveer drie maanden.

Om in de toekomst nog beter te kunnen reageren op vervuilingen in het Maaswater en de variërende waterstanden in de rivier, gaat Evides een nieuw inlaatpompstation bouwen voor de Biesboschbekkens. Door de betere ligging van het innamepunt wordt tevens het reinigend vermogen van het eerste bekken – de Gijster – beter benut. Bovendien kent het pompstation een grotere capaciteit. In 2014 is Evides begonnen met de voorbereidingen voor de bouw van dit nieuwe inlaatstation – zoals onderzoek en gesprekken met belanghebbenden. De voorbereidingen worden in 2015 voortgezet.

In 2014 heeft Evides een aantal stappen genomen om de uitdagingen voor het komende decennium in kaart te brengen en oplossingen te zoeken voor een toekomstbestendige waterlevering. Het belangrijkste initiatief op dit gebied is het onderzoeksprogramma H2020. H2020 richt zich op praktische vraagstukken rondom zuiveringstechnologie en distributie, naast strategisch onderzoek om de kansen en uitdagingen voor Evides tot ver voorbij 2020 in kaart te brengen. In acht verschillende, onderling samenhangende onderzoeksprojecten is Evides op zoek naar nieuwe technologieën om zijn positie als betrouwbare waterleverancier in de toekomst veilig te stellen. Hierbij wordt gekeken naar het leidingnet (o.a. geografisch asset management, lekdetectie en conditiebepalingen van leidingen, ontwikkeling biologische stabiliteit), de zuivering (toepassing geavanceerde zuiveringstechnologieën voor drink- en industriewater) en duurzaam hergebruik van stedelijk afvalwater. Tevens wordt onderzocht wat een optimale drinkwaterinfrastructuur (bron-winning-transport-zuivering-distributie) zou zijn voor Evides bij verschillende toekomstscenario's. H2020 heeft een doorlooptijd van vier jaar en een totaalbudget van €10 miljoen.

4.3 Kanttekeningen bij de aanvoer van Rijnwater

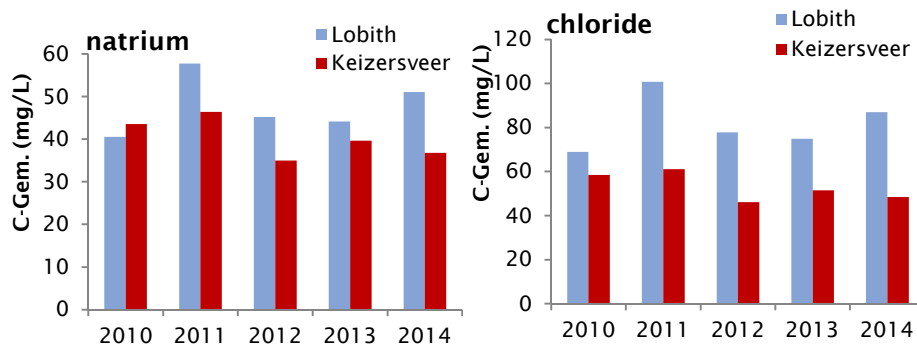
In deze studie is vastgesteld dat aflaten van Waalwater naar de Maas een positieve invloed heeft op de waterkwaliteit bij de innamepunten van Evides en Dunea langs de Maas. In dat licht lijkt het vreemd dat Evides en Dunea onder de huidige omstandigheden veel moeite doen om het aantrekken van Rijnwater (via de Merwede) te voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn het handhaven van een basisafvoer van 25 m³/s op de Amer en het bewust in stand houden van een bel met Maaswater ten noorden van de Wilhelminasluisen. Toch zijn hier een aantal plausible redenen voor.

Henk Ketelaars (pers. com.) geeft aan dat Evides de Rijn altijd buiten de deur heeft willen houden, omdat Rijnwater zouter is dan Maaswater. Evides levert ook water aan de (glas)tuinbouw waarvoor natrium een cruciale parameter is (vanwege recirculatie). Er is geen norm voor, maar voor de glastuinbouw geldt het adagium: Hoe minder natrium, hoe beter.

Hein de Jonge (pers. com.) stelt dat Dunea geen principiële bezwaar heeft tegen aanvoer van Rijnwater via de oostelijke route, maar wel via de noordelijke route (de Wilhelminasluisen). De reden daarvoor is dat de ijzerdosering door Dunea in de Afdamde Maas zich bevindt aan de zuidkant (bij Aalburg). Deze voorbehandeling zou veel minder effectief zijn als het water via de Wilhelminasluisen zou worden ingelaten in de Afdamde Maas. Een tweede reden is dat de verblijftijd van het water tot aan het innamepunt veel korter is als het water via de Wilhelminasluisen wordt aangevoerd. Dat betekent dat piekconcentraties minder worden afgevlakt; ook de natuurlijke afbraak van (probleem)stoffen zal beperkter zijn.

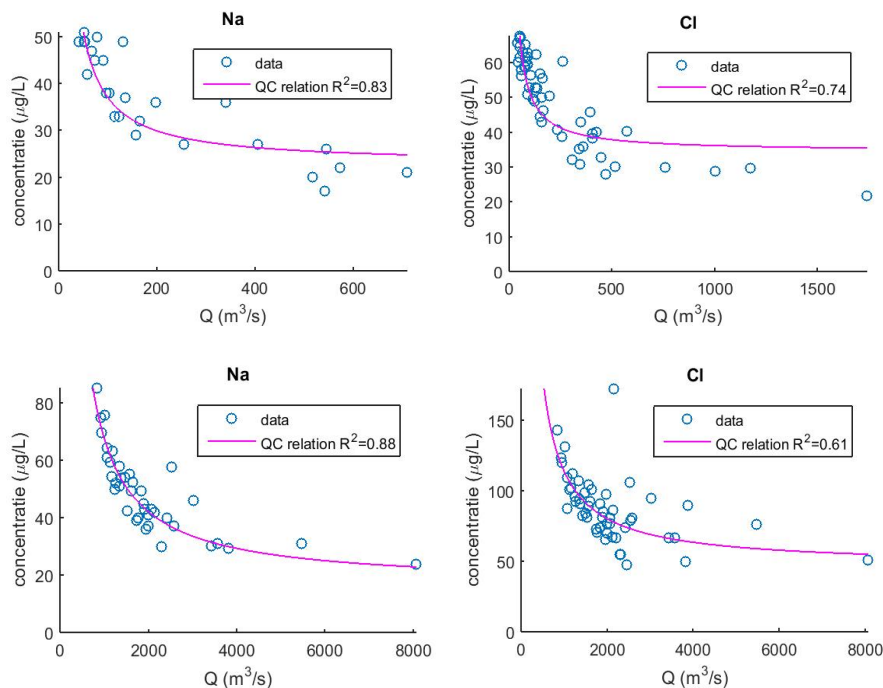
4.4 Hoeveel zouter is het Rijnwater?

Zoals hiervoor al gesteld wil Evides liever geen Rijnwater inlaten vanwege de hoge natrium concentraties die ongunstig zijn voor de (glas)tuinbouw. In het verleden was het Rijnwater inderdaad veel zouter dan het Maaswater, maar het verschil is tegenwoordig kleiner. Zo ligt het gemiddelde natriumgehalte van de Rijn (Lobith) tijdens de lage-afvoer periodes van 2010-2014 maar 10 mg/l boven dat van de Maas (Keizersveer); de chlorideconcentraties laten een wat groter verschil zien (gemiddeld 30 mg/l).



FIGUUR 4-1 VERGELIJKING VAN CONCENTRATIES CL EN NA IN DE MAAS (KEIZERSVEER) EN DE RIJN (LOBITH) TIJDENS DE JAARLIJKSE LAGE-AFVOER PERIODE VAN DE MAAS, ZOALS GEDEFINIËRD IN TABEL 2-1.

Bij zeer lage afvoeren zijn de verschillen in zoutgehalte tussen de Maas en de Rijn wel wat groter. Uit de Q-C relaties voor 2010-2014 (Figuur 4-2) blijkt dat de natriumconcentratie bij Keizersveer bij zeer lage Maasafvoeren tendeeft naar 50 mg/l, terwijl deze in de Rijn (Lobith) naar 80 mg/l gaat. De chlorideconcentratie van de Rijn bij zeer lage afvoeren is ca. twee maal zo hoog als die van de Maas bij zeer lage afvoer (140 versus 70 mg/l).



FIGUUR 4-2 DE Q-C RELATIES VAN NATRIUM EN CHLORIDE BIJ KEIZERSVEER (BOVEN) EN LOBITH (ONDER).

5 Belang wateraanvoer Waal naar Maas

In dit hoofdstuk onderzoeken we de impact van de aanvoer van Waalwater naar de Maas via het Maas-Waalkanaal. In de huidige situatie zagen we dat het vooral voordeel oplevert voor de stoffen glyfosaat, AMPA, metoprolol en EDTA (zie Figuur 2-4). In de toekomst zou dit ook kunnen gelden voor andere stoffen bij een (zeer) droog hydrologisch jaar (zie Hoofdstuk 3). In dit hoofdstuk bepalen we het effect van de aanvoer van Waalwater op de waterkwaliteit in de huidige situatie (paragraaf 5.1 en 5.2) en in de waterkwaliteitsprognoses onder invloed van klimaatverandering (paragraaf 5.3 en 5.4). We bepalen zowel het effect van de aanvoer van 25 m³/s Waalwater naar de Maas op de waterkwaliteit, als de benodigde hoeveelheid Waalwater om de stofconcentratie in de Maas te laten voldoen aan de (inlaat)norm of signaleringswaarde.

5.1 Waterkwaliteitsverandering door aanvoer van Waalwater: huidige situatie

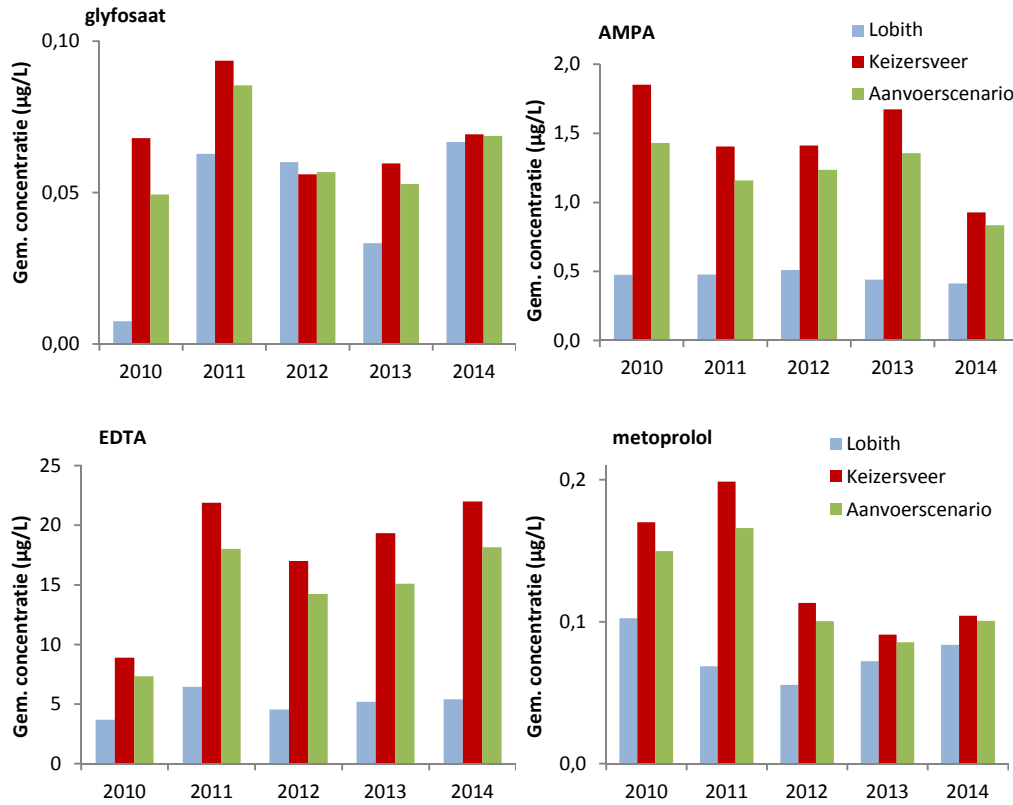
In de huidige situatie zagen we dat de aanvoer van Waalwater naar de Maas vooral voordeel oplevert voor de aandachtstoffen glyfosaat, AMPA, metoprolol en EDTA. In deze paragraaf bepalen we de waterkwaliteitsverandering in de Maas (Keizersveer) in een aanvoerscenario voor de huidige situatie.

Het gekozen aanvoerscenario gaat uit van de aanvoer van 25 m³/s Waalwater naar de Maas via het Maas-Waal kanaal. Hierbij nemen we aan dat de twee waterlichamen volledig worden gemengd. Met onderstaande vergelijking wordt de nieuwe concentratie (c) bij Keizersveer berekend bij een bepaalde afvoer (Q_{Maas}) en stofconcentratie (c_{Maas}) in de Maas gemengd met de aanvoer van 25 m³/s Waalwater ($Q_{aanvoer}$) met een bepaalde stofconcentratie (c_{Waal}).

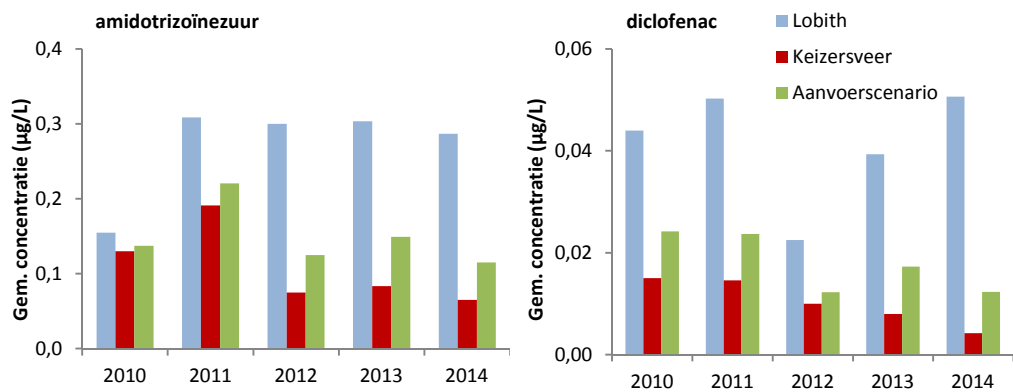
$$c = \frac{Q_{Maas} \cdot c_{Maas} + Q_{aanvoer} \cdot c_{Waal}}{Q_{Maas} + Q_{aanvoer}} \quad (5.1)$$

Deze berekening gaat uit van het gemiddelde debiet en de gemiddelde concentratie in de Maas en de Rijn over de lage afvoer periode van de Maas, zoals gedefinieerd in Tabel 2-1. De resulterende concentraties in de Maas na aanvoer van 25 m³/s Waalwater zijn gemiddelde concentraties tijdens de lage afvoer perioden (Bijlage V). De figuren 5-1 t/m 5-3 beschrijven de gemiddelde waterkwaliteit van de Maas en de Rijn in de lage afvoer periode van de Maas, en de gemiddelde concentratie na bijmenging met 25 m³/s Waalwater. De percentuele toe- of afname van de gemiddelde concentratie is weergegeven in Bijlage V en Figuur 5-4.

