



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

**Drinkwaterbereiding uit
oppervlaktewater: verkennende
analyse herkomst vier
geneesmiddelen**

RIVM rapport 2014-0059

N.G.F.M. van der Aa et al.



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

Drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater: verkennende analyse herkomst vier geneesmiddelen

Carbamazepine, metoprolol, metformine, amidotrizoïnezuur

RIVM Rapport 2014-0059
N.G.F.M. van der Aa et al.

Colofon

© RIVM 2014

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

N.G.F.M. van der Aa, RIVM
C.T.A. Moermond, RIVM
E. Meijers, Deltares
C.I. Bak-Eijsberg, Deltares

Contact:
Monique van der Aa
M&V/DMG
Monique.van.der.aa@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), in het kader van project M/270004 Drinkwater en Europa



Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater: verkennende analyse herkomst vier geneesmiddelen

Carbamazepine, metoprolol, metformine, amidotrizoïnezuur

Restanten van humane geneesmiddelen komen voornamelijk via gezuiverd rioolwater in het oppervlaktewater terecht. Aangezien oppervlaktewater wordt gebruikt voor de drinkwaterproductie, is het van belang dat dit water zo min mogelijk verontreinigingen bevat. Daarom is met een rekenmodel onderzocht in hoeverre de waterkwaliteit bij de innamepunten voor de drinkwaterproductie wordt beïnvloed door restanten uit Nederlands rioolwater, dan wel door de aanvoer uit het buitenland via de Rijn en de Maas.

Het onderzoek is uitgevoerd door het RIVM samen met kennisinstituut Deltares en richt zich op vier geneesmiddelen. Deze middelen worden door de drinkwaterbedrijven als probleemstoffen beschouwd. Er bestaan nog geen wettelijke normen voor. Het gaat om metformine, een medicijn tegen diabetes type 2, carbamazepine, een anti-epilepticum, metoprolol, een bloeddrukverlager en amidotrizoïnezuur, een röntgencontrastmiddel.

De bijdragen vanuit het buitenland en Nederland blijken sterk te verschillen per stof, per rivier en per innamepunt. Ook is de hoeveelheid water die door de rivieren wordt aangevoerd van invloed. Bij de innamepunten langs de Maas zijn zowel de buitenlandse aanvoer als emissies vanuit Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) van belang voor de waterkwaliteit. Met name in droge perioden is de invloed van gezuiverd rioolwater vanuit Nederland groter. Bij de meeste innamepunten langs de Rijn is de buitenlandse aanvoer via de Rijn belangrijker, zelfs in droge perioden. Een uitzondering vormt metoprolol, waarvoor de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's het grootst is. Dit komt doordat dit middel in Nederland meer wordt gebruikt dan in het buitenland.

Op basis van de bevindingen kan worden bepaald welke maatregelen effectief zijn om de concentraties van deze geneesmiddelen bij de innamepunten voor drinkwater te verlagen. Zowel bij de Rijn als de Maas zal de waterkwaliteit verbeteren als de emissies in het buitenland dalen. Als emissies vanuit Nederlandse rwzi's afnemen, heeft dat een groter effect bij de innamepunten langs de Maas dan langs de Rijn, vooral stroomafwaarts.

De bevindingen zijn ondermeer relevant voor de strategie die de Europese Commissie momenteel ontwikkelt met betrekking tot de aanpak van waterverontreiniging door restanten van geneesmiddelen.

De conclusies zijn gebaseerd op een landelijk model met daarbij passende schematisatie. Lokaal kan het beeld anders zijn, evenals bij kleinere wateren in Nederland die niet zijn meegenomen in deze studie.

Kernwoorden:

Geneesmiddelen, innamepunten voor drinkwaterproductie, Rijn, Maas, rioolwaterzuiveringsinstallatie

Abstract

Production of drinking water from surface water: analysis of the origin of four pharmaceuticals

Carbamazepin, metoprolol, metformin, amidotrizoïnic acid

Degradation products of human pharmaceuticals predominantly reach the surfacewater through treated sewage water effluents. Because surface water is abstracted for the production of drinking water, it is important that this water contains as little contaminants as possible. A mathematical model was used to investigate if the water at these abstraction points was contaminated by degradation products of pharmaceuticals from either Dutch sewage water treatment plants, or from the upstream countries along the Rhine and Meuse river basins.

The research was carried out by RIVM in cooperation with Deltares and focusses on four pharmaceuticals. It concerns carbamazepine (epilepsy), metoprolol (heart failure) metformin (diabetes) and amidotrizoic acid (an X-ray contrast medium). During the past years, these pharmaceuticals have been found in surface water in the Netherlands. They are considered as emerging contaminants by drinking water companies. They were included in the so-called 'watchlist' of substances which can negatively affect water quality. So far, there are no legal water quality standards for these substances.

The contribution from upstream countries versus Dutch sewage water treatment plants appears to be different for each of the individual pharmaceuticals. It also appears to be different for the river Meuse compared to the Rhine, and different for each abstraction point. Also the amount of water flowing through these rivers is important. For the intake points along the Meuse, both contribution from upstream countries and emissions from Dutch sewage water treatment plants are important for the water quality. During dry periods with low river discharges, the influence of Dutch sewage water treatment plants is greater. At most abstraction points along the river Rhine, the contribution from upstream countries is more important, even during dry periods. The only exception is metoprolol for which the contribution from Dutch sewage water treatment plants is more important. This is due to the fact that this pharmaceutical has a relatively high consumption rate in the Netherlands compared to other countries.

Based on these results, effective adaptation strategies can be chosen to lower concentrations of these pharmaceuticals at abstraction points for drinking water. Both for the Rhine and the Meuse the water quality will improve when emissions in upstream countries decrease. When emissions from all Dutch sewage water treatment plants decrease, the effects are expected to be greater at the abstraction points along the Meuse than along the Rhine, especially further inland.

The results are among others relevant for the strategic approach that the European Commission currently is developing in order to prevent pollution of water by pharmaceutical substances. These conclusions are based on model calculations on a national scale. Locally the conclusions can be different, as well as for local waters in the Netherlands which are not included in this study.

Keywords: Pharmaceuticals, abstraction points for drinking water, rhine, meuse, sewage water treatment plant

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

1 Inleiding – 13

- 1.1 Achtergrond en relatie met andere projecten – 13
- 1.2 Doel – 15

2 Werkwijze – 17

- 2.1 Modelopzet – 17
- 2.2 Aanpak – 17
 - 2.2.1 Gesimuleerde klimatologische jaren – 17
 - 2.2.2 Gesimuleerde emissies vanuit rwzi's – 17
 - 2.2.3 Gesimuleerde vrachten vanuit buitenland via Rijn en Maas – 18
 - 2.2.4 Gevoeligheidsanalyse – 19
 - 2.2.5 Beschouwde innamepunten Rijn en Maas – 19

3 Carbamazepine – 23

- 3.1 Algemene informatie – 23
- 3.2 Vergelijking modelresultaten met metingen – 23
- 3.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten – 24
- 3.4 Gevoeligheidsanalyse – 26
- 3.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater – 27

4 Metoprolol – 29

- 4.1 Algemene informatie – 29
- 4.2 Vergelijking modelresultaten met metingen – 29
- 4.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten – 30
- 4.4 Gevoeligheidsanalyse – 32
- 4.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater – 32

5 Metformine – 35

- 5.1 Algemene informatie – 35
- 5.2 Vergelijking modelresultaten met metingen – 35
- 5.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten – 36
- 5.4 Gevoeligheidsanalyse – 38
- 5.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater – 39

6 Amidotrizoïnezuur – 41

- 6.1 Algemene informatie – 41
- 6.2 Vergelijking modelresultaten met metingen – 41
- 6.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten – 42
- 6.4 Gevoeligheidsanalyse – 44
- 6.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater – 44

7 Discussie, conclusies en aanbevelingen – 47

7.1	Discussie – 47
7.2	Conclusies – 47
7.3	Aanbevelingen – 49
7.3.1	Implicaties voor beleid – 49
7.3.2	Vervolgonderzoek- kennishiaten – 49

8 Literatuur – 51

Bijlage 1 Opzet modelberekeningen – 53

Bijlage 2 Gevoeligheidsanalyse – 59

Samenvatting

Achtergrond

Dit rapport beschrijft een modelmatig onderzoek naar het effect van eventuele maatregelen op de concentraties van vier geneesmiddelen bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas. Het betreft de geneesmiddelen carbamazepine, metformine, metoprolol en amidotrizoïnezuur. Deze geneesmiddelen maken deel uit van de lijst potentiële probleemstoffen voor drinkwaterbereiding en zijn opgenomen op de zogenaamde Nederlandse Watchlist.

In haar brief over de ambitie ten aanzien van waterkwaliteit aan de Tweede Kamer van 2 juni 2014 [1] stelt de minister van Infrastructuur en Milieu dat er een maatschappelijke opgave ligt om de belasting van het oppervlaktewater met geneesmiddelen en andere microverontreinigingen terug te dringen. Om hieraan invulling te geven wordt een ketengerichte benadering voorgesteld.

Uitgangspunt van de aanpak is het stimuleren van brongerichte aanpak in het begin van de keten, aangevuld met maatregelen aan het einde van de keten. Tijdens de Ministersconferentie in oktober 2013 van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn, zijn afspraken gemaakt om de emissies van microverontreinigingen, inclusief geneesmiddelen, terug te dringen. Duitsland en Zwitserland hebben reeds initiatieven genomen om een deel van de rwzi's te gaan voorzien van een aanvullende zuiveringsstap. In 2017 moet de beslissing genomen worden welke gemeenschappelijke maatregelen in Rijnverband genomen moeten worden.

Doel

Het onderzoek beoogt een beter inzicht te geven in de vraag hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwaterproductie langs Rijn en Maas beïnvloed wordt door veranderingen in emissies voor deze vier geneesmiddelen vanuit Nederland, maar ook vanuit het buitenland. Via modelberekeningen zijn drie mogelijke (theoretische) scenario's gesimuleerd:

1. dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's (aanname daling van 50%);
2. dalende vracht die via Rijn en Maas ons land binnenkomt (aanname daling van 50%);
3. gecombineerd effect van 1 en 2.

Er wordt in deze studie niet ingegaan op de vraag hoe deze dalende emissies bereikt kunnen worden. De keuze van 50% daling is een theoretische aanname. Ter vergelijking: bij de geplande verbetering van de rioolwaterzuivering in Zwitserland wordt als criterium gehanteerd dat van enkele indicatorstoffen, waaronder carbamazepine, ten minste 80% verwijderd moet worden. Behalve door verbeterde rioolwaterzuivering (een zogenaamde end-of-pipe maatregel) kunnen dalende emissies echter ook het gevolg zijn van brongerichte maatregelen, zoals een afnemend gebruik door ander voorschrijfgedrag.

Werkwijze

Voor deze studie is gebruikgemaakt van het Landelijk Sobek Model (LSM) versie 1.09. Deze versie vormt onderdeel van het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW). Deze rapportage presenteert de berekeningen voor het meteorologisch gemiddelde jaar 1967, met de afvoerverdeling volgens het huidige klimaat, aangezien dit het dichtst bij de huidige situatie ligt.

Er zijn ongeveer 300 rwzi's meegenomen in de modelberekeningen. Dit betreft (bijna) alle Nederlandse rwzi's. Industriële lozingen, emissies van landbouw en afspoeling van wegen en dergelijke, zijn niet meegenomen. Per rwzi zijn de emissies (ofwel vrachten) naar het watersysteem geschat aan de hand van het aantal inwoners dat is aangesloten op de betreffende rwzi, vermenigvuldigd met de Nederlandse gemiddelde emissie voor het betreffende geneesmiddel via rwzi-effluent. Voor de Maas bij Eijsden en de Rijn bij Lobith is de gemiddelde vracht berekend op basis van beschikbare meetdata. Dit vormde de invoer voor de modelberekeningen.

Conclusies

De modelsimulaties geven op landelijke schaal inzicht in de factoren die bepalend zijn voor de concentraties van de vier geneesmiddelen bij de innamepunten voor drinkwater langs de grote rivieren Rijn en Maas. Tabel 1 toont een samenvattend overzicht van de belangrijkste conclusies. Hieruit blijkt dat de bijdrage vanuit het buitenland en de bijdrage vanuit Nederland sterk kunnen verschillen per stof, per rivier, per innamepunt en per afvoersituatie.

Tabel 1 Samenvattend overzicht conclusies berekende concentraties geneesmiddelen bij innamepunten van drinkwater.

Rivier	Innamepunt	Carbamazepine		Metoprolol		Metformine		Amidotrizoïnezuur	
Maas	Heel		*				*		*
	Gat van de Kerksloot		*				*		*
	Andelse Maas		*				*		*
Rijn + Maas	Scheelhoek				*				
Rijn	Nieuwegein				*				
	Nieuwersluis		*		*		*		*
	Bergambacht				*				

Legenda

- Buitenlandse aanvoer via Rijn meest bepalend
- Buitenlandse aanvoer via Maas meest bepalend
- Aanvoer via NL rwzi's meest bepalend
- * Zowel aanvoer via Maas als via NL rwzi's (vooral in droog jaar) van belang
- * Zowel aanvoer via Rijn als via NL rwzi's (vooral in droog jaar) van belang

Van de vier geneesmiddelen is voor metoprolol de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's aan de concentraties ter plekke van de innamepunten voor drinkwater het grootst. Dit heeft te maken met de relatief hoge consumptie van dit middel in Nederland. Voor carbamazepine, metformine en amidotrizoïnezuur is ook de buitenlandse bijdrage van belang.

Bij de Maas-innamepunten zijn zowel de buitenlandse aanvoer als emissies vanuit Nederlandse rwzi's, met name in droge periodes, van belang. Zoals verwacht neemt de invloed van Nederlandse rwzi's toe bij de meer stroomafwaarts gelegen Maas-innamepunten. Bij de Rijn-innamepunten is de buitenlandse aanvoer via de Rijn belangrijker, met uitzondering van Nieuwersluis, waar de invloed van zijrivieren en dus ook Nederlandse rwzi's die hierop lozen belangrijker is.

In droge periodes of jaren met lage rivierafvoeren is vooral bij de Maas-innamepunten de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's belangrijker dan buitenlandse aanvoer via de Maas. Bij de Rijn-innamepunten met uitzondering van Nieuwersluis is daarentegen zelfs in droge periodes de buitenlandse aanvoer

via de Rijn nog steeds de meest bepalende factor voor de concentraties carbamazepine, metformine en amidotrizoïnezuur. Een uitzondering vormt metoprolol, het typisch 'Nederlandse' geneesmiddel waarvoor de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's dan juist belangrijker is.

Bovenstaande heeft implicaties voor het soort maatregelen dat het meest effectief is om concentraties bij de innamepunten voor drinkwater te verlagen. Bij de innamepunten langs zowel Rijn als Maas zal de waterkwaliteit profiteren van dalende emissies vanuit het buitenland. Afnemende emissies vanuit Nederlandse rwzi's zullen echter een groter effect hebben bij de innamepunten langs de Maas dan langs de Rijn, met name bij de benedenstrooms gelegen innamepunten. Deze conclusies zijn gebaseerd op een landelijk model met daarbij passende schematisatie. Lokaal kan het beeld anders zijn, evenals bij kleinere wateren in Nederland die niet zijn meegenomen in deze studie.

Aanbevelingen en implicaties voor beleid

Nederland heeft als beleidsdoelstelling om de belasting van het oppervlaktewater met geneesmiddelen terug te dringen. Daarnaast ontwikkelt de Europese Commissie momenteel een strategie omtrent de aanpak van waterverontreiniging door restanten van geneesmiddelen. Bij het definiëren van mogelijke maatregelen dient een afweging gemaakt te worden tussen effectiviteit van maatregelen in Nederland versus het buitenland. De in deze studie gepresenteerde modelsimulaties kunnen hierbij ondersteunen. Tevens dient rekening te worden gehouden met verschillen in het gebruik van deze geneesmiddelen in de verschillende landen. Zo blijkt metoprolol relatief veel in Nederland te worden gebruikt.

Om het effect van maatregelen gedetailleerder in beeld te brengen zijn gebiedsstudies nodig. Hierbij kan meer gedetailleerde informatie over het hydrologische systeem, locaties waar individuele rwzi's lozen alsmede overige bronnen, zoals ziekenhuizen, worden toegevoegd.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en relatie met andere projecten

Dit rapport beschrijft een verkennend onderzoek naar het effect van eventuele maatregelen in binnen- en buitenland die de emissies van vier geneesmiddelen naar het watersysteem kunnen verminderen. Het betreft de geneesmiddelen carbamazepine, metformine, metoprolol en amidotrizoïnezuur. Deze vier geneesmiddelen maken deel uit van de lijst potentiële probleemstoffen voor drinkwaterbereiding [2]. Samen met het oplosmiddel di-isopropylether zijn deze stoffen opgenomen in de zogenaamde Nederlandse-Watchlist.

Nederlandse-Watchlist

De Nederlandse-Watchlist is een beleidsmatig vastgestelde lijst van stoffen die mogelijk een probleem vormen voor de drinkwaterfunctie of voor de ecologische functie van oppervlaktewater. Stoffen op deze lijst worden gedurende een afgesproken periode intensiever gemonitord door de waterbeheerders, zodat op basis hiervan kan worden vastgesteld of de stof inderdaad een probleem vormt en of hiervoor een norm moet worden vastgesteld. De Nederlandse-Watchlist is bedoeld als 'opstap' naar de stoffenlijsten en normen van het Besluit Kwaliteitsdoelstellingen en Monitoring Water (BKMW) en/of de Regeling monitoring Kaderrichtlijn Water (KRW). Plaatsing op de Nederlandse-Watchlist dient als stimulans voor het Rijk en voor waterbeheerders om (meet)gegevens te verzamelen, met als doel te beoordelen of een stof in bepaalde gebieden relevant is, zonder dat daarvoor al de bijbehorende verplichtingen van de KRW gelden ten aanzien van meetfrequentie, rapportage en eventuele maatregelen.