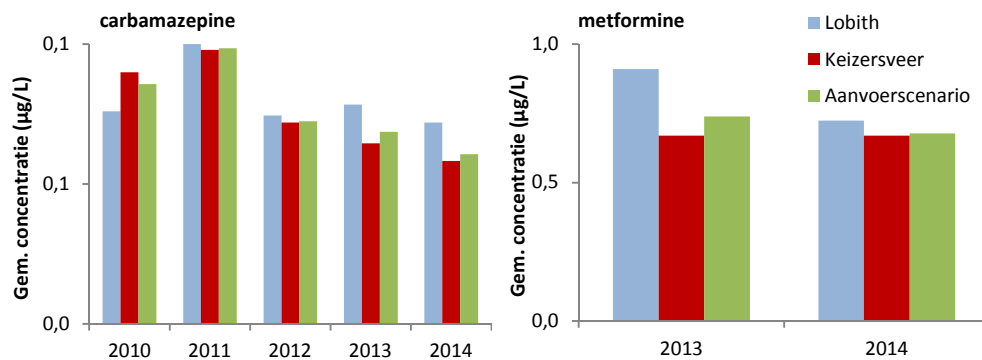
Elf stoffen hebben verhoogde concentraties in de Maas ten opzichte van de Rijn (Tabel 2-2), waarvan vier stoffen geregeld de drinkwaternorm, signaleringswaarde of ERM-streefwaarde overschrijden: glyfosaat, AMPA, metoprolol en EDTA. De aanvoer van 25 m³/s Waalwater leidt tot een beperkte verbetering van de waterkwaliteit voor deze stoffen, in de orde van 10-30% (Figuur 5-1 en Figuur 5-4). Dit zal dus leiden tot enige vermindering van het aantal normoverschrijdingen bij Keizersveer, maar in onvoldoende mate. Keerzijde van de aanvoer van Waalwater is de verhoging van de concentraties aan röntgencontrastmiddelen en diclofenac (Figuur 5-2) door de hogere concentraties in de Rijn, echter de concentraties blijven ruim onder de signaleringswaarde). De concentraties van carbamazepine en metformine blijven door de aanvoer van Waalwater in de huidige situatie nagenoeg gelijk.



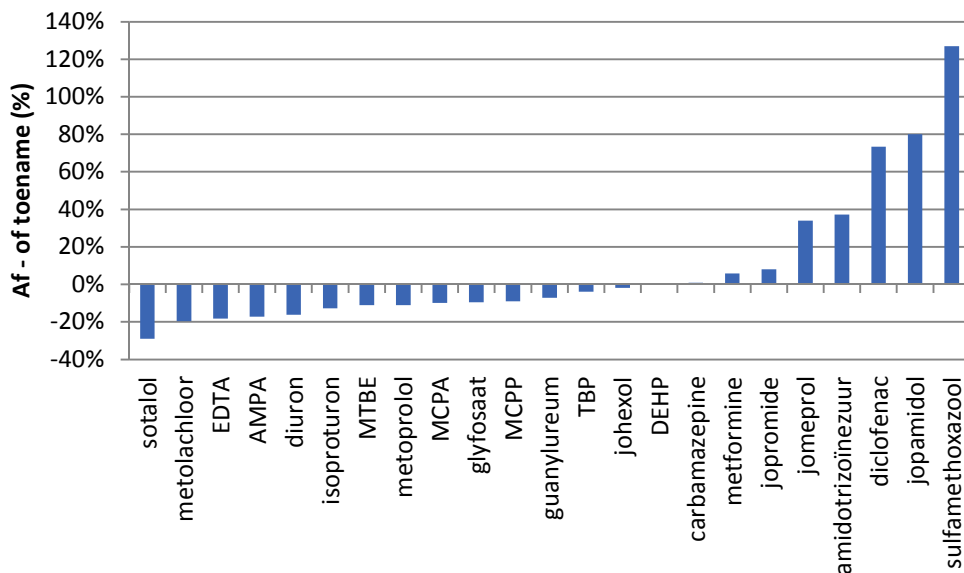
FIGUUR 5-1 GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN GLYFOSAAT, AMPA, EDTA EN METOPROLOL TIJDENS DE JAARLIJKSE LAGE AFVOER PERIODE VAN DE MAAS (ZIE FIGUUR 2-2 EN TABEL 2-1) BIJ KEIZERSVEER EN LOBITH; EN GEMIDDELDE CONCENTRATIE BIJ KEIZERSVEER NA AANVOER VAN 25 m³/s WAALWATER.



FIGUUR 5-2 GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN AMIDOTRIZOÏNEZUUR EN DICLOFENAC TIJDENS DE JAARLIJKSE LAGE AFVOER PERIODE VAN DE MAAS (ZIE FIGUUR 2-2 EN TABEL 2-1) BIJ KEIZERSVEER EN LOBITH; EN GEMIDDELDE CONCENTRATIE BIJ KEIZERSVEER NA AANVOER VAN 25 M³/S WAALWATER.



FIGUUR 5-3 GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE EN METFORMINE TIJDENS DE JAARLIJKSE LAGE AFVOER PERIODE VAN DE MAAS (ZIE FIGUUR 2-2 EN TABEL 2-1) BIJ KEIZERSVEER EN LOBITH; EN GEMIDDELDE CONCENTRATIE BIJ KEIZERSVEER NA AANVOER VAN 25 m³/s WAALWATER.



FIGUUR 5-4 PERCENTUELE TOE- OF AFNAME VAN DE GEMIDDELDE CONCENTRATIE IN DE MAAS TIJDENS DE LAGE AFVOER PERIODE OVER 2010-2014 ALS GEVOLG VAN DE AANVOER VAN 25 m³/s WAALWATER. ACHTERLIGGENDE GEGEVENS ZIJN VERMELD IN BIJLAGE V.

5.2 Benodigde verdunning: huidige situatie

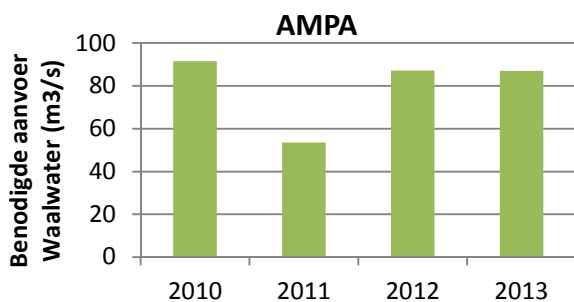
Met behulp van vergelijking 5.2 kan per stof worden berekend hoeveel Waalwater moet worden aangevoerd om de waterkwaliteit van de Maas (bij Keizersveer) zodanig te verbeteren dat de concentratie voldoet aan de norm of signaleringswaarde voor de productie van drinkwater. De benodigde aanvoer van Waalwater is afhankelijk van de mate van normoverschrijding in de Maas ($C_{Maas} - C_{norm}$), de mate van normoverschrijding in de Rijn ($C_{norm} - C_{Waal}$), en het gemiddelde debiet van de Maas tijdens de lage afvoerperiode (Q_{Maas}).

$$Q_{Waal} = \frac{C_{Maas} - C_{norm}}{C_{norm} - C_{Waal}} \cdot Q_{Maas} \quad (5.2)$$

De benodigde aanvoer van Waalwater kan enkel berekend worden voor de metaboliet AMPA, omdat de concentratie in het Rijnwater dermate verschilt van die in de Maas dat aanvoer van Waalwater de signaleringswaarde in de Maas binnen handbereik brengt. Ook guanyloreum

en EDTA overschrijden de signaleringswaarde in de Maas, maar de concentraties in de Rijn liggen boven de signaleringswaarde waardoor een waterkwaliteitsverbetering tot aan de signaleringswaarde niet haalbaar is. Voor de overige stoffen in de Maas geldt dat de gemiddelde concentraties bij Keizersveer de norm of signaleringswaarde niet overschrijden tijdens de lage afvoer periode. Glyphosaat bijvoorbeeld overschrijdt zo nu en dan de norm van 0,1 µg/L bij Keizersveer, maar de gemiddelde concentratie tijdens de lage afvoer perioden is lager dan de norm (Zie Figuur 2-4).

De benodigde gemiddelde aanvoer van Waalwater voor een verlaging van de concentraties van AMPA tot aan de norm variëren van 50 en 90 m³/s (zie Figuur 5-5 en Bijlage V).



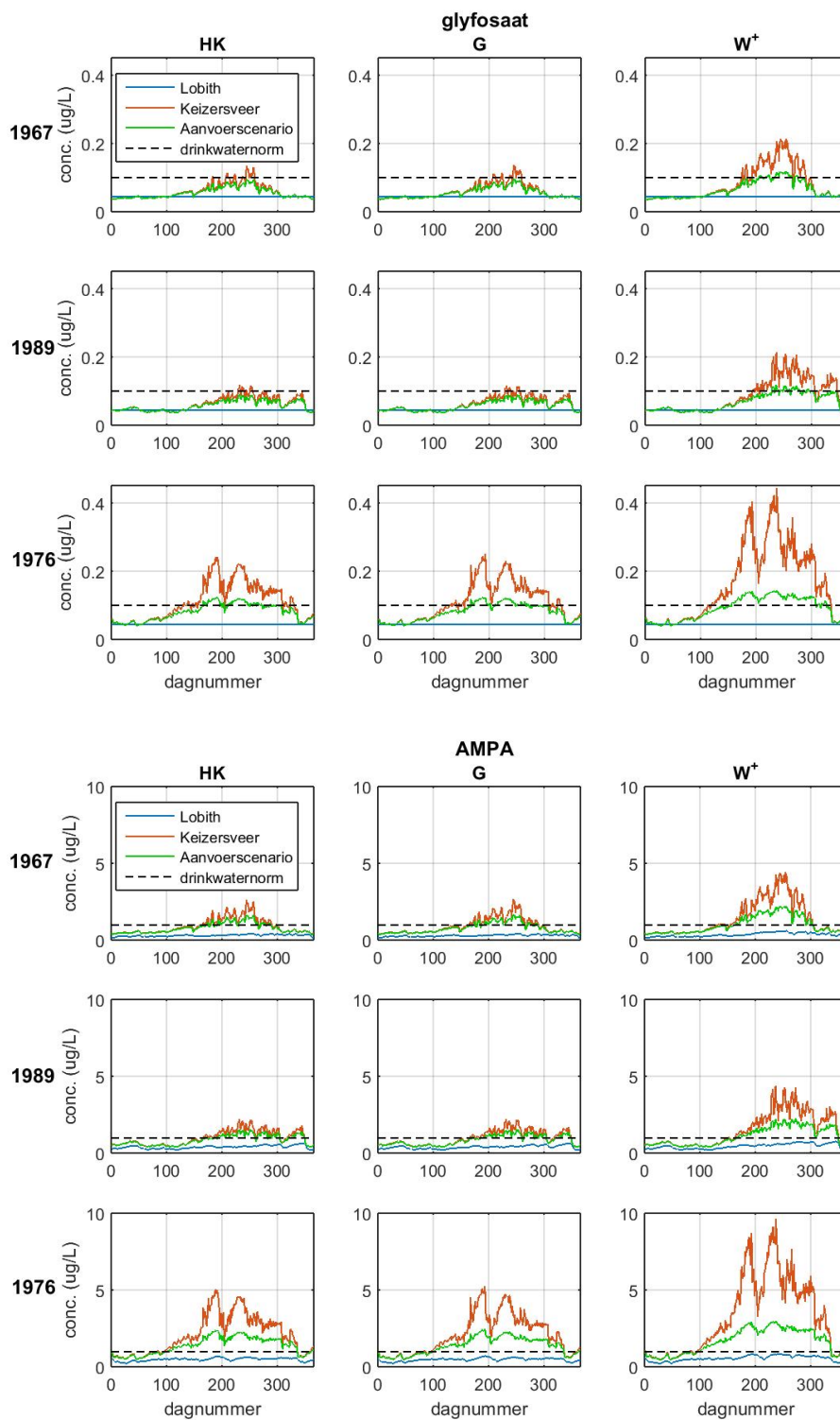
FIGUUR 5-5 BENODIGDE AANVOER VAN WAALWATER OM DE CONCENTRATIES VAN AMPA IN DE MAAS BIJ KEIZERSVEER TE VERLAGEN TOT DE NORM VAN 1 µg/L IN DE LAGE AFVOER PERIODEN. IN 2014 LIGT DE GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN AMPA BIJ KEIZERSVEER ONDER DE NORM EN IS AANVOER NIET NODIG.

5.3 Waterkwaliteitsverandering door aanvoer van Waalwater: toekomstige situatie

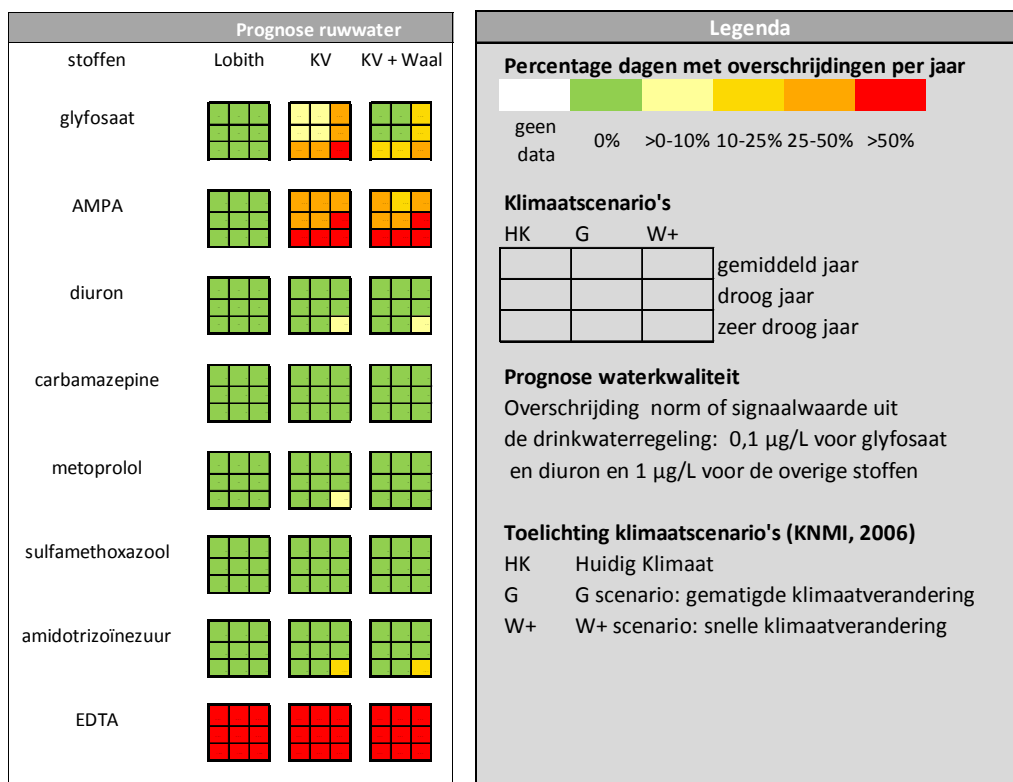
De waterkwaliteitsverandering in de Maas bij het aanvoerscenario van 25 m³/s Waalwater is tevens onderzocht in het zichtjaar 2050, op basis van de waterkwaliteitsprognoses. In Bijlage VII staan de resulterende concentraties in de Maas na bijmenging van 25 m³/s Waalwater in het zichtjaar 2050, bij huidig klimaat, G en W⁺ (berekend volgens vergelijking 5.1). Uit deze berekeningen blijkt dat het effect van aanvoer van 25 m³/s Waalwater op de waterkwaliteit groot is bij het W⁺ scenario (voor alle jaren) of het droogste hydrologische jaar (1976). Met andere woorden: onder huidig klimaat is de inlaat van Waalwater zinvol bij een zeer droog hydrologisch jaar. Bij toekomstig klimaat is inlaat van Waalwater zinvol onder het W⁺ scenario.