Met de introductie van de Nederlandse-Watchlist zal voor nieuwe aandachtstoffen de relevantie voor maatregelen en landelijke normstelling systematisch worden onderzocht. De drinkwaterfunctie maakt daarmee expliciet onderdeel uit van het toetsingskader. Inmiddels zijn door het RIVM milieurisicogrenzen voor drie van de vier geneesmiddelen afgeleid [3]. Voor amidotrizoïnezuur was dit niet mogelijk wegens een gebrek aan gegevens. Deze wetenschappelijke advieswaarden vormen de basis waarop de Nederlandse overheid wettelijke milieukwaliteitsnormen kan vaststellen.

Brief aanpak geneesmiddelen aan Tweede Kamer

In haar brief over de ambitie ten aanzien van waterkwaliteit aan de Tweede Kamer van 2 juni 2014 [1] stelt de minister van Infrastructuur en Milieu dat er een maatschappelijke opgave ligt om de belasting van het oppervlaktewater met geneesmiddelen en andere microverontreinigingen terug te dringen. Om hieraan invulling te geven, wordt een ketengerichte benadering voorgesteld. Uitgangspunt van de aanpak is het stimuleren van brongerichte aanpak in het begin van de keten, aangevuld met maatregelen aan het einde van de keten. Bij de verdere uitwerking van de aanpak wordt aangesloten bij het handelingsperspectief van de verschillende belanghebbenden. Met apothekers worden gesprekken gevoerd voor het inzamelen van niet-gebruikte geneesmiddelen. Enkele ziekenhuizen experimenteren met innovatieve technologieën voor de behandeling van ziekenhuisafvalwater, of met kuurspecifieke inzameling van urine van personen die röntgencontrastmiddelen tot zich hebben genomen.

Tijdens de Ministersconferentie in oktober 2013 van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn zijn afspraken gemaakt om de emissies van microverontreinigingen, inclusief geneesmiddelen, terug te dringen. In 2017 moet de beslissing genomen worden welke gemeenschappelijke maatregelen in Rijnverband genomen moeten worden.

Innamepunten oppervlaktewater voor drinkwaterproductie

Volgens [4] en [5] hebben alle innamepunten van oppervlaktewater voor drinkwaterproductie te maken met de gevolgen van klimaatverandering. Als gevolg van de klimaatverandering kan de kwaliteit van oppervlaktewater rond 2050 zodanig zijn verslechterd dat het zonder extra maatregelen ongeschikt is om er drinkwater van te bereiden. Deze situatie doet zich nu al voor in droge jaren, als normen voor stoffen gedurende perioden (van dagen tot maanden) worden overschreden. Deze normoverschrijdingen kunnen in de toekomst toenemen. De mate waarin dit gebeurt, hangt af van de klimatologische ontwikkelingen.



Figuur 1.1 Innamepunten voor de bereiding van drinkwater in het Rijn- en Maasstroomgebied, met de verwachte effecten van de verschillende klimaatscenario's (2050) volgens [5].

Figuur 1.1 toont het overzicht van alle innamepunten van oppervlaktewater en oevergrondwater voor de bereiding van drinkwater in het Rijn- en Maasstroomgebied met de verwachte effecten van klimaatverandering, zoals beschreven door [5]. Het verwachte effect is zodanig dat maatregelen nodig zijn om de drinkwatervoorziening ook op lange termijn zeker te stellen. Het RIVM heeft daarom met waterbeheerders, drinkwaterbedrijven en de rijksoverheid in kaart gebracht welke maatregelen kansrijk zijn. Daar kwamen drie categorieën van maatregelen uit voort, namelijk beleidsmaatregelen, aanpassingen in het watersysteem en een uitgebreidere zuivering door de drinkwaterbedrijven. Een combinatie van deze maatregelen is het meest effectief, ook omdat op de meeste innamepunten meerdere knelpunten aan de orde zijn en deze per innamepunt kunnen verschillen. Volgens [5] kan een uitgebreidere zuivering door rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) ook een goede optie zijn voor een duurzame drinkwatervoorziening. Rwzi's lozen gezuiverd rioolwater op het oppervlaktewater, dat daarna wordt gebruikt voor de drinkwatervoorziening. Ook andere vormen van watergebruik, zoals recreatie en natuur, kunnen baat hebben bij deze maatregel. Rwzi's vormen veruit de belangrijkste route voor de emissies van geneesmiddelen naar het oppervlaktewater [6]. Vanwege de hoge kosten is deze maatregel door [5] echter als minder kansrijk gepositioneerd. Inzetten op een verdergaande rioolwaterzuivering in plaats van drinkwaterzuivering, heeft ook als voordeel dat de milieukwaliteit als geheel verbetert, niet alleen het drinkwater.

Buitenlandse initiatieven

Ook internationaal staan de effecten van klimaatverandering op de beleidsagenda. Zowel in Rijn- als in Maasverband zijn hiervoor projecten opgestart. In bovenstrooms gelegen landen, zoals Duitsland en Zwitserland, is veel aandacht voor de aanwezigheid van restanten van geneesmiddelen en andere microverontreinigingen in het afvalwater en oppervlaktewater. In Duitsland is een tiental rwzi's al voorzien van een aanvullende zuiveringsstap, vooral ter bescherming van de drinkwatervoorziening. Zwitserland heeft concrete initiatieven genomen om een deel van de rwzi's te gaan voorzien van een aanvullende zuiveringsstap voor verwijdering van restanten van geneesmiddelen en andere microverontreinigingen. De aanpak richt zich op de grootste rwzi's en op de rwzi's waarbij het aandeel te lozen afvalwater een substantieel aandeel vormt (meer dan 10%) van het ontvangende oppervlaktewater. Er zijn criteria vastgesteld waaraan de verbeterde rioolwaterzuivering moet voldoen. Van enkele indicatorstoffen (onder meer benzothiazol, carbamazepine, diclofenac, mecoprop en sulfamethoxazol) moet tenminste 80% verwijderd worden.

1.2

Doel

Gezien de hierboven geschetste ontwikkelingen kwam de vraag naar voren hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwaterproductie beïnvloed wordt door veranderingen in emissies voor deze vier geneesmiddelen vanuit Nederland, maar ook vanuit het buitenland. Het onderzoek beoogt hiermee een beter inzicht te geven in waar mogelijke maatregelen het meest effectief zijn om de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater te verbeteren. Behalve voor drinkwater, heeft een verbetering van de waterkwaliteit bij deze innamepunten vanzelfsprekend ook positieve gevolgen voor de algemene milieukwaliteit. Deze innamepunten liggen grotendeels aan de grotere rivieren. Vanwege het buitenlandse aandeel in de emissies van geneesmiddelen die via Rijn en Maas ons land binnenkomen, vergt een emissiereductie van geneesmiddelen mogelijk een ander soort maatregelen dan wanneer het lokale wateren in Nederland

betreft. Effecten op lokale wateren worden in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Doel van het onderzoek is in beeld te brengen hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas wordt beïnvloed door emissies van deze vier geneesmiddelen vanuit Nederlandse rwzi's versus aanvoer vanuit het buitenland. Via modelberekeningen wordt het effect van dalende emissies gesimuleerd. Hierbij zijn drie mogelijke (theoretische) scenario's beschouwd, namelijk:

1. het effect van dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's (aanname daling van 50%);
2. het effect van een afnemende vracht die via Rijn en Maas ons land binnenkomt (aanname daling van 50%);
3. gecombineerd effect van 1 en 2.

Er wordt in deze studie niet ingegaan op de vraag hoe deze dalende emissies bereikt kunnen worden. De keuze van 50% daling is een theoretische aanname.

Zoals hierboven beschreven, hanteert Zwitserland het criterium dat van enkele indicatorstoffen ten minste 80% verwijderd moet worden door de verbeterde rioolwaterzuivering. Behalve door verbeterde rioolwaterzuivering (een zogenaamde end-of-pipe maatregel) kunnen dalende emissies echter ook het gevolg zijn van brongerichte maatregelen (zoals een afnemend gebruik door ander voorschrijfgedrag).

2 Werkwijze

2.1 Modelopzet

Het hier beschreven onderzoek maakt gebruik van de modelopzet zoals beschreven door Deltares [5]. Het voorliggende onderzoek richt zich meer in detail op genoemde vier geneesmiddelen. Bijlage I beschrijft de modelopzet die door Deltares is gehanteerd, alsmede de gehanteerde aannames, de bruikbaarheid en de beperkingen van het model.

2.2 Aanpak

2.2.1 *Gesimuleerde klimatologische jaren*

De berekeningen zijn uitgevoerd voor drie droogtejaren, zoals in een eerdere fase geselecteerd door het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW). Dit betreft een meteorologisch gemiddeld jaar (1967), een droog jaar (1989) en een extreem droog jaar (1976).

Deze rapportage presenteert de berekeningen voor het gemiddelde jaar 1967, met de afvoerverdeling volgens het huidige klimaat, aangezien dit het dichtst bij de huidige situatie ligt. Bij de gevoeligheidsanalyse wordt beknopt ingegaan op de berekeningen voor droge jaren.

2.2.2 *Gesimuleerde emissies vanuit rwzi's*

Er zijn ongeveer 300 rwzi's meegenomen in de modelberekeningen. Dit betreft (bijna) alle Nederlandse rwzi's. Industriële lozingen, emissies van landbouw en afspoeling van wegen en dergelijke, zijn niet meegenomen. Van alle rwzi's is het aantal i.e. (inwoner equivalenten) bekend. De totale belasting i.e. is opgebouwd uit een gedeelte vanuit huishoudens en een gedeelte vanuit bedrijven. In dit onderzoek is uitgegaan van het aantal i.e. vanuit huishoudens, aangezien dit gerelateerd is aan het aantal inwoners in het voorzieningsgebied van de rwzi.

Per rwzi zijn de emissies (ofwel vrachten) naar het watersysteem geschat aan de hand van het aantal i.e. vanuit huishoudens dat is aangesloten op de betreffende rwzi, vermenigvuldigd met de Nederlandse gemiddelde emissie (gram/inwoner/seconde) voor het betreffende geneesmiddel via rwzi-effluent. De getallen betreffen gemiddelden over de periode 2009-2012, berekend op basis van beschikbare meetdata. Dit vormde de invoer voor de modelberekeningen. Daarbij is uitgegaan van een constante emissie gedurende het jaar. Tabel 2.1 toont een overzicht van de gehanteerde emissies (gemiddelde, minimum en maximum) per geneesmiddel met bronvermelding.

Tabel 2.1 Overzicht berekende gemiddelde emissies van de vier geneesmiddelen via rwzi-effluenten in Nederland (gram/inw/sec), als invoer voor de modelberekeningen.

Geneesmiddel	Emissie via rwzi-effluent (gram/inw/sec)		
	min	gem	max
Carbamazepine	5,18E-10 ¹	1,90E-09 ⁴	3,06E-09 ²
Metoprolol	2,03E-09 ¹	4,20E-09 ⁴	6,80E-09 ²
Metformine	4,50E-09 ¹	1,19E-08 ³	3,54E-08 ²
Amidotrizoïnezuur	2,57E-11 ⁵	2,57E-10 ⁵	2,57E-09 ⁵

1 minimum o.b.v. meetdata 8 rwzi's ([7, 8])

2 maximum o.b.v. meetdata 8 rwzi's ([7, 8])

3 gemiddelde o.b.v. meetdata 8 rwzi's ([7, 8])

4 gemiddelde 2009 t/m 2011 volgens Emissie Registratie ([9])

5 berekening gem. o.b.v. max. gemeten conc. in rwzi-effluent volgens [6]. Min is aangenomen als een factor 10 lager, max een factor 10 hoger

2.2.3

Gesimuleerde vrachten vanuit buitenland via Rijn en Maas

Voor de Maas bij Eijsden en de Rijn bij Lobith is de gemiddelde vracht berekend op basis van beschikbare meetdata (concentraties en debieten). Tabel 2.2 toont een overzicht met bronvermelding. De getallen betreffen gemiddelden, minima en maxima over de periode 2009-2012, voor zover data beschikbaar waren. Voor de Rijn betreft het maandelijkse meetdata, voor de Maas halfjaarlijkse. Dit vormde de invoer voor de modelberekeningen, waarbij is uitgegaan van een constante vracht gedurende het jaar.

Klimatologisch waren de jaren 2009 en 2011 relatief droog met lage rivierafvoeren, 2010 was een gemiddeld jaar en 2012 juist een nat jaar [10-17]. De rivierafvoeren in de periode 2009-2012 zijn daardoor tot iets beneden gemiddeld ten opzichte van het langjarige gemiddelde te beschouwen.

Aangezien seizoensvariaties in neerslagoverschot en debieten zijn meegenomen in het hydrologische model, vertonen de door het model berekende concentraties ook een seizoensvariatie. Volgens [18] tonen de gemeten concentraties van genoemde middelen in de Rijn een duidelijke temporele (seizoens)variatie gedurende het jaar, dit in tegenstelling tot de totale vrachten. In de Maas beschrijft [19] voor de berekende vrachten carbamazepine wel een trend ten gevolge van seizoensvariaties. De hogere vrachten in herfst en winter in de Maas hebben mogelijk te maken met hogere consumptie van het middel en/of afnemende degradatie in rwzi's in dit jaargetijde. De aanname van een constante emissie gedurende het jaar is dus mogelijk een versimpeling van de werkelijkheid, maar wordt ondervangen door het meenemen van minima en maxima in de berekeningen.

Tabel 2.2 laat zien dat de vrachten via de Rijn één tot twee ordegroottes hoger zijn dan via de Maas. Dit heeft deels te maken met het grotere aantal inwoners in het stroomgebied en de hogere afvoer van de Rijn (gemiddeld ongeveer een ordegrootte hoger dan die van de Maas). Ook zijn de concentraties voor deze vier geneesmiddelen in de Rijn hoger dan in de Maas, met name voor amidotrizoïnezuur en metoprolol, waar het verschil een factor 2 bedraagt. Voor carbamazepine is het verschil minder groot. Voor metformine zijn de concentraties van dezelfde ordegrootte.

Tabel 2.2 Overzicht berekende vrachten van de vier geneesmiddelen (kilogram/seconde) die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen, als invoer voor de modelberekeningen.

Geneesmiddel	Vracht Maas bij Eijsden (kg/sec)			Vracht Rijn bij Lobith (kg/sec)		
	min	gem	max	min	gem	max
Carbamazepine	2,13E-07 ¹	3,49E-06 ¹	1,52E-05 ¹	7,91E-05 ⁴	1,27E-04 ⁴	2,24E-04 ⁴
Metoprolol	2,34E-07 ¹	1,22E-06 ¹	3,54E-06 ¹	2,88E-05 ⁴	1,40E-04 ⁴	2,95E-04 ⁴
Metformine	6,67E-05 ²	3,34E-04 ²	6,02E-04 ²	9,19E-04 ⁵	2,02E-03 ⁵	3,41E-03 ⁵
Amidotrizoïnezuur	4,41E-07 ³	2,21E-06 ³	3,23E-06 ³	1,41E-04 ⁴	4,68E-04 ⁴	1,46E-03 ⁴

1 Berekening o.b.v. halfjaarlijkse metingen RWS 2009-2012, en vier metingen 2012[20]

2 Berekening o.b.v. vier metingen 2012 [20]

3 Berekening o.b.v. halfjaarlijkse metingen RWS 2009-2012

4 Berekening o.b.v. maandelijkse meetdata 2009-2012 ([21])

5 Berekening o.b.v. maandelijkse meetdata 2012 ([21])

2.2.4

Gevoeligheidsanalyse

Om in beeld te brengen hoe gevoelig de resultaten zijn voor de gehanteerde modelinvoer, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn de modelberekeningen opnieuw uitgevoerd, waarbij de twee extremen in beeld zijn gebracht, uitgaande van de minima en maxima zoals gepresenteerd in Tabel 2.1 en 2.2:

- minimale emissies vanuit Nederlandse rwzi-effluenten in combinatie met maximale vrachten die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen,
- maximale emissies vanuit Nederlandse rwzi-effluenten in combinatie met minimale vrachten die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen.

2.2.5

Beschouwde innamepunten Rijn en Maas

In deze rapportage worden de modelresultaten gepresenteerd voor zeven innamepunten. Dit betreft innamepunten waarvoor kwaliteitsproblemen worden verwacht ten gevolge van klimaatverandering, zoals gepresenteerd in Figuur 1.1.

Innamepunten Maas

- Heel
- Keizersveer (Gat van de Kerksloot)
- Brakel (Andelse Maas)

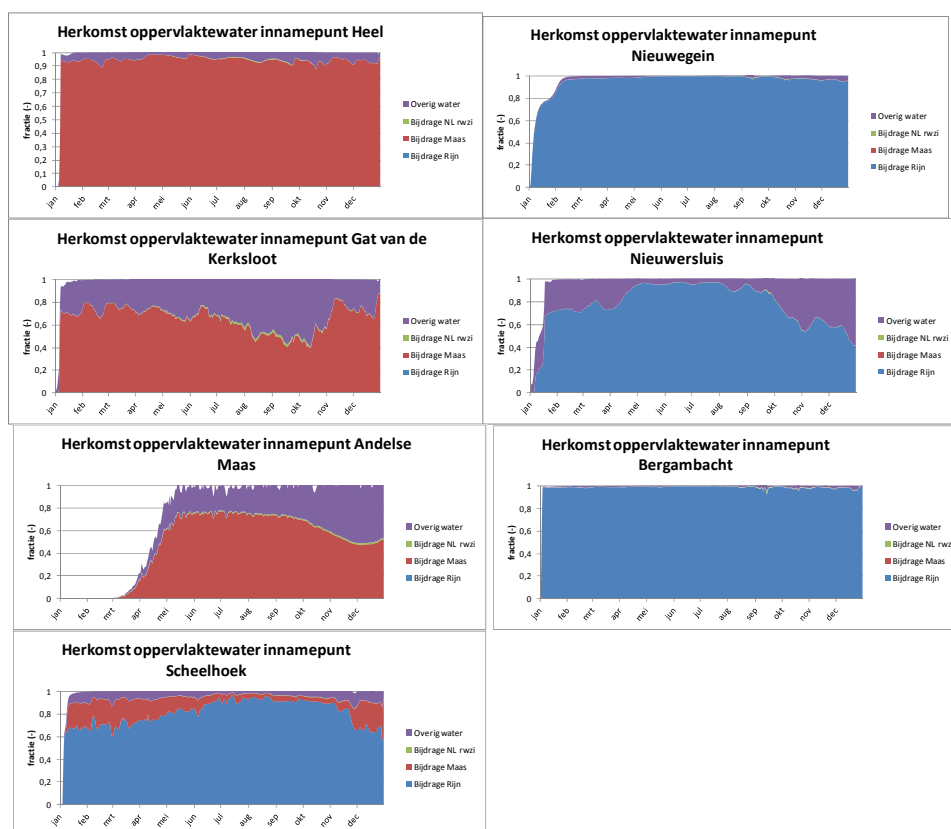
Innamepunten Rijn

- Nieuwegein
- Nieuwersluis
- Bergambacht
- Stellendam (Scheelhoek–Haringvliet)

2.2.5.1

Innamepunten Maas

Heel, Gat van de Kerksloot en Andelse Maas zijn de drie grootste innamepunten langs de Maas. Ze zijn bovendien hydrologisch zeer verschillend. Bij Heel wordt water ingenomen uit het Lateraalkanaal van de Maas. De winning Andelse Maas neemt bij Brakel oppervlaktewater in uit de Afgedamde Maas, een zijtak van de Maas. Innamepunt Gat van de Kerksloot betreft water van de winning Brabantse Biesbosch.