Voor glyphosaat en zijn metabool AMPA verbetert de situatie in de Maas na aanvoer van 25 m³/s Waalwater, maar niet voldoende om overschrijding van de drinkwaternormen uit te kunnen sluiten (zie Figuur 5-6). Voor glyphosaat wordt onder minder droge condities (1967 en 1989 in combinatie met het huidig klimaat of het G scenario) de norm niet noemenswaardig overschreden, echter nog wel onder zeer droge omstandigheden (het jaar 1976 of het W⁺ scenario). AMPA overschrijdt ook na de aanvoer van 25 m³/s Waalwater nog steeds de norm van 1 µg/l (in elk scenario), maar de mate van overschrijding wordt nu wel getemperd.

Voor metoprolol, amidotrizoïnezuur en diuron worden de concentraties in de Maas zodanig verlaagd door aanvoer van 25 m³/s Waalwater dat in geen enkel scenario de wettelijke norm of signaleringswaarde wordt overschreden. Voor carbamazepine en sulfamethoxazool verlagen de concentraties eveneens, maar deze lagen in de Maas toch al onder de (oude) signaleringswaarde. De concentraties van EDTA in het Maaswater worden sterk verlaagd door de aanvoer van 25 m³/s Waalwater, maar liggen nog steeds in de orde van tientallen µg/l, dus ver boven de signaleringswaarde van 1 µg/l uit de Drinkwaterregeling (zie Bijlage VII).



FIGUUR 5-6 PROGNOSES VAN DE GLYFOSAAT EN AMPA CONCENTRATIE BIJ LOBITH EN KEIZERSVEER IN HET JAAR 2050 BIJ HUIDIG KLIMAAT, G EN W⁺ SCENARIO, EN EFFECT VAN AANVOER VAN 25 m^3/s WAALWATER OP DE WATERKwaliteit BIJ KEIZERSVEER (AANVOERSCENARIO).



FIGUUR 5-7 INFOGRAPHIC VOLGENS FIGUUR 3-7 MET DAARIN HET SCENARIO VOOR DE WATERKwalITEIT BIJ KEIZERSVEER BIJ EEN AANVOER VAN 25 M³/S WAALWATER, ZIE OOK BIJLAGE VII.

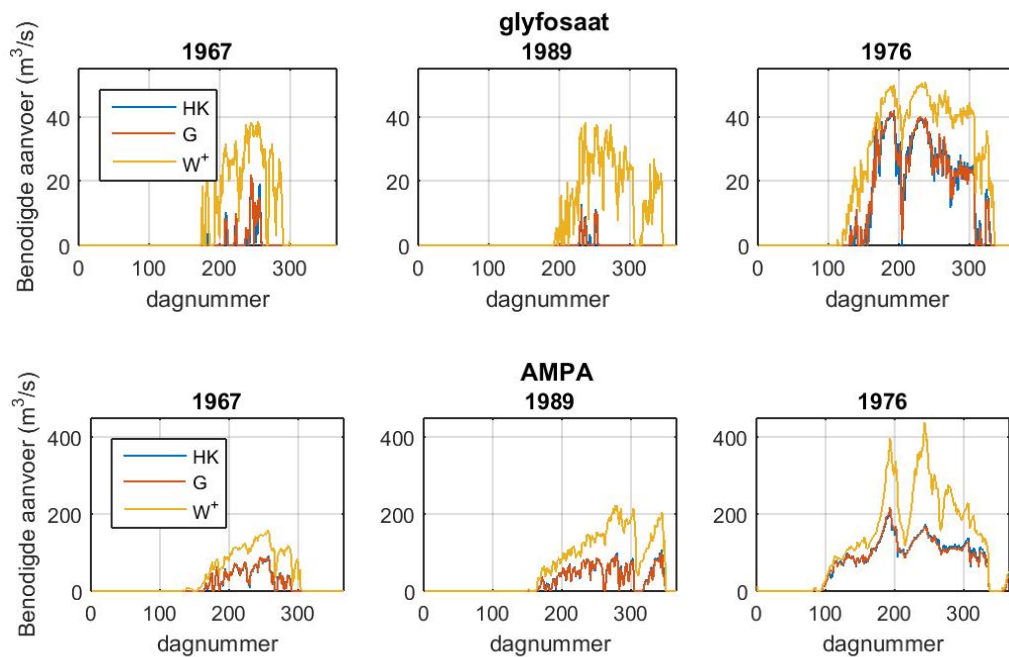
5.4 Benodigde verdunning: toekomstige situatie

In de waterkwaliteitsprognoses kan tevens worden berekend met vergelijking 5.2 hoeveel Waalwater er nodig is om tot een verdunning te komen waarbij de concentraties in de Maas worden verlaagd tot de wettelijke norm of signaleringswaarde. Dit debiet verschilt per stof.

Het benodigde debiet voor de aanvoer van Waalwater voor de waterkwaliteitsverbetering is weergegeven in Bijlage VIII. Uitgezonderd zijn carbamazepine en sulfamethoxazool waarvan de concentraties in de Maas altijd onder de signaleringswaarde (1 µg/l) liggen. Voor EDTA is het niet mogelijk om de concentraties in de Maas tot onder de signaleringswaarde van 1 µg/L te verlagen, omdat de concentraties in de Waal ook boven dit niveau liggen.

Voor glyfosaat en AMPA is aanvoer van Waalwater nodig in elk scenario om de concentraties te verlagen tot de wettelijke norm van 0,1 µg/L resp. 1 µg/L. De benodigde aanvoer varieert van ca. 20 m³/s voor glyfosaat (max. 50 m³/s) tot 200 m³/s voor AMPA (max. 450 m³/s). De benodigde aanvoer hangt uiteraard sterk af van het klimaatscenario (zie Figuur 5-88 en Bijlage VII).

Voor amidotrizoïnezuur, diuron en metoprolol is aanvoer van Waalwater enkel nodig in een zeer droog jaar bij een snelle klimaatverandering (1976/W⁺). De aanvoer is slechts voor korte tijd nodig en varieert van 2 m³/s tot 17 m³/s (Bijlage VIII).



FIGUUR 5-8 BENODIGDE AANVOER VAN WAALWATER NAAR DE MAAS OM GLYFOSAAT EN AMPA TE LATEN DALEN TOT DE WETTELIJKE NORM VAN 0,1 $\mu\text{g/L}$ RESP. 1 $\mu\text{g/L}$, BIJ HUIDIG KLIMAAT, G EN W⁺ SCENARIO (ZICHTJAAR 2050).

5.5 Conclusies

In de huidige situatie heeft de aanvoer van 25 m³/s Waalwater een gunstige doch beperkte invloed op de gemiddelde concentraties van de aandachtstoffen in de lage afvoerperiode (ca. 10-20% afname van de gemiddelde concentratie, max. 30%). Voor glyphosaat en AMPA kan de aanvoer van Waalwater tot de gewenste waterkwaliteitsverbetering leiden, maar voor AMPA is een veel groter debiet nodig dan 25 m³/s. Ook EDTA en guanyleureum overschrijden de signaleringswaarde in de Maas, maar de concentraties in de Rijn zijn zodanig hoog dat een waterkwaliteitsverbetering tot onder de signaleringswaarde niet haalbaar is. De gemiddelde concentraties van de overige stoffen overschrijden geen normen of signaleringswaarden tijdens de lage afvoer perioden en hoeven daarom niet noodzakelijk te worden verbeterd door de aanvoer van Waalwater.

In de prognoses voor 2050 leidt de aanvoer van 25 m³/s Waalwater tot een verbetering van de waterkwaliteit in de Maas voor alle geselecteerde aandachtstoffen waarvoor een goede Q-C relatie beschikbaar is. Een verbetering van de waterkwaliteit tot onder de wettelijke norm of signaleringswaarde is voor sommige stoffen te bereiken met een hogere aanvoer (glyphosaat en AMPA); voor sommige stoffen kan het doel ook met minder aanvoer worden bereikt (amidotrizoïnezuur, diuron en metoprolol). De concentraties van EDTA zullen sterk afnemen door de aanvoer van 25 m³/s Waalwater, maar liggen dan nog steeds ver boven de signaleringswaarde uit de drinkwaterregeling. Daarentegen geldt dat de concentraties van de geneesmiddelen metoprolol en sulfamethoxazool zich in de prognoses reeds onder de (oude) signaleringswaarde bevinden zodat aanvoer van water uit de Waal voor deze stoffen niet noodzakelijk is.

6 Conclusies

Binnen het bedrijfstakonderzoek (BTO) van de Nederlandse drinkwatersector is een lijst met 29 aandachtstoffen opgesteld voor de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater (zie Tabel 1-1). Van deze stoffen overschrijden er 14 regelmatig de norm voor oppervlaktewater met de functie drinkwater (bestrijdingsmiddelen), de signaleringswaarde (geneesmiddelen en röntgencontrastmiddelen) of de streefwaarde uit het ERM memorandum (zie Tabel 2-2). Deze overschrijdingen vinden plaats op de innameplaatsen Gat van de Kerksloot (Evides) en Brakel (Dunea). Bij Brakel vinden doorgaans minder overschrijdingen plaats dan bij Keizersveer (Gat van de Kerksloot) vanwege afbraak (omzetting) van diverse stoffen in de Afdamde Maas.

De Maas kent jaarlijks een lage-afvoerperiode, waarbij de waterkwaliteit fors kan afnemen (minder verdunning). Voor de Rijn geldt dit ook, maar in mindere mate, omdat de afvoer van de Rijn bij droogte minder ver wegzakt dan die van de Maas. Aanvoer van Rijnwater via de Waal naar de Maas leidt dan ook tot een verbetering van de waterkwaliteit, maar niet voor alle stoffen (Tabel 2-2). Aanvoer van Waalwater naar de Maas tijdens een lage-afvoer periode is gunstig voor de waterkwaliteit met betrekking tot bestrijdingsmiddelen, zoals glyfosaat en zijn metaboliet AMPA (grote probleemstof in de Maas), ook voor sommige geneesmiddelen (metoprolol, sotalol). Voor andere geneesmiddelen (o.a. carbamazepine, metformine) zijn de concentraties in Maas en Rijn vergelijkbaar en zal bijmenging van Waalwater dus geen effect hebben op de concentraties bij de innamepunten in de Maas. Voor röntgencontrastmiddelen zal bijmenging van Waalwater leiden tot enige verslechtering van de waterkwaliteit op de innamepunten, maar deze stoffen zijn gezondheidskundig minder relevant.

De verschillen in waterkwaliteit tussen de Rijn en de Maas zijn in het huidige klimaat het grootst bij extreem lage afvoeren, dat wil zeggen het hydrologische jaar 1976. Bij een toekomstig klimaat zijn de verschillen in waterkwaliteit het grootst onder het W⁺ scenario, en de verschillen zijn maximaal bij de combinatie van het W⁺ scenario en een extreem droog jaar (1976). Bij deze variant is de waterkwaliteit van de Maas voor zeer veel stoffen slechter dan die van de Rijn, ook voor stoffen die thans in hogere concentraties voorkomen in de Rijn (zoals amidotrizoïnezuur). **In het algemeen geldt: hoe droger het hydrologische scenario, hoe groter het verschil in waterkwaliteit tussen de Maas en de Rijn.** Dat betekent dat de aanvoer van Waalwater naar de Maas een steeds gunstiger effect op de waterkwaliteit zal hebben naarmate het droger wordt.

Het effect van aanvoer van 25 m³/s Waalwater op de waterkwaliteit bij de innamepunten langs de Maas is het grootst bij het W⁺ scenario (voor alle jaren) of een extreem droog hydrologisch jaar (1976). Met andere woorden: onder huidig klimaat is de inlaat van Waalwater zinvol bij een zeer droog hydrologisch jaar. Bij toekomstig klimaat is inlaat van Waalwater zinvol onder het W⁺ scenario. Voor glyfosaat en AMPA is aanvoer van Waalwater nodig in elk klimaatscenario om de concentraties te verlagen tot de wettelijke norm van 0,1 µg/L resp. 1 µg/L. De benodigde aanvoer varieert van ca. 20 m³/s voor glyfosaat (max. 50 m³/s) tot 200 m³/s voor AMPA (max. 450 m³/s). De benodigde aanvoer hangt sterk af van het klimaatscenario: hoe droger, hoe meer Waalwater benodigd is. Hieruit mag worden geconcludeerd dat bijmenging van Waalwater zeker helpt om de waterkwaliteit op de innamepunten langs de Maas te verbeteren, maar onvoldoende zal zijn om alle problemen met de waterkwaliteit tijdens (extreme) droogte op te lossen. Met name AMPA is een hardnekkig probleem voor de waterkwaliteit op de innamepunten langs de Maas.

Wat in de discussie over de aanvoer van Waalwater niet vergeten mag worden, is dat het zoutgehalte van Rijnwater hoger is dan dat van Maaswater. Dit verschil is echter minder groot dan het in het verleden is geweest. Op dit moment bedraagt het gemiddelde verschil in zoutgehalte tussen de Rijn (Lobith) en de Maas (Keizersveer) tijdens een lage afvoer periode ca. 10 mg/l voor natrium en ca. 30 mg/l voor chloride. Bij extreem lage afvoeren kan dit verschil oplopen tot 30 mg/l voor natrium en 70 mg/l voor chloride. Dit verschil kan relevant zijn voor de waterlevering aan de (glas)tuinbouw door Evides.