Figuur 2.1 Herkomst oppervlaktewater op basis van modelberekeningen met herkomst-tracer voor een hydrologisch gemiddeld jaar (1967).

Dat deze innamepunten langs de Maas hydrologisch zeer verschillend zijn, blijkt ook uit de herkomstberekeningen (Figuur 2.1). Deze figuur toont berekeningen met een herkomst tracer waarmee het water in ruimte en tijd te herleiden is naar zijn herkomst, zoals de rivierafvoer zelf, de bijdragen van zijrivieren (aangeduid als overig water) en de rwzi's die direct lozen op het watersysteem. Uit deze berekeningen blijkt dat bij Heel ca 90% van het aanwezige water bestaat uit Maaswater. Bij Gat van de Kerkstoot en Andelse Maas varieert het aandeel Maaswater tussen circa 40-80%, waarbij in de droge zomermaanden het aandeel Maaswater duidelijk afneemt ten opzichte van andere waterbronnen, zoals de bijdrage vanuit zijrivieren. Het innamepunt Scheelhoek bestaat voornamelijk uit Rijnwater, waarbij ook hier de Maasafvoer in de droge zomermaanden duidelijk afneemt.

2.2.5.2

Innamepunten Rijn

Nieuwegein, Nieuwersluis en Bergambacht zijn de drie grootste innamepunten langs de Rijn. Bij Nieuwegein wordt water ingenomen uit het Lekkanaal. Nieuwersluis betreft een calamiteiten-innamepunt langs het Amsterdam-Rijnkanaal. Bergambacht betreft een oevergrondwaterwinning ten noorden van de rivier de Lek. In de nabijheid van dit zuiveringsstation ligt tevens het noodinnamepunt Bergambacht, een inlaat voor oppervlaktewater vanuit de Lek voor de drinkwaterproductie van Dunea.

Het innamepunt Scheelhoek bevindt zich aan het Haringvliet en wordt gevoed door zowel Rijn- als Maaswater. In verband met het voorgenomen Kierbesluit wordt dit innamepunt in de komende jaren 15 km stroomopwaarts verplaatst. Verwacht wordt dat in de nieuwe situatie geen verzilting optreedt. Maar de

kwaliteitsknelpunten bij klimaatverandering die voor het huidige innamepunt Scheelhoek zijn geconstateerd, zullen zich mogelijk ook in de nieuwe situatie voordoen. Daarom is dit innamepunt wel meegenomen (zie [4] en [5] voor uitgebreidere beschrijving).

Uit de herkomstberekeningen die zijn uitgevoerd (Figuur 2.1) blijkt dat bij Nieuwegein en Bergambacht meer dan 90% van het aanwezige water bestaat uit Rijnwater. Bij Nieuwersluis is het aandeel Rijnwater kleiner, variërend van circa 90% in de zomermaanden tot min. circa 50% in de wintermaanden wanneer de bijdrage vanuit zijrivieren het grootst is. Dit heeft te maken met de hydrologische situatie van het watersysteem Nederrijn-Lekkanaal-Amsterdam-Rijnkanaal. In [4] en [5] wordt hier uitgebreider op ingegaan.

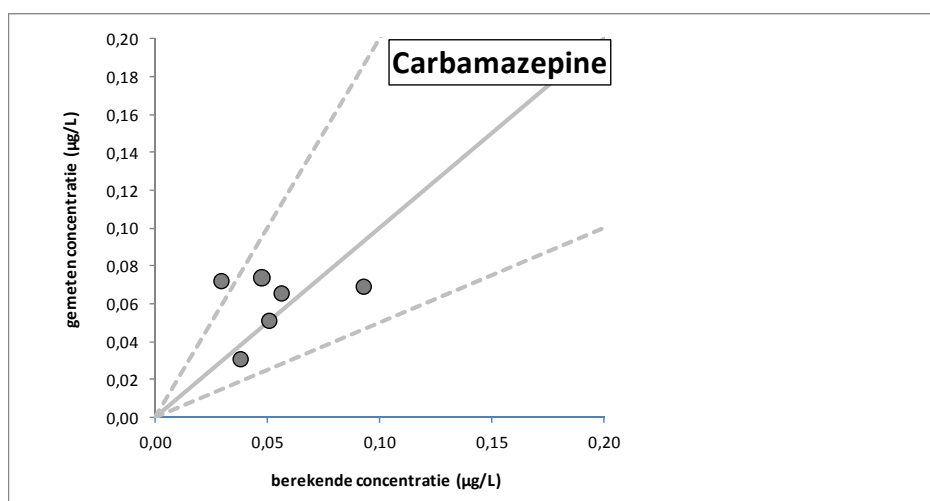
3 Carbamazepine

3.1 Algemene informatie

De werkzame stof carbamazepine wordt vooral toegepast voor de behandeling van epilepsie, maar ook voor de behandeling van onder andere aangezichtspijn, psychoses en manische episodes. Er zijn momenteel in Nederland 28 geneesmiddelen met carbamazepine als werkzame stof geregistreerd [22]. Er is een vrij constant emissieniveau van carbamazepine en dit komt vooral via de lozingen van huishoudelijk afvalwater terecht in Rijn en Maas [23, 24]. Het geschatte gebruik bedroeg 8.400 kg in 2007 en er wordt een toename verwacht naar circa 8.990 kg (+7%) in 2020 [25]. Carbamazepine wordt frequent aangetroffen in oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater in concentraties hoger dan 0.1 µg/L, de streefwaarde die wordt gehanteerd door de internationale koepelorganisaties van drinkwaterbedrijven langs de grote Europese rivieren (IAWR)[26]. De stof is beschouwd bij de revisie van de lijst van prioritaire stoffen onder de Kaderrichtlijn Water (2013/39EU) en is opgenomen in het monitoringprogramma van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn [27]. Meer informatie over gebruik, toxiciteit en inmiddels afgeleide milieurisicogrenzen is beschreven door [3].

3.2 Vergelijking modelresultaten met metingen

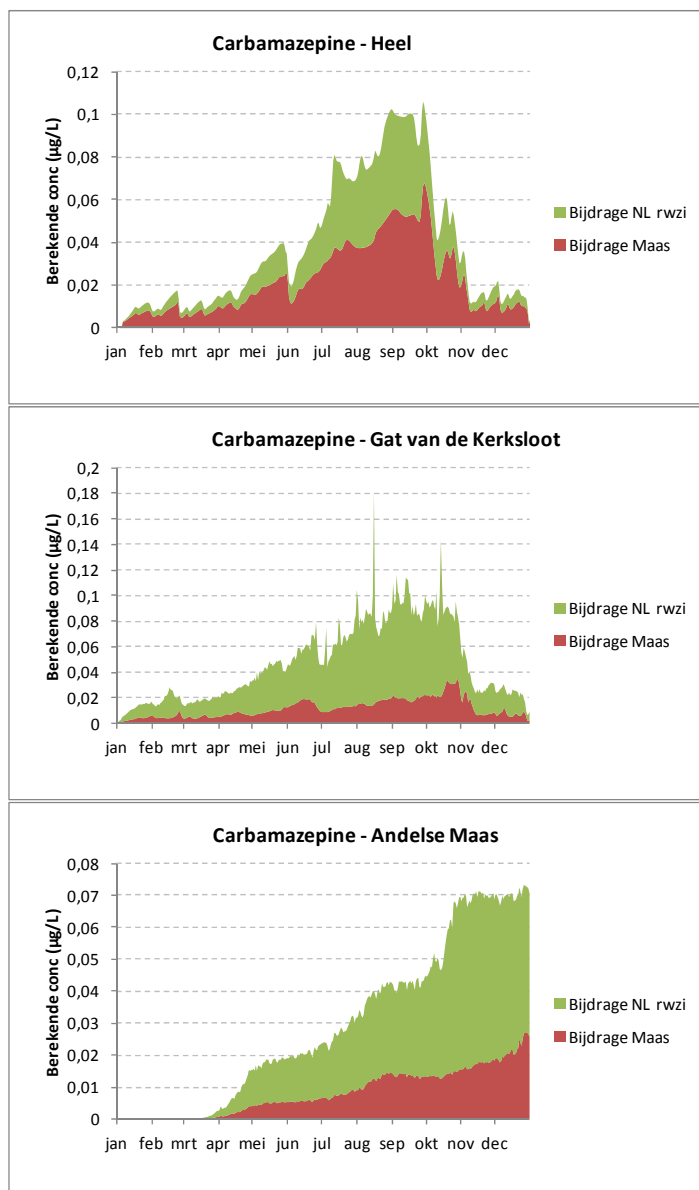
Figuur 3.1 toont voor 6 innamepunten voor drinkwater een vergelijking tussen de door het model berekende jaargemiddelde concentraties voor een hydrologisch karakteristiek gemiddeld jaar (1967) en de gemiddelde gemeten concentraties in de periode 2009-2012 (met uitzondering van het monsterpunt Heel waarvoor alleen meetdata uit 2013 beschikbaar waren). Uit Figuur 3.1 blijkt dat de berekeningen, op één punt na, maximaal een factor 2 verschillen van de gemeten concentraties.



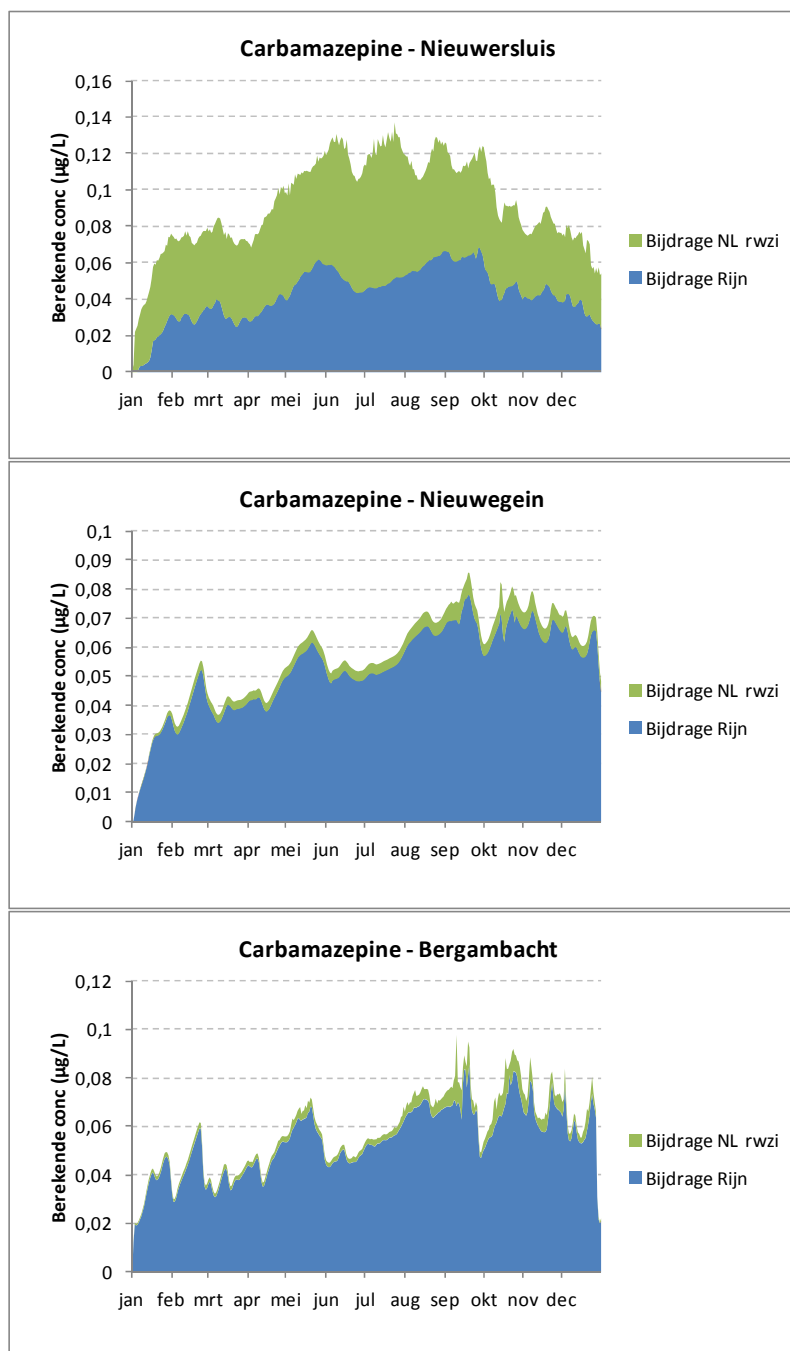
Figuur 3.1 Vergelijking gemiddelde gemeten concentratie 2009-2012 (bron: RIWA database Nieuwegein) met berekende concentratie voor hydrologisch gemiddeld jaar bij de innamepunten Brakel, Heel (alleen meetdata 2013), Keizersveer, Nieuwegein, Nieuwersluis en Stellendam. De lijnen tonen 1:2, 1:1 en 2:1 ratio's van de gemeten:berekende concentraties.

3.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten

De modelberekeningen geven inzicht in de bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan de concentraties en de herkomst van het water. Figuur 3.2 laat zien dat de berekende concentratie carbamazepine bij innamepunt Heel voor ruim de helft wordt bepaald door aanvoer via de Maas vanuit het buitenland. Daarentegen is bij het benedenstrooms gelegen innamepunten Gat van de Kerksloot en Andelse Maas, de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's belangrijker.



Figuur 3.2. Aandeel Nederlandse rwzi's en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie carbamazepine bij de innamepunten Heel, Gat van de Kerksloot en Andelse Maas voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

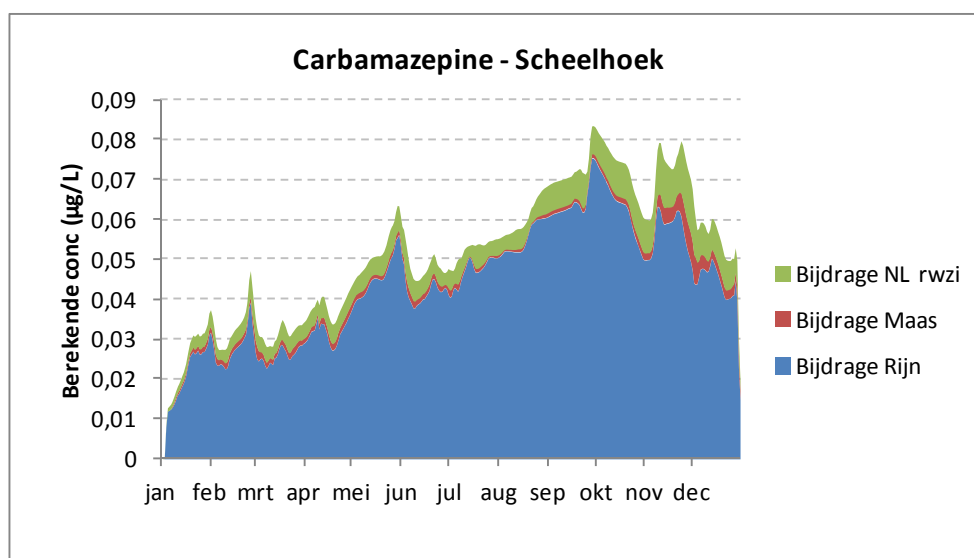


Figuur 3.3. Aandeel Nederlandse rwzi's en Rijnwater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie carbamazepine bij de innamepunten Nieuwersluis, Nieuwegein en Bergambacht voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij de innamepunten Gat van de Kerkslot en Andelse Maas het aandeel water via zijrivieren (inclusief rwzi's die daarop lozen) in de totale waterafvoer van de Maas relatief groot is, met name in droge periodes. Bij Andelse Maas speelt daarnaast het inregeleffect van de modelberekeningen een rol, aangezien het initieel in het systeem aanwezige water de eerste maanden van de modelberekeningen dominant is (Zie Bijlage I).

Figuur 3.3 laat zien dat de berekende concentratie carbamazepine bij Nieuwegein vrijwel geheel wordt bepaald door aanvoer via de Rijn vanuit het buitenland. Dit geldt ook voor Bergambacht. Daarentegen is bij Nieuwersluis de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's belangrijker. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij Nieuwersluis het aandeel water vanuit zijrivieren (inclusief rwzi's die daarop lozen) relatief groot is (Zie Bijlage I).

De concentratie bij Scheelhoek, gelegen aan het Haringvliet, wordt beïnvloed door zowel Rijn- als Maaswater. Zoals is te zien draagt de Rijn het grootste deel bij aan de concentratie carbamazepine ter plekke van het innamepunt (Figuur 3.4).