Voor Dunea is de aanvoer van Rijnwater via de oostelijke route (via de Waal) te prefereren boven de noordelijke route (via de Wilhelminasluisen). Dit heeft te maken met de locatie van het innamepunt van Dunea dat zich direct achter de Wilhelminasluisen bevindt. Bij inlaat van Rijnwater via de Wilhelminasluisen is de afstand tot aan het innamepunt gering, waardoor de effectiviteit van de het Afgedamde Maas systeem als eerste zuiveringsstap (piekafvlakking, afbraak, bezinking) veel minder prominent aanwezig is.

Er zijn verschillende opties om Waalwater af te laten naar de Maas. Afhankelijk van de gekozen optie zal er sprake zijn van gehele of gedeeltelijke menging. In het voorliggende rapport is uitgegaan van volledige menging, wat voor de Afgedamde Maas een realistisch uitgangspunt is, gelet op de verblijftijd van twee maanden. Voor het innamepunt Gat van de Kerssloot, dat zich aan de noordzijde van de Maas bevindt, zal onvolledige menging voor de meeste stoffen leiden tot een verdere verbetering van de waterkwaliteit. Immers, er zal dan verhoudingsgewijs meer Rijnwater worden aangetrokken, dat voor de meeste stoffen een betere kwaliteit heeft. Het uitgangspunt van volledige menging in deze studie kan dus als een worst case situatie worden beschouwd.

7 Referenties

- Bannink, A.D. (2004) How Dutch drinking water production is effected by the use of herbicides on pavements, pp. 173-181.
- de Snoo, G.R. and Vijver, M.G. (2012) Bestrijdingsmiddelen en waterkwaliteit. Centrum voor Milieuwetenschappen, Leiden, the Netherlands.
- Derksen, A. and ter Laak, T.L. (2013) Human pharmaceuticals in the water cycle. KWR Watercycle Research Institute, STOWA, Amersfoort, The Netherlands.
- IAWR (2013) Memorandum regarding the protection of European rivers and watercourses in order to protect the provision of drinking water. IAWR, RIWA, IAWD, AWE, AWWR.
- RIWA (2013) De kwaliteit van het Maaswater in 2012, RIWA-Maas.
- RIWA (2015) Nieuwsbrief 12. Rivierwaterbedrijven, R.V.v. (ed), Nieuwegein.
- Sjerps, R.M.A., ter Laak, T.L., Zwolsman, J.J.G. (2015) Ontwikkeling waterkwaliteit bij innamepunten van oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Ter Laak, T.L., Tolkamp, H. and Hofman, J. (2013) Geneesmiddelen in de watercyclus in Limburg. Fase 1: Voorkomen, herkomst en ernst van geneesmiddelen in het watersysteem. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- van der Aa, N.G.F.M., Kommer, G.J., van Montfoort, J.E. and Versteegh, J.F.M. (2011) Demographic projections of future pharmaceutical consumption in the Netherlands. *Water Science and Technology*, 825-832.
- van Vliet, M.T.H. and Zwolsman, J.J.G. (2007) Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Maas. *H2O* 40(9), 29-33.
- VEWIN (2014) Waterspiegel Update. Verbod chemische onkruidbestrijding per 1 januari 2016, VEWIN Vereniging van waterbedrijven in Nederland.
- Williams, M., P.L. Ong, D.B. Williams & R.S. Kookana (2009). Estimating the sorption of pharmaceuticals based on their pharmacological distribution. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28: 2572-2579.
- Yamamoto, H., Y. Nakamura, S. Moriguchi, Y. Nakamura, Y. Honda, I. Tamura, Y. Hirata, A. Hayashi & J. Sekizawa (2009). Persistence and partitioning of eight selected pharmaceuticals in the aquatic environment: Laboratory photolysis, biodegradation and sorption experiments. *Water Research* 43: 351-362.
- Ziska, L.H. (2014) Increasing minimum daily temperatures are associated with enhanced pesticide use in cultivated soybean along a latitudinal gradient in the mid-western United States. *PLoS ONE* 9(6).

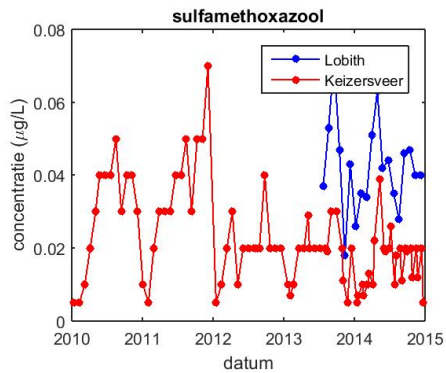
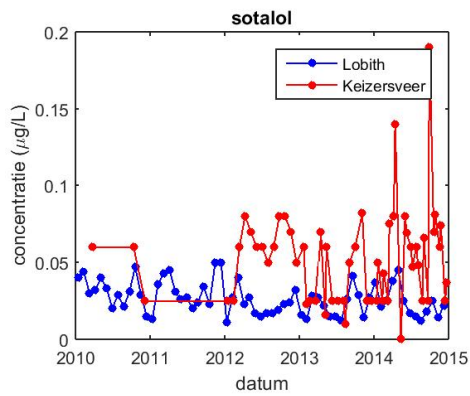
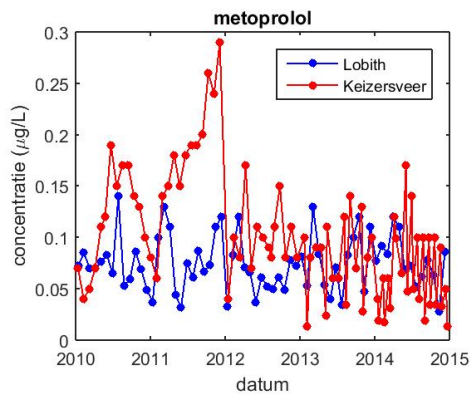
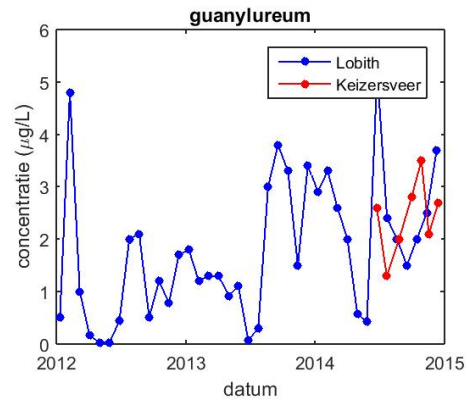
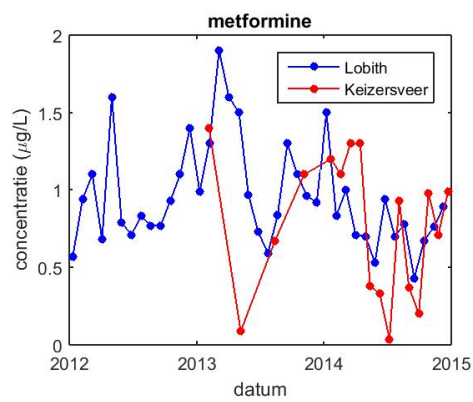
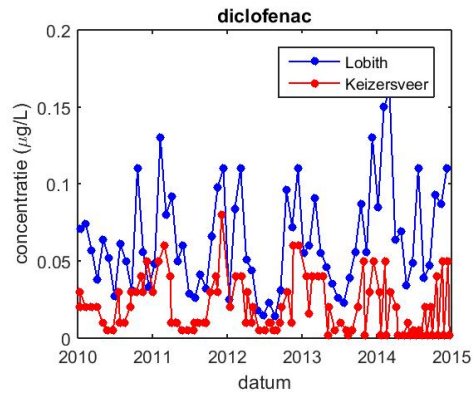
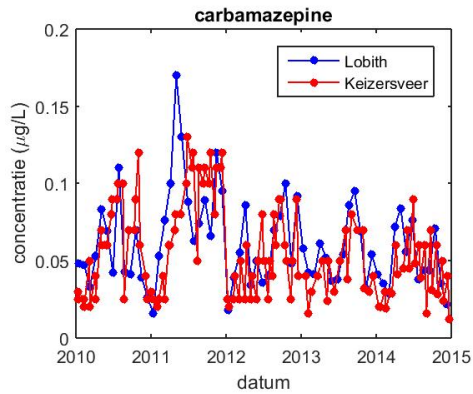
Bijlage I

Vergelijking waterkwaliteit Rijn (Lobith) en Maas (Keizersveer)

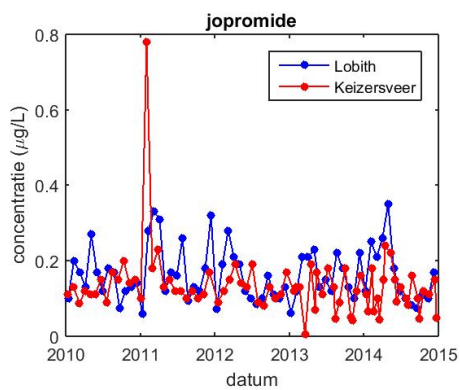
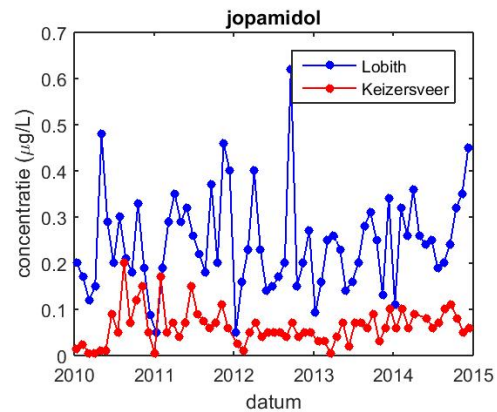
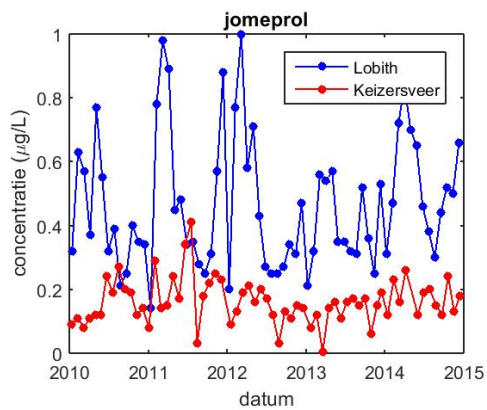
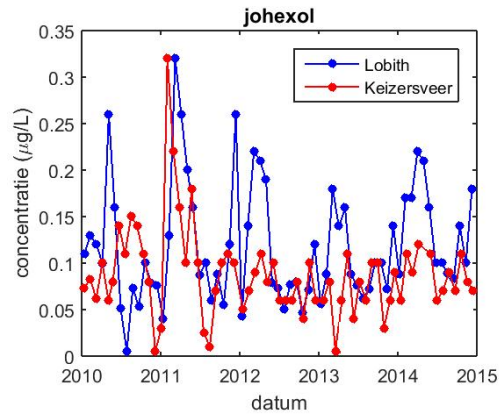
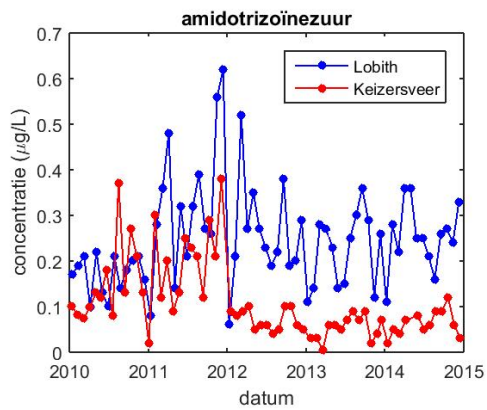
TABEL I-1. GEMIDDELDE CONCENTRATIES VAN DE AANDACHSTOFFEN OVER DE LAGE AFVOER PERIODE VAN DE MAAS (ZIE TABEL 2-1) PER JAAR EN OVER DE VOLLEDIGE PERIODE 2010-2014. LEGE VAKJES GEVEN AAN DAT ER GEEN METINGEN ZIJN UITGVOERD IN DE PERIODE. STREEPJES ZIJN METINGEN ONDER DE DETECTIELIMIET. DATA VAN RIWA.

stof	Lobith					Keizersveer					LOB 10-14	KEI 10-14
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014		
acesulfaam-K	2.20	2.49	2.10	1.43	1.57						1.96	
amidotrizoïnezuur	0.16	0.31	0.30	0.30	0.29	0.13	0.19	0.08	0.08	0.07	0.27	0.11
AMPA	0.48	0.48	0.51	0.44	0.41	1.85	1.40	1.41	1.68	0.93	0.46	1.45
bromacil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
carbamazepine	0.08	0.10	0.07	0.08	0.07	0.09	0.10	0.07	0.06	0.06	0.08	0.08
DEHP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
diclofenac	0.04	0.05	0.02	0.04	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.01
diuron	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03
EDTA	3.68	6.45	4.55	5.18	5.42	8.90	22	17	19	22	5.06	18
fenazon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
glyfosaat	0.01	0.06	0.06	0.03	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06	0.07	0.05	0.07
guanylureum			1.31	2.37	2.07					2.60	1.91	2.60
isoproturon	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
johexol	0.03	0.11	0.08	0.08	0.16	0.13	0.09	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09
jomeprol	0.36	0.38	0.26	0.38	0.60	0.22	0.23	0.08	0.16	0.16	0.40	0.17
jopamidol	0.25	0.29	0.41	0.26	0.25	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	0.29	0.07
jopromide	0.15	0.15	0.13	0.17	0.22	0.12	0.12	0.11	0.11	0.17	0.16	0.12
lincomycine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MCPA	-	-	-	-	-	0.06	0.04	0.02	0.03	0.05	-	0.04
MCPP	-	-	-	-	-	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	-	0.04
metformine			0.77	0.91	0.72				0.67	0.67	0.80	0.67
MTBE	0.22	0.06	0.10	0.07	0.08	0.29	0.08	0.19	0.23	0.16	0.10	0.19
metolachloor	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	0.03
metoprolol	0.10	0.07	0.06	0.07	0.08	0.17	0.20	0.11	0.09	0.10	0.08	0.14
nicosulfuron	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pentoxifylline	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sotalol	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03			0.07	0.04	0.07	0.03	0.06
sulfamethoxazool				0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03
TBP	-	-	-	-	-	0.05	0.06	0.05	0.05	0.09	-	0.06

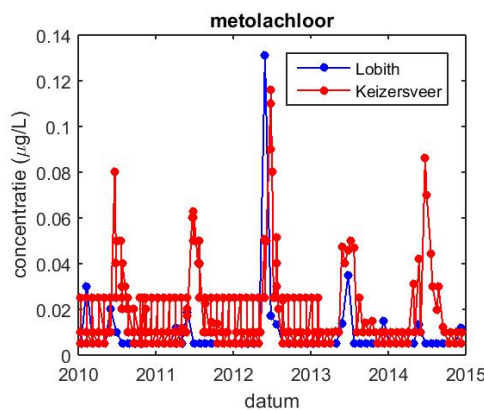
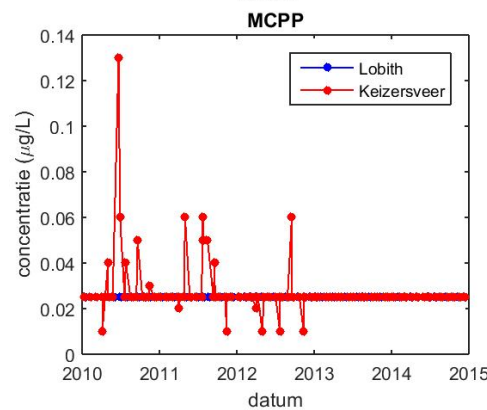
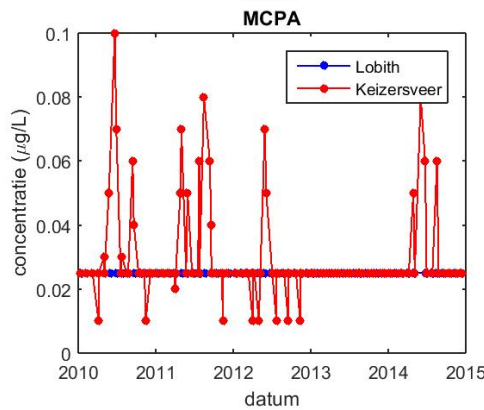
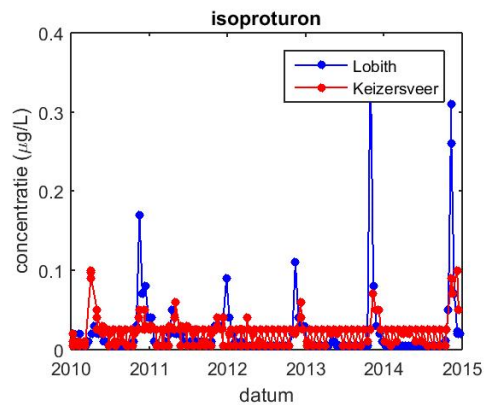
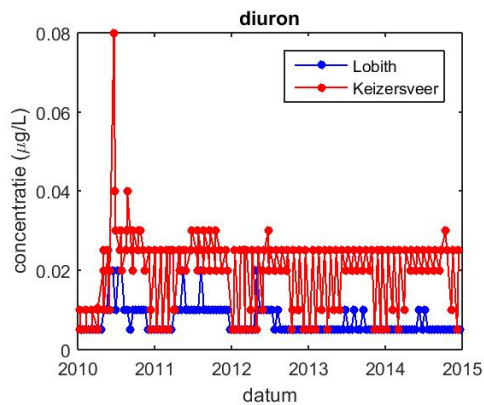
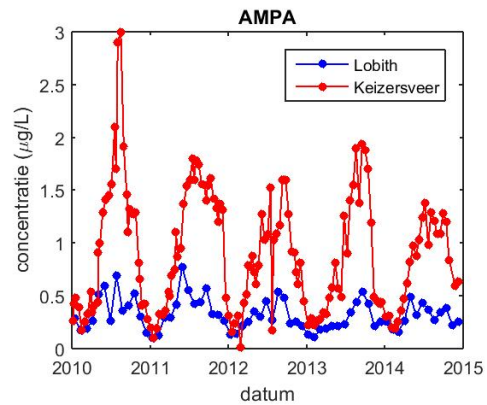
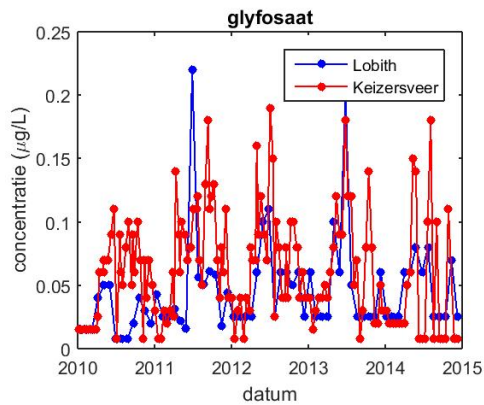
Tijdreeksen Lobith en Keizersveer 2010-2014: geneesmiddelen



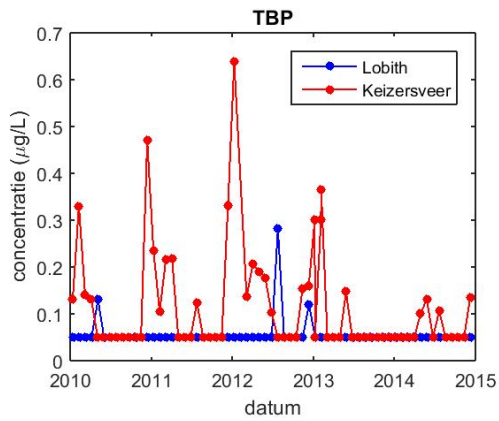
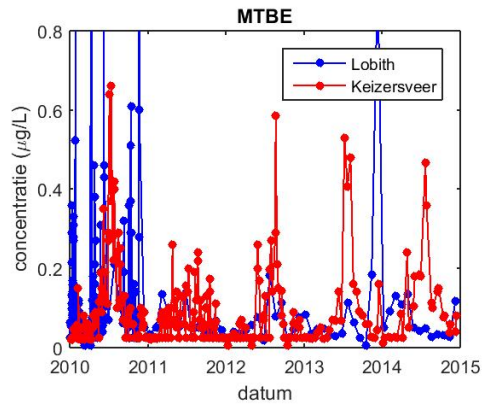
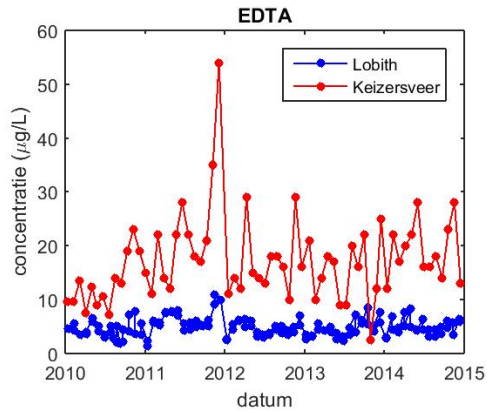
Tijdreeksen Lobith en Keizersveer 2010-2014: röntgencontrastmiddelen



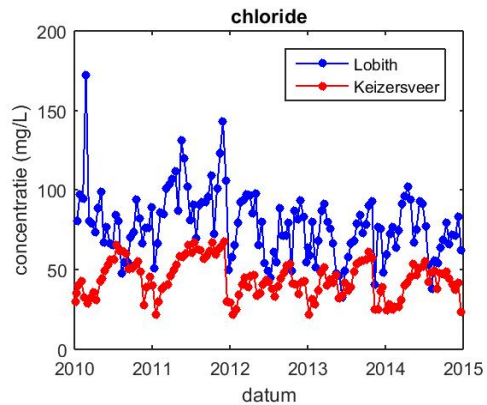
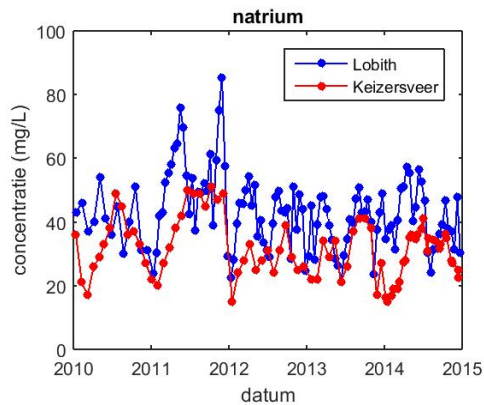
Tijdreeksen Lobith en Keizersveer 2010-2014: gewasbeschermingsmiddelen



Tijdreeksen Lobith en Keizersveer 2010-2014: industriële stoffen



Tijdreeksen Lobith en Keizersveer 2010-2014: zouten



Bijlage II

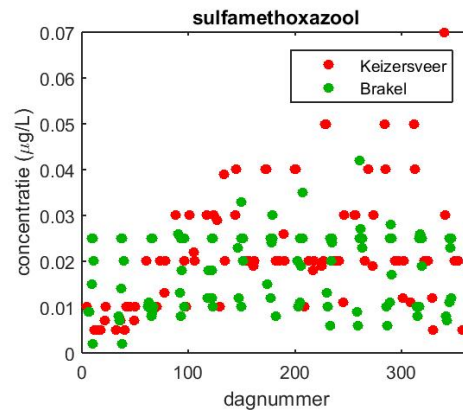
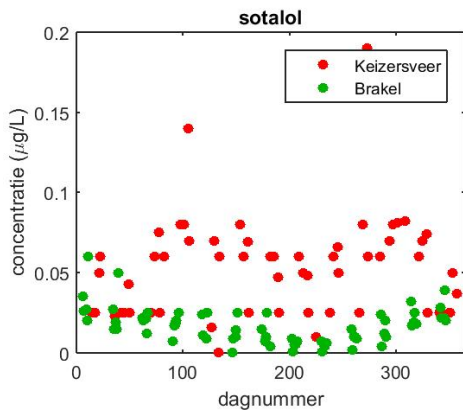
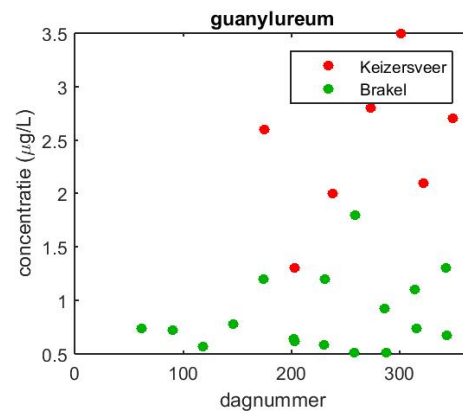
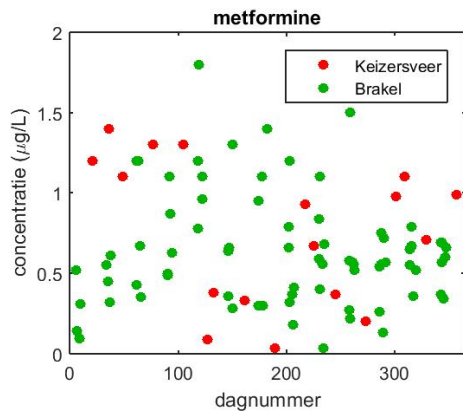
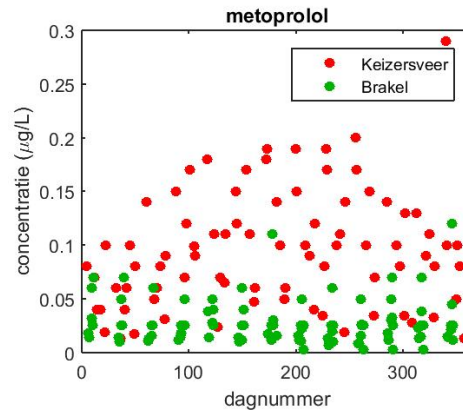
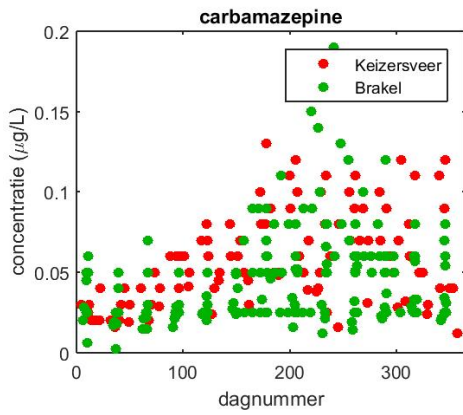
Vergelijking waterkwaliteit Keizersveer en Brakel

Tabel II.1 Halfwaardetijden, berekend uit de ratio tussen de gemiddelde zomerconcentraties (april-oktober) op de meetlocaties Keizersveer en Brakel en 60 dagen verblijftijd volgens vergelijkingen (2.1) en (2.2). In de Tabel staan de gemiddelde halfwaardetijd over de periode 2010-2014, het 95%-betrouwbaarheidsinterval en het aantal jaren met beschikbare gegevens.

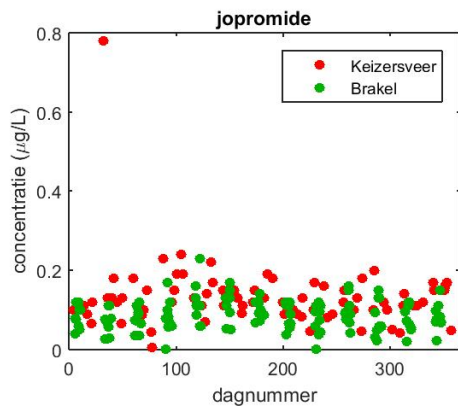
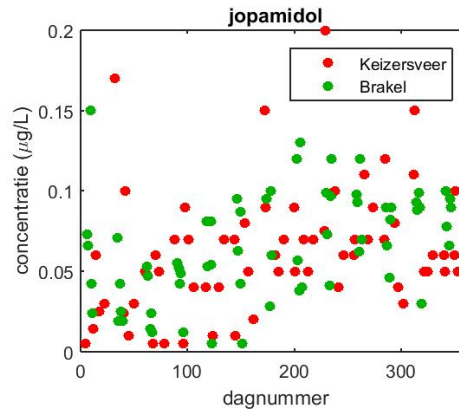
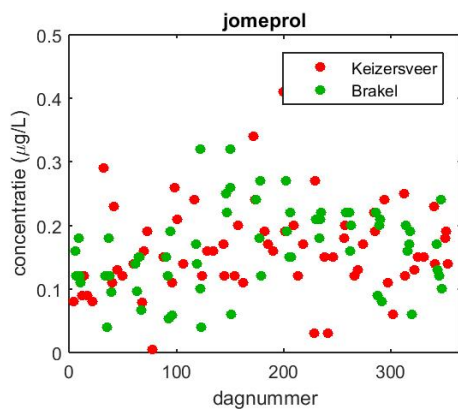
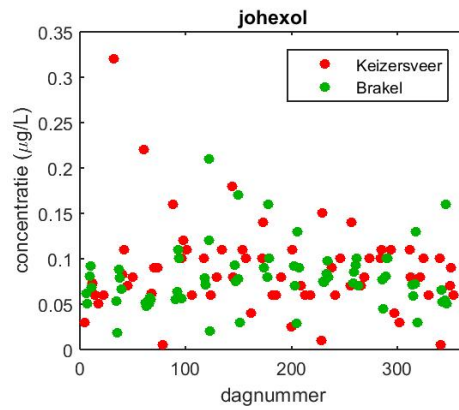
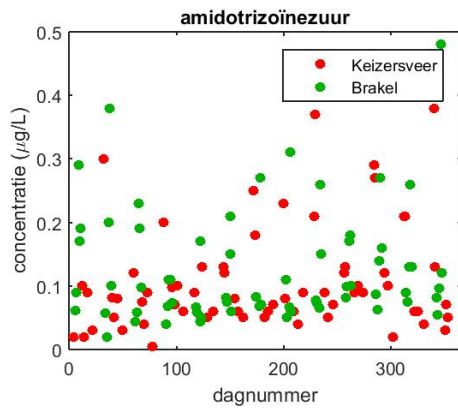
Type stof	Stof	Gem. halfwaardetijd t* (dagen)	Min 95% betrouwbaar- heidsinterval	Max 95% betrouwbaar- heidsinterval	Periode (aantal jaar)
Gewasbescher- mingsmiddelen	diuron	217	119	∞	5
	glyfosaat	46	36	66	5
	AMPA	89	68	127	5
	isoproturon ¹	106	48	∞	5
	MCPA	∞	159	∞	5
	MCPP	∞	126	∞	5
	metolachloor ¹	92	75	120	3
	nicosulfuron	∞	∞	∞	5
Geneesmiddelen	carbamazepine	80	57	132	5
	diclofenac ²	68	42	187	2
	metformine	∞	151	∞	2
	guanylureum	35			1
	metoprolol	26	23	29	5
	lincomycine	40	30	59	5
	sotalol	25	22	30	4
	sulfamethoxazool	99	65	204	5
Röntgencon- trastmiddelen	amidotrizoïnezuur	∞	120	∞	5
	johexol	∞	135	∞	5
	jomeprol	∞	175	∞	5
	jopamidol	∞	236	∞	5
	jopromide	120	77	272	5
industriële stoffen	MTBE	816	113	∞	5
	DEHP	∞	151	∞	5
	EDTA	79	59	119	5
	TBP	∞	141	∞	5