Figuur 3.4 Aandeel Nederlandse rwzi's, Rijn en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie carbamazepine bij het innamepunt Scheelhoek aan het Haringvliet voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

3.4 Gevoeligheidsanalyse

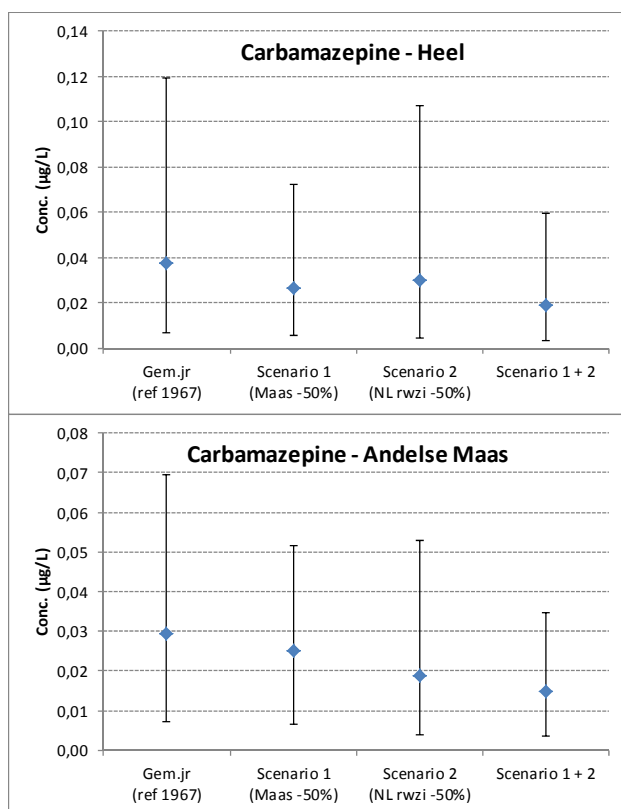
De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in Bijlage II. Hieruit blijkt dat bij de extreme variant met maximale aanvoer via de Maas, en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie carbamazepine bij alle innamepunten voornamelijk door aanvoer via de Maas wordt bepaald. Bij de andere extreme variant, met minimale aanvoer via de Maas en maximale emissies via Nederlandse rwzi's, wordt de concentratie carbamazepine juist door emissies vanuit Nederlandse rwzi's bepaald. Deze situatie met minimale aanvoer via de Maas en maximale emissies via Nederlandse rwzi's is vergelijkbaar met een droog jaar met lage afvoeren van de Maas, zoals het droge 1976 (modelresultaten niet getoond). De modelresultaten voor de Maas zijn dus gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

Voor de Rijn-innamepunten blijkt dat voor de extreme variant met minimale aanvoer via de Rijn en maximale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie carbamazepine bij Nieuwegein en Bergambacht nog altijd grotendeels door de Rijn wordt bepaald. Bij Nieuwersluis is in dit geval de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's dominant. Voor de andere extreme variant, met maximale aanvoer via de Rijn en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, wordt de concentratie carbamazepine bij alle Rijn-innamepunten grotendeels

bepaald door de Rijn. De modelresultaten voor de Rijn zijn met name bij Nieuwegein en Bergambacht dus beperkt gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

3.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater

Om in beeld te brengen hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas wordt beïnvloed door een eventuele aanpak van emissiebronnen, zijn drie mogelijke scenario's beschouwd, namelijk afname van de vracht die via Rijn en Maas ons land binnenkomt met 50%, dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's met 50%, en een combinatie van beide (zie Hoofdstuk 1).

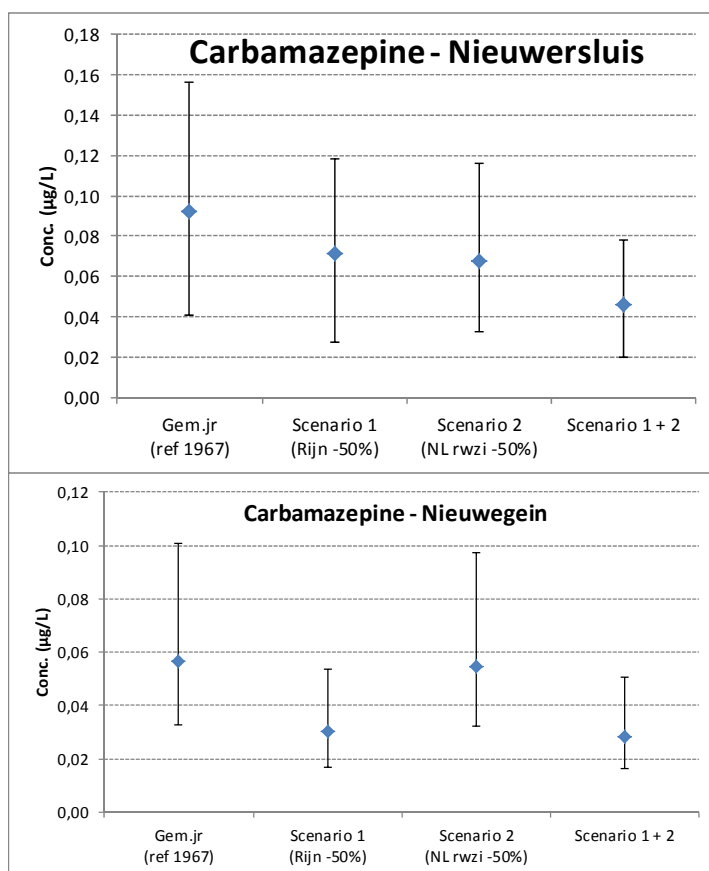


Figuur 3.5 Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie carbamazepine bij de innamepunten Heel en Andelse Maas (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/ 2.2).

Figuur 3.5 toont het door het model berekende effect van de drie scenario's op de concentraties carbamazepine bij de innamepunten langs de Maas. Hieruit blijkt dat bij Heel scenario 1 (afname van de vracht via de Maas met 50%) ongeveer een even groot effect heeft als scenario 2 (afname van de vracht vanuit Nederlandse rwzi's met 50%). Bij Andelse Maas daarentegen is het effect van scenario 2 het grootst. Dit geldt ook voor Gat van de Kerksloot (figuur niet getoond). Een combinatie van beide scenario's heeft een halvering van de concentratie tot gevolg.

Figuur 3.6 toont het door het model berekende effect van de drie scenario's op de concentraties carbamazepine bij de innamepunten langs de Rijn. Hieruit blijkt

dat bij Nieuwegein scenario 1 (afname van de vracht via de Rijn met 50%) vrijwel het totale effect bepaalt: een afname van de vracht vanuit Nederlandse rwzi's (scenario 2) heeft nauwelijks effect op de concentratie carbamazepine bij deze innamepunten. Ook bij Scheelhoek en Bergambacht (figuur niet getoond) is het effect van de Rijn op de concentratie carbamazepine dominant. Bij Nieuwersluis is de invloed van zijrivieren, en dus ook rwzi's die hierop lozen, belangrijker; bij dit innamepunt is het effect van scenario 1 en 2 ongeveer even groot.



Figuur 3.6 Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie carbamazepine bij de innamepunten Nieuwersluis en Nieuwegein (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/ 2.2).

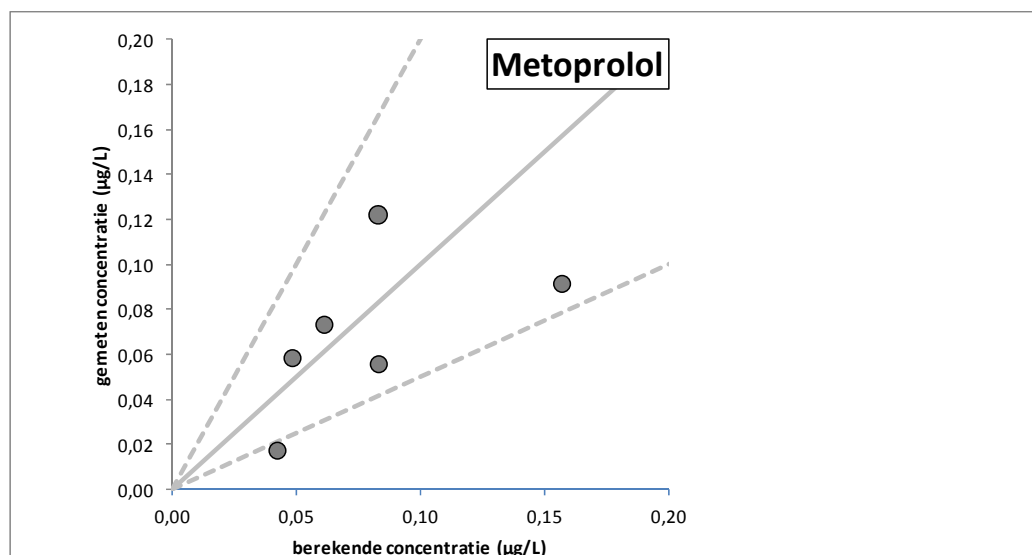
4 Metoprolol

4.1 Algemene informatie

Metoprolol is een β -blokker die wordt voorgeschreven bij de behandeling van verschillende soorten hart-en vaatziekten, met name hoge bloeddruk. Het geschatte aantal gebruikers in Nederland is toegenomen van circa 800.000 in 2006 tot bijna 975.000 in 2010. Het geschatte gebruik bedroeg 22.681 kg in 2007 en er wordt een toename verwacht naar circa 28.061 kg (+24%) in 2020 [25]. Metoprolol wordt frequent aangetroffen in oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater in concentraties hoger dan 0.1 $\mu\text{g/L}$, de streefwaarde die wordt gehanteerd door de internationale koepelorganisaties van waterleidingbedrijven langs de grote Europese rivieren [26]. De stof is opgenomen in het monitoringprogramma van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn [27]. Meer informatie over gebruik, toxiciteit en inmiddels afgeleide milieurisicogrenzen, is beschreven door [3].