¹ Voor deze stoffen zijn enkel de waarden boven de detectielimiet gebruikt. ² Voor diclofenac zijn alleen gegevens gebruikt over 2013-2014 waarin de detectielimiet werd verlaagd van 0,05 naar 0,02 µg/L.

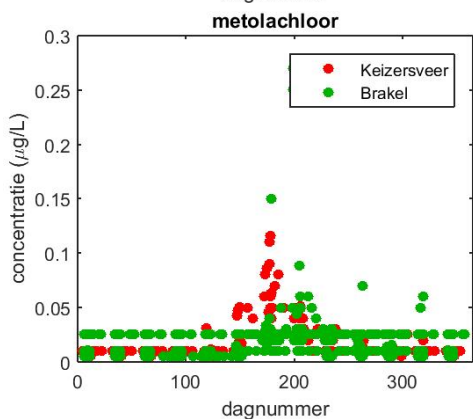
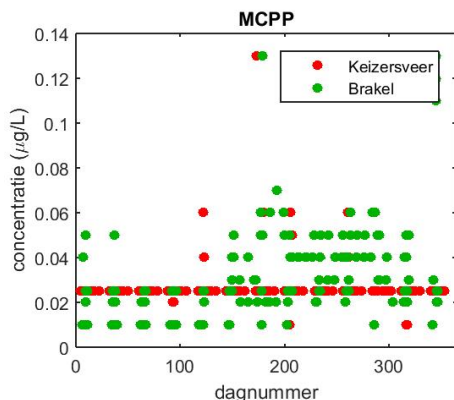
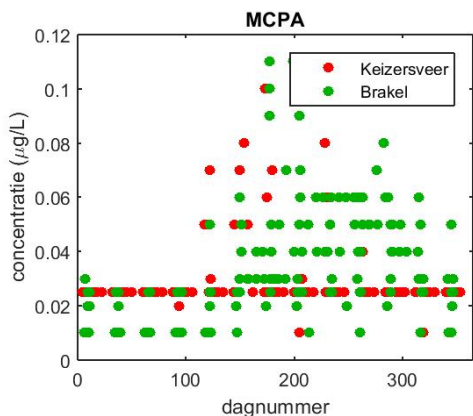
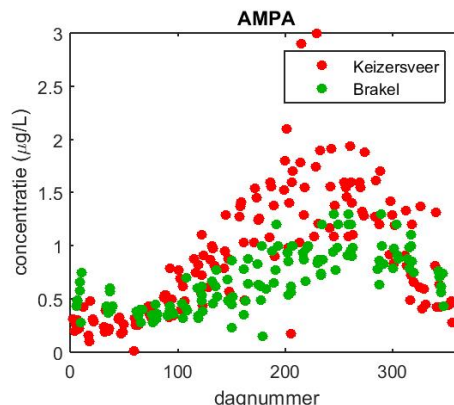
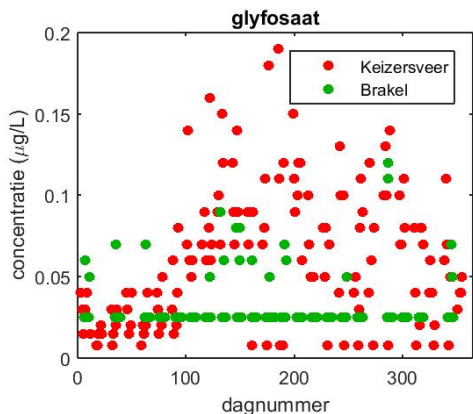
Tijdreeksen Keizersveer en Brakel 2010-2014: Geneesmiddelen



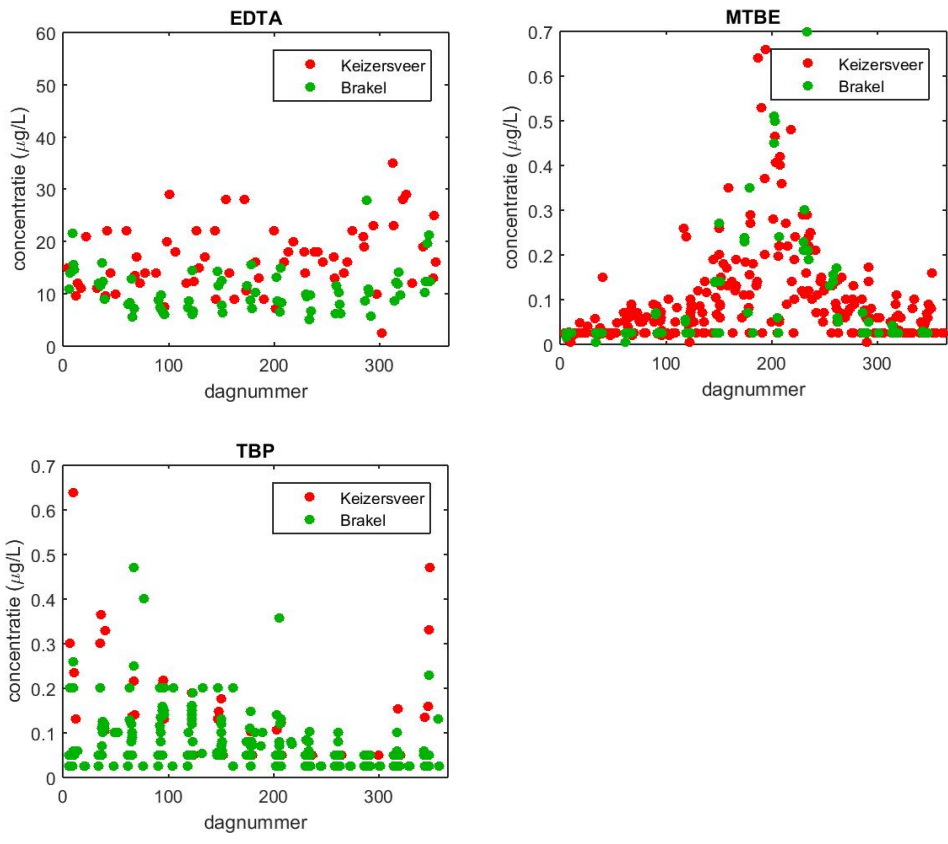
Tijdreeksen Keizersveer en Brakel 2010-2014: Röntgencontrastmiddelen



Tijdreeksen Keizersveer en Brakel 2010-2014: Gewasbeschermingsmiddelen



Tijdreeksen Keizersveer en Brakel 2010-2014: Industriële stoffen

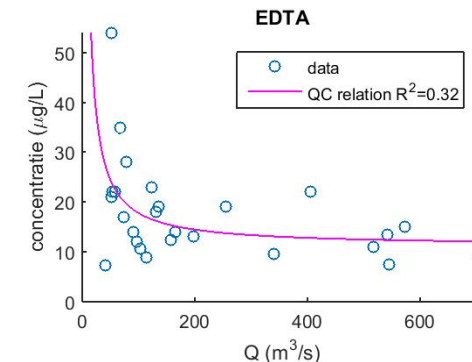
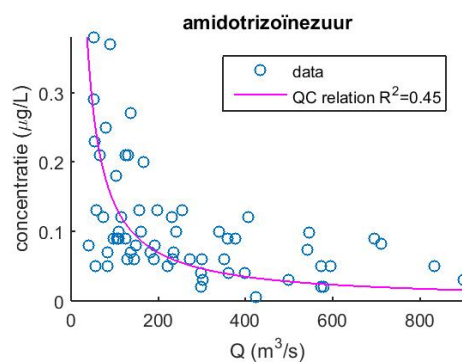
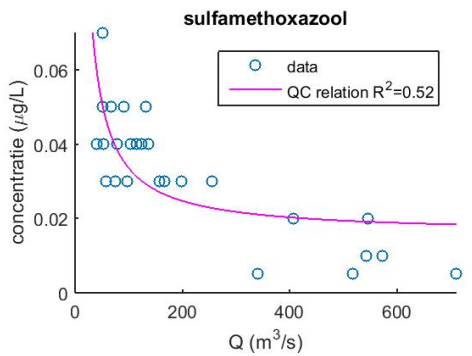
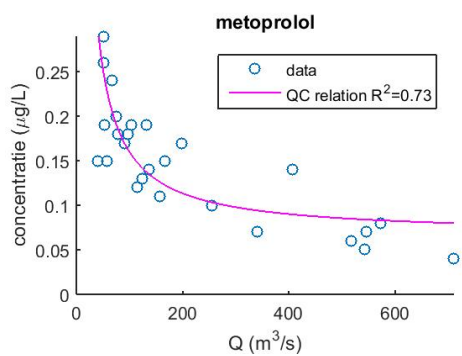
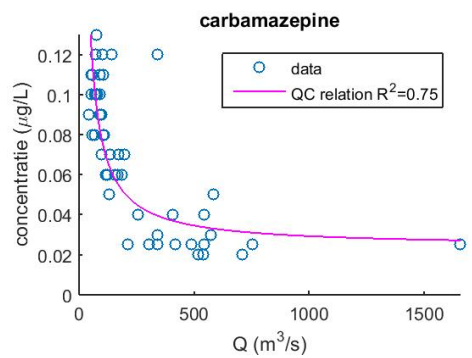
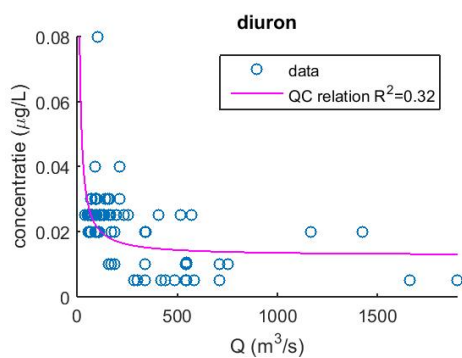
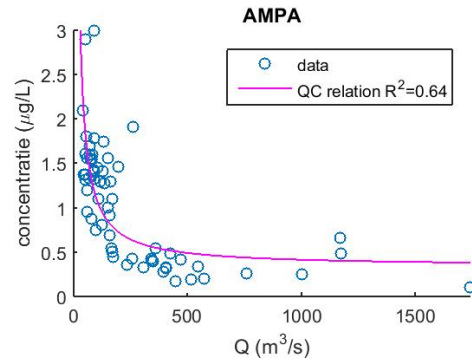
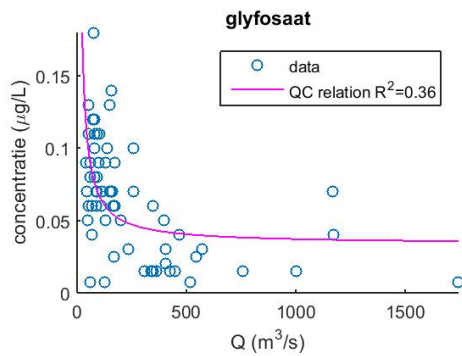


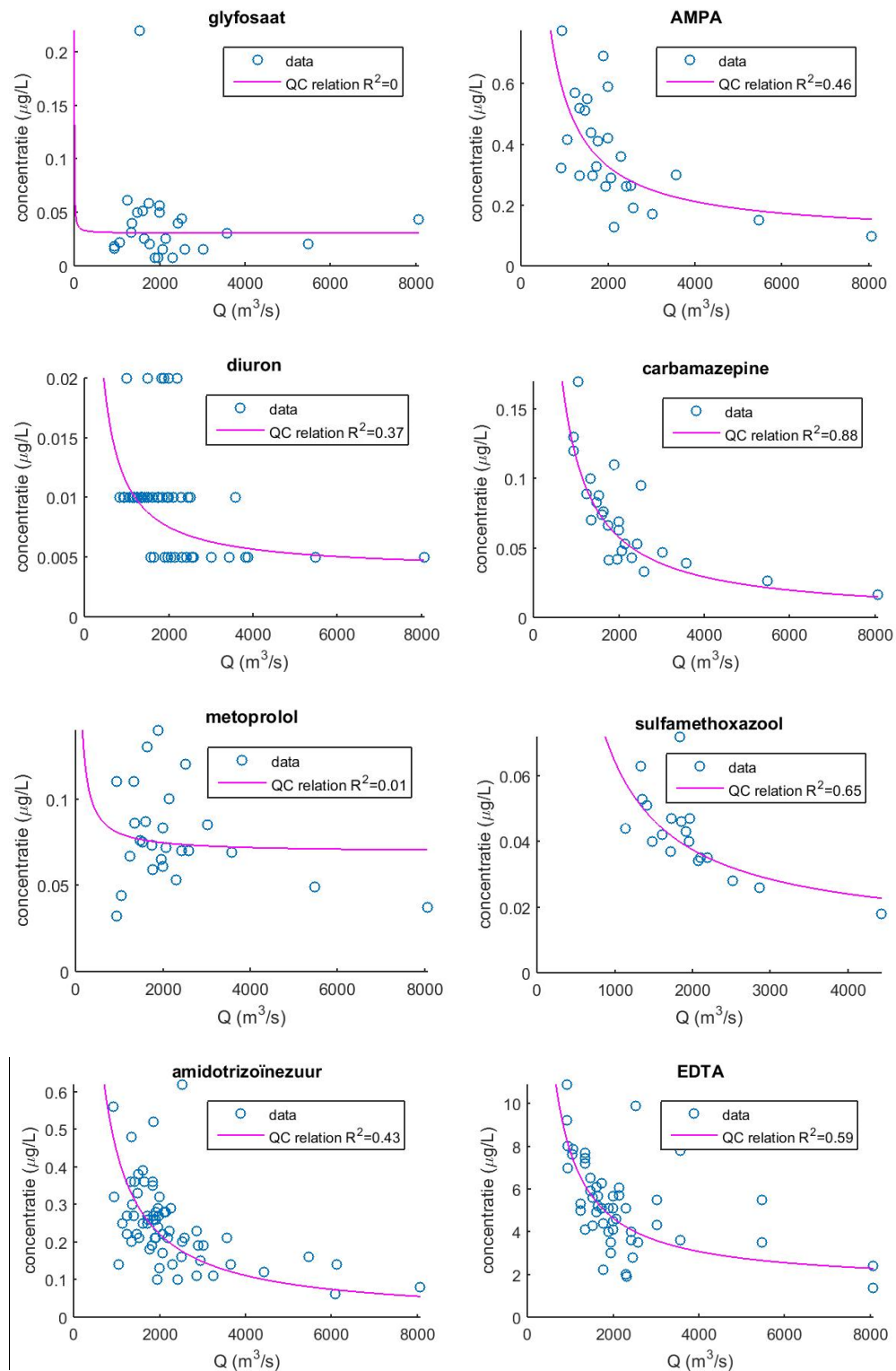
Bijlage III

Q-C relaties in de Rijn en de Maas
(2010-2011), volgens $C = a/Q + b$.

	Lobith (2010-2011)					Keizersveer/Megen (2010-2011)				
	aantal metingen	aantal uitbijters	a	b	R ²	aantal metingen	aantal uitbijters	a	b	R ²
amidotrizoïnezuur	26	1	283	0.07	0.33	26	0	6	0.11	0.22
AMPA	26	1	463	0.10	0.46	63	2	76	0.34	0.64
carbamazepine	26	3	114	0.00	0.88	50	3	5	0.02	0.75
diclofenac	26	1	25	0.04	0.06	36	2	-1	0.03	0.09
diuron	52	5	7	0.00	0.37	81	2	1	0.01	0.32
EDTA	51	2	6268	1.50	0.59	26	2	663	11	0.32
glyfosaat	26	1	1	0.03	0.00	63	3	3	0.03	0.36
isoproturon	52	2	-4	0.02	0.00	80	3	0	0.02	0.00
johexol	26	1	90	0.06	0.10	26	1	1	0.09	0.01
jomeprol	26	0	171	0.37	0.03	26	0	7	0.12	0.28
jopamidol	26	2	334	0.05	0.73	26	1	2	0.05	0.06
jopromide	26	0	30	0.16	0.01	26	1	-1	0.14	0.02
MCPA	26 ¹	-	-	-	-	46	2	0	0.03	0.03
MCPP	26 ¹	-	-	-	-	46	1	0	0.03	0.01
MTBE	250	4	93	0.06	0.02	175	9	4	0.04	0.12
metolachloor	26	2	6	0.00	0.19	114	4	1	0.01	0.17
metoprolol	26	1	11	0.07	0.01	26	1	9	0.07	0.73
sotalol	26	0	17	0.02	0.15	3	0	2	0.04	0.05
sulfamethoxazool	19	1	54	0.01	0.65	26	0	2	0.02	0.52
TBP	26 ¹	-	-	-	-	26	1	-9	0.17	0.27

¹Stoffen niet aangetroffen boven de detectielimiet.

Meest significante Q-C relaties bij Keizersveer volgens $c=a/Q+b$ (data 2010-2011).

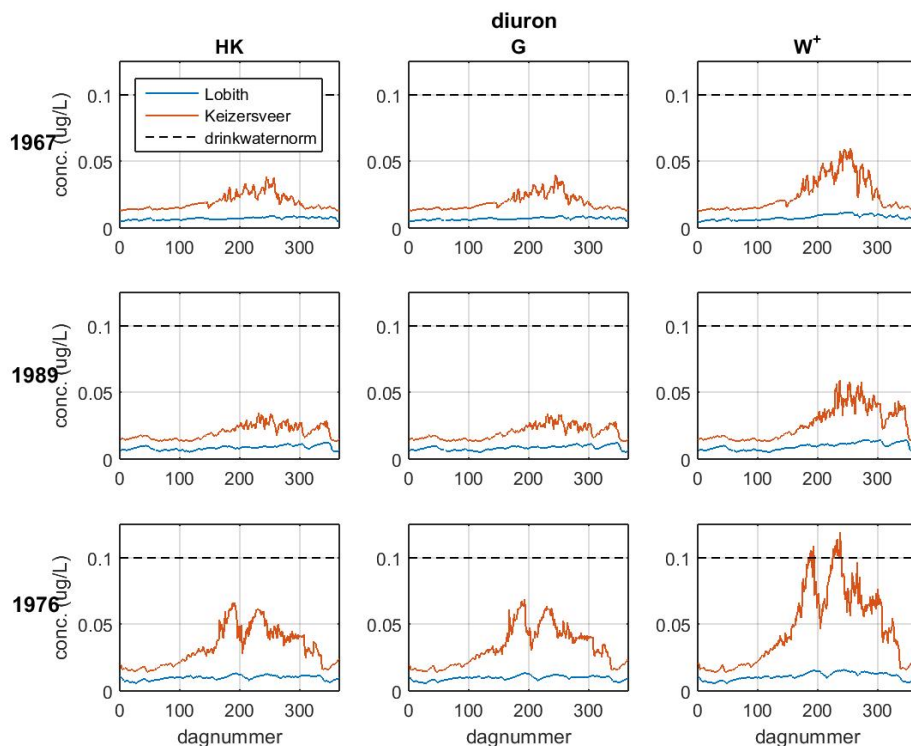
Meest significante Q-C relaties bij Lobith volgens $c=a/Q+b$ (data 2010-2011).

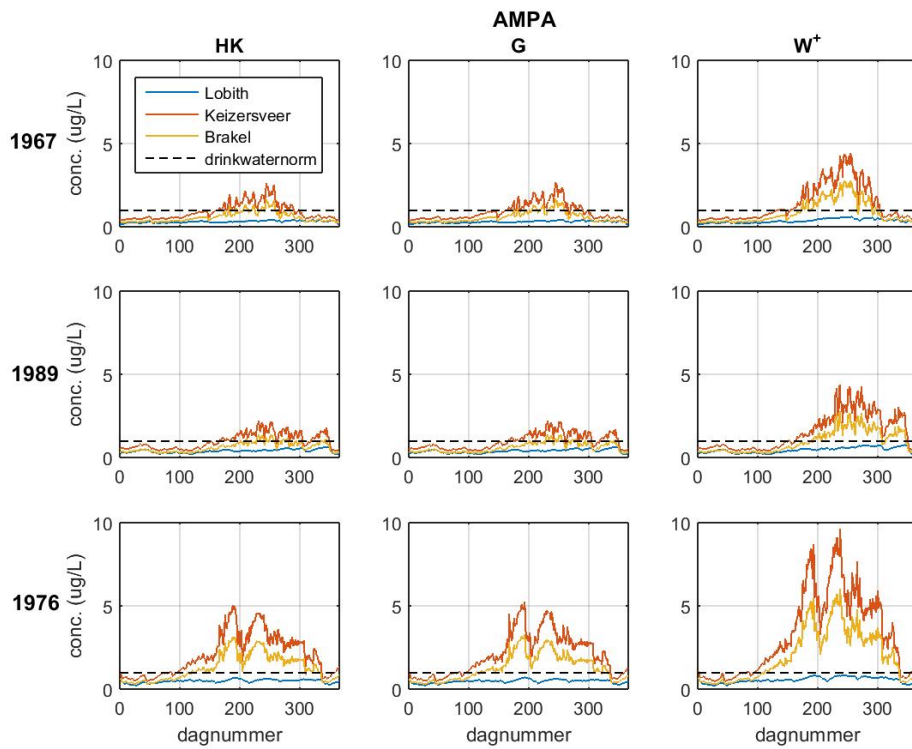
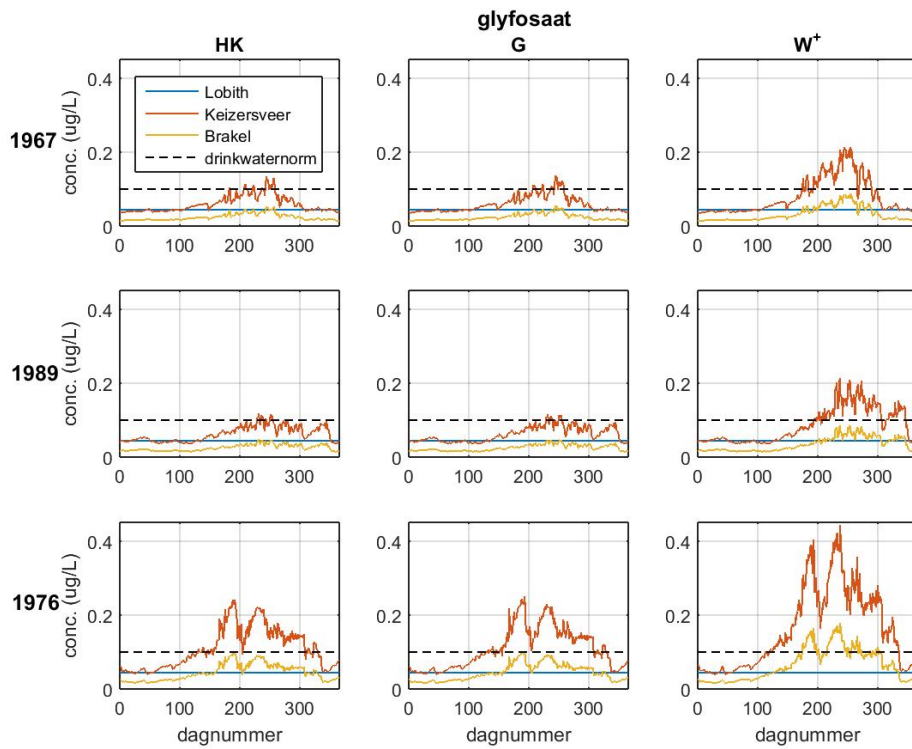
Bijlage IV

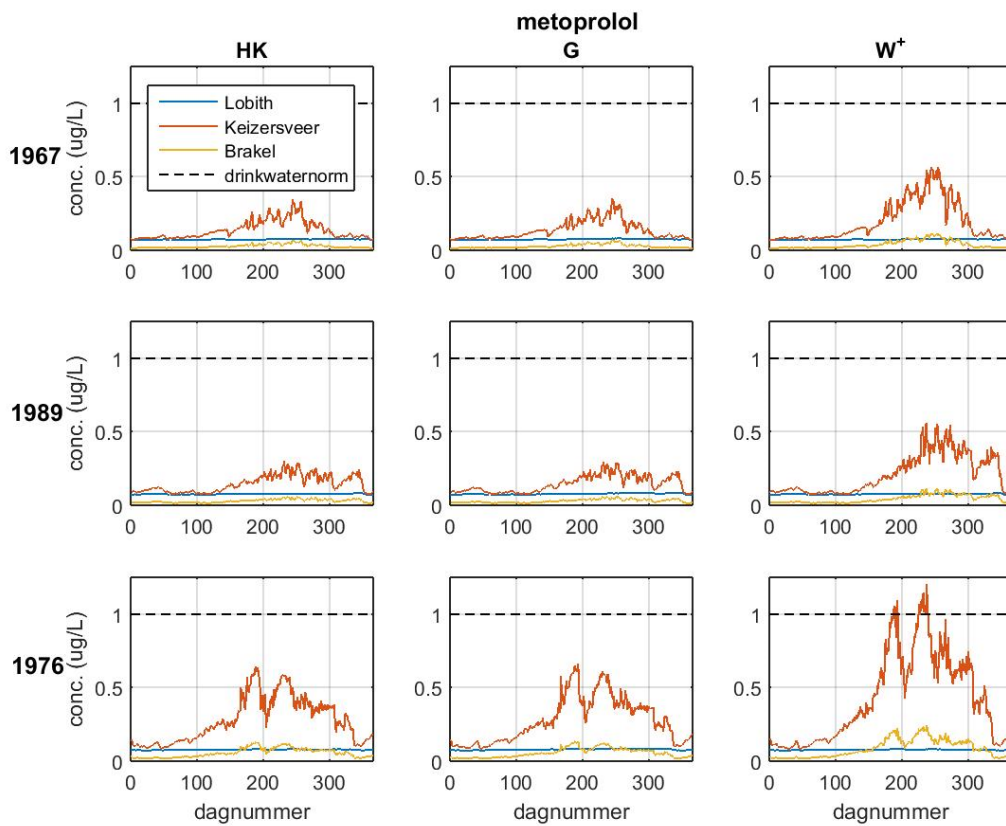
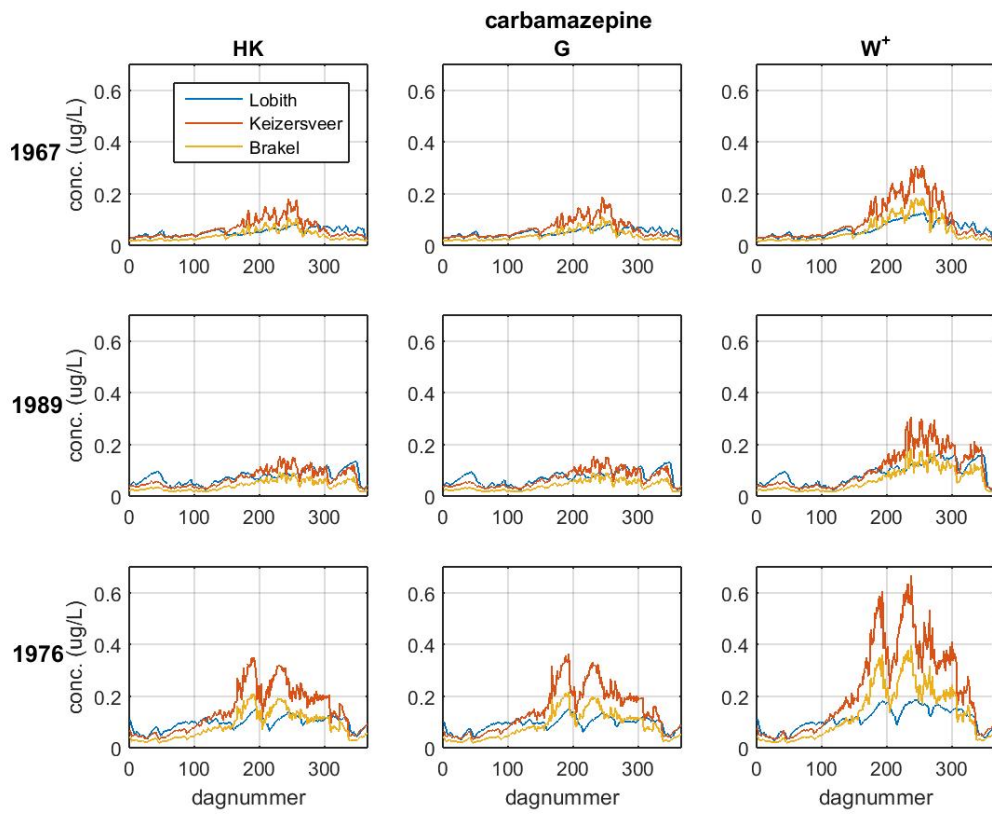
Waterkwaliteitsontwikkeling bij Lobith, Keizersveer en Brakel bij huidig klimaat en het G en W⁺ scenario (zichtjaar 2050)

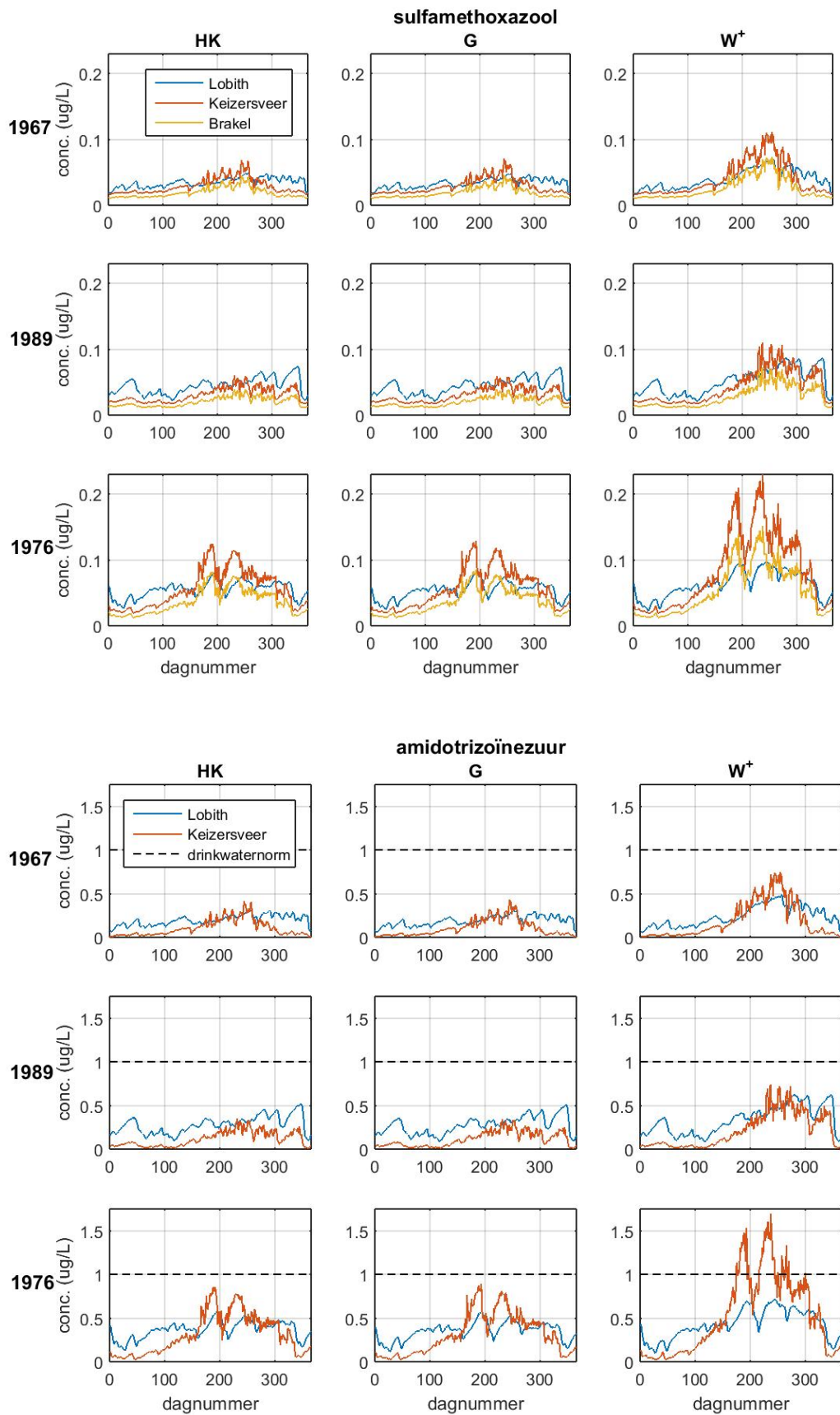
Hieronder staan de prognoses van de waterkwaliteit voor de geselecteerde aandachtstoffen op de locaties Lobith, Keizersveer en Brakel. De figuren geven prognoses weer gebaseerd op de Q-C relaties (zie bijlage III) en de negen beschikbare afvoerreeksen. De afvoerreeksen zijn een combinatie van drie hydrologische jaren (1967 = gemiddeld, 1989 = droog, 1976 = zeer droog jaar) en de KNMI-2006 klimaatscenario's huidig klimaat (HK), gematigde (G) en snelle (W⁺) opwarming (zichtjaar 2050). De negen afvoerreeksen staan in Figuur 3-4.

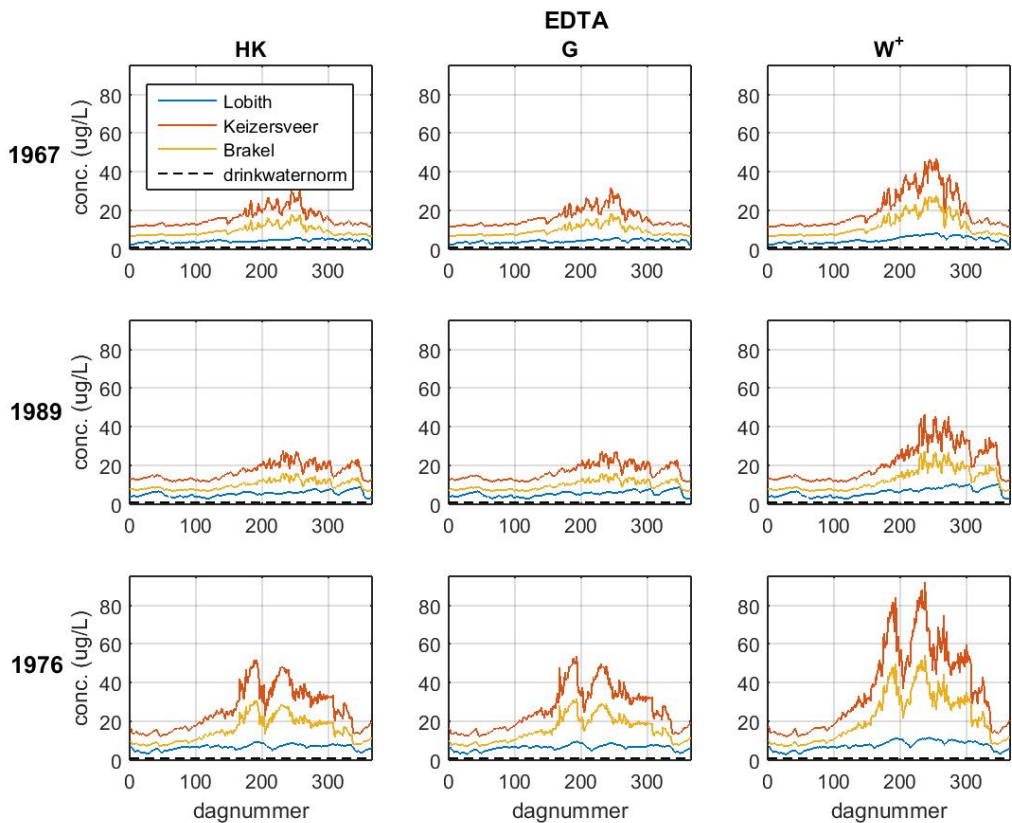
Binnen elke plot staan de prognoses van de waterkwaliteit voor de drie locaties: Lobith, Keizersveer en Brakel. De concentraties op de locatie Keizersveer zijn representatief voor het innamepunt Gat van de Kerksloot. Voor het innamepunt Brakel zijn de concentraties in de prognose van Keizersveer aangepast aan het effect van omzetting in de Afgedamde Maas (zie Tabel 2-3). NB alle prognoses gaan uit van een stand-still scenario voor de emissies!











Bijlage V

Waterkwaliteitsontwikkeling bij aanvoer Waalwater in huidige situatie

Tabel V.1 Gemiddelde concentratie per jaar bij Keizersveer tijdens de lage afvoer periode (zie Tabel 2-1) na de aanvoer van 25 m³/s Waalwater berekend met vergelijking 5.1.

stof	Gemiddelde concentratie na aanvoer 25 m ³ /s Waalwater				
	2010	2011	2012	2013	2014
MCPA	0.05	0.04	0.02	0.03	0.04
amidotrizoïnezuur	0.14	0.22	0.12	0.15	0.12
AMPA	1.43	1.16	1.24	1.36	0.83
carbamazepine	0.09	0.10	0.07	0.07	0.06
DEHP	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
diclofenac	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
diuron	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
EDTA	7.34	18.01	14.24	15.09	18.16
glyfosaat	0.05	0.09	0.06	0.05	0.07
guanylureum	-	-	-	-	2.42
isoproturon	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
johexol	0.10	0.09	0.07	0.08	0.10
jomeprol	0.26	0.27	0.12	0.23	0.26
jopamidol	0.12	0.13	0.13	0.13	0.11
jopromide	0.13	0.13	0.11	0.13	0.18
lincomycine	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MCCP	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03
metformine	-	-	-	0.74	0.68
MTBE	0.27	0.08	0.17	0.19	0.14
metolachloor	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03
metoprolol	0.15	0.17	0.10	0.09	0.10
pentoxifylline	0.01	0.01	0.01	0.01	-
sotalol	0.02	0.03	0.06	0.03	0.06
sulfamethoxazool	-	-	-	0.03	0.03
TBP	0.05	0.06	0.05	0.05	0.08

Tabel V.2 Gemiddelde concentratie tijdens de lage afvoer periode van de Maas over 2010-2014 (zie Tabel 2-1) bij Lobith en Keizersveer en bij Keizersveer na aanvoer van 25 m³/s Waalwater berekend volgens vergelijking 5.1.

stof	Gemiddelde concentratie tijdens de lage afvoer periode			
	Lobith	Keizersveer	Keizersveer, na aanvoer 25 m ³ /s Waalwater	Percentage toe- of afname gemiddelde concentratie
sotalol	0.03	0.06	0.04	-29%
metolachloor	0.01	0.03	0.02	-20%
EDTA	5.06	17.82	14.57	-18%
AMPA	0.46	1.45	1.20	-17%
diuron	0.01	0.03	0.02	-16%
isoproturon	0.01	0.02	0.01	-13%
MTBE	0.10	0.19	0.17	-11%
metoprolol	0.08	0.14	0.12	-11%
MCPA	0.03	0.04	0.03	-10%
glyfosaat	0.05	0.07	0.06	-10%
MCPP	0.03	0.04	0.03	-9%
guanylureum	1.91	2.60	2.42	-7%
TBP	0.05	0.06	0.06	-4%
johexol	0.09	0.09	0.09	-2%
DEHP	0.50	0.50	0.50	0%
carbamazepine	0.08	0.08	0.08	1%
metformine	0.80	0.67	0.71	6%
jopromide	0.16	0.12	0.13	8%
jomeprol	0.40	0.17	0.23	34%
amidotrizoïnezuur	0.27	0.11	0.15	37%
diclofenac	0.04	0.01	0.02	73%
jopamidol	0.29	0.07	0.13	80%
sulfamethoxazool	0.05	0.02	0.03	127%

Tabel V.3 Benodigde aanvoer van Waalwater tot om de gemiddelde AMPA concentratie bij Keizersveer op de signaleringswaarde van 1 µg/L te krijgen tijdens de lage afvoer periode.

AMPA	Benodigde aanvoer van Waalwater (m ³ /s)			
	2010	2011	2012	2013
AMPA	91.5	53.5	87.3	87.0

Bijlage VI

Aantal dagen met een normoverschrijding in de prognoses

Tabel VI.1. Aantal dagen met overschrijdingen van de norm of signaleringswaarde bij Lobith, Keizersveer en Brakel in zichtjaar 2050 bij huidig klimaat (HK) en het G en W⁺ scenario. De laatste kolommen geven het effect aan van de aanvoer van 25 m³/s Waalwater.

stof	Norm/ signaal- waarde	jaar	Lobith			Keizersveer			Brakel			Keizersveer na aanvoer 25 m ³ /s Waalwater		
			HK	G	W ⁺	HK	G	W ⁺	HK	G	W ⁺	HK	G	W ⁺
glyfosaat	0.1	1967	0	0	0	25	28	104	0	0	0	0	0	52
		1989	0	0	0	15	16	139	0	0	0	0	0	48
		1976	0	0	0	178	181	217	0	1	82	90	89	167
AMPA	1	1967	0	0	0	119	117	163	40	46	117	92	90	137
		1989	0	0	0	164	163	190	43	39	151	136	132	185
		1976	0	0	0	256	252	259	211	209	223	240	239	241
diuron	0.1	1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1976	0	0	0	0	0	18	0	0	18	0	0	0
carbamaze- pine	1	1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
metoprolol	1	1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1976	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
sulfametho- xazool	1	1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
amidotrizo- ïnezuur	1	1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1976	0	0	0	0	0	59	0	0	59	0	0	0
EDTA	1	1967	365	365	365	365	365	365	365	365	365	364	364	364
		1989	365	365	365	365	365	365	365	365	365	364	364	364
		1976	366	366	366	365	365	365	365	365	365	366	366	366

Bijlage VII

Effect van aanvoer 25 m³/s Waalwater

Onderstaande figuren geven naast de prognoses op de locaties Lobith en Keizersveer ook het effect op de waterkwaliteit op locatie Keizersveer bij een aanvoer van 25 m³/s Waalwater (aangeduid met aanvoerscenario).