4.2 Vergelijking modelresultaten met metingen

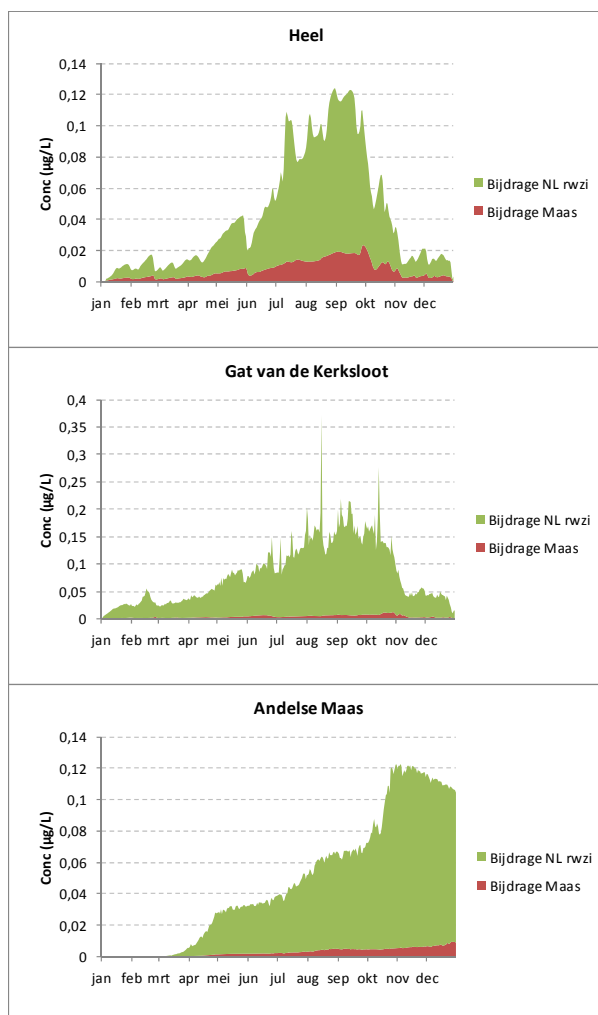
De door het model berekende concentraties zijn vergeleken met beschikbare metingen bij de innamepunten voor drinkwater. Figuur 4.1 toont voor zes innamepunten voor drinkwater een vergelijking tussen de door het model berekende jaargemiddelde concentraties voor een gemiddeld hydrologisch karakteristiek gemiddeld jaar (1967) en de gemiddelde gemeten concentraties in de periode 2009-2012 (m.u.v. Heel waarvoor alleen meetdata uit 2013 beschikbaar waren). Uit de figuur blijkt dat de berekeningen bijna overal tot maximaal een factor 2 verschillen van de gemeten concentraties.



Figuur 4.1 Vergelijking gemiddelde gemeten concentratie 2009-2012 (bron: RIWA database Nieuwegein) met berekende concentratie bij de innamepunten Brakel, Heel (alleen meetdata 2013), Keizersveer, Nieuwegein, Nieuwersluis en Stellendam voor een hydrologisch gemiddeld jaar. De lijnen tonen 1:2, 1:1 en 2:1 ratio's van de gemeten:berekende concentraties.

4.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten

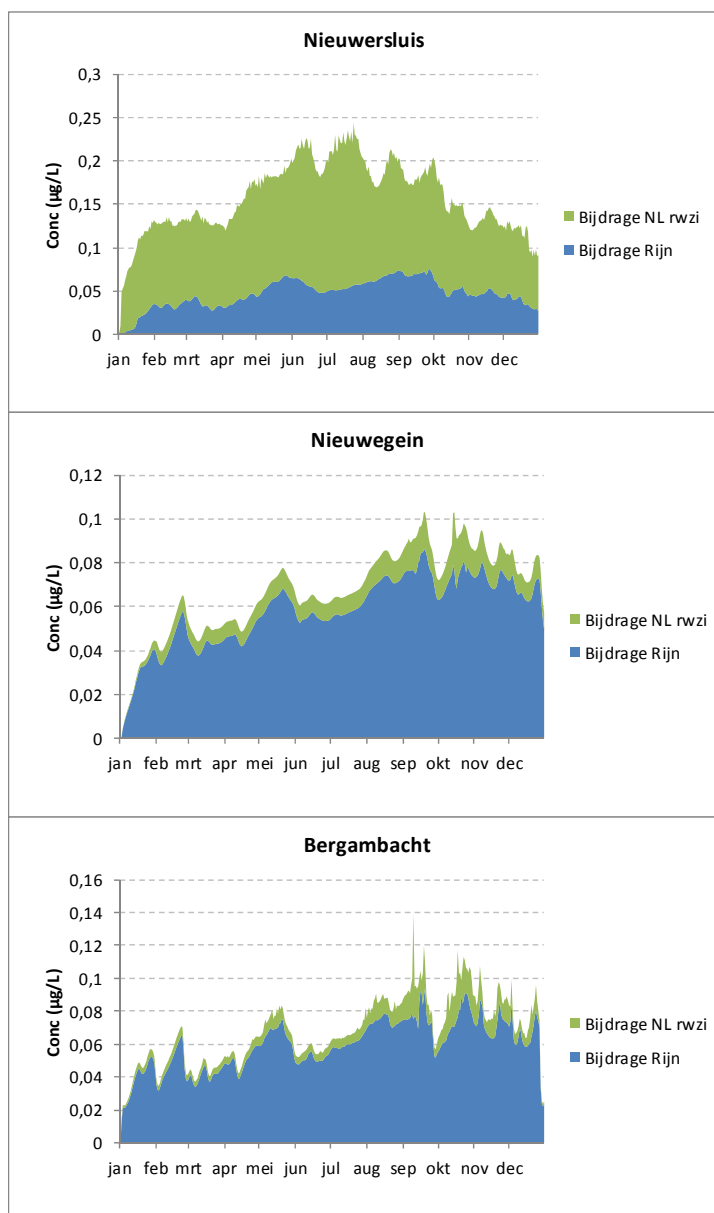
Figuur 4.2 laat zien dat de berekende concentratie metoprolol bij Heel voornamelijk wordt bepaald door de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's. Dit is verrassend gezien het grote aandeel Maaswater vanuit België dat voor de overige 3 watchlist-stoffen een grote invloed heeft op de waterkwaliteit bij dit innamepunt. Bij metoprolol ligt dit anders aangezien metoprolol veel wordt gebruikt in Nederland, maar weinig in België, waar het gebruik per inwoner een factor 8 lager ligt volgens [28] en waar meer sotalol wordt gebruikt. Bij de meer benedenstrooms gelegen innamepunten Gat van de Kerksloot en Andelse Maas is de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's vanzelfsprekend nog groter. Bij Andelse Maas speelt daarnaast het inregeleffect van de modelberekeningen een rol, aangezien het initieel in het systeem aanwezige water de eerste maanden van de modelberekeningen dominant is (zie Bijlage I).



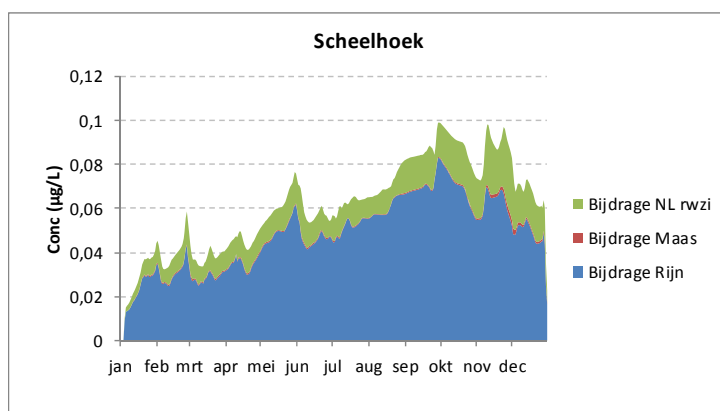
Figuur 4.2 Geschatte bijdrage Nederlandse rwzi's en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie metoprolol bij de innamepunten Heel, Gat van de Kerksloot en Andelse Maas voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

Voor de Rijn is het beeld anders dan voor de Maas. Figuur 4.3 laat zien dat de berekende concentratie metoprolol bij Nieuwegein vrijwel geheel wordt bepaald

door aanvoer via de Rijn vanuit het buitenland. Dit geldt ook voor Bergambacht. Daarentegen is bij Nieuwersluis de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's belangrijker. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij Nieuwersluis het aandeel water vanuit zijrivieren (inclusief de rwzi's die daarop lozen) relatief groot is (zie Bijlage I). De concentratie bij Scheelhoek wordt beïnvloed door zowel Rijn- als Maaswater. Figuur 4.4 laat zien dat de concentratie metoprolol ter plekke van het innamepunt voornamelijk wordt bepaald door de Rijn.



Figuur 4.3 Aandeel Nederlandse rwzi's en Rijnwater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie metoprolol bij de innamepunten Nieuwersluis, Nieuwegein en Bergambacht voor een hydrologisch gemiddeld jaar.



Figuur 4.4 Aandeel Nederlandse rwzi's, Rijn- en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie metoprolol bij het innamepunt Scheelhoek aan het Haringvliet voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

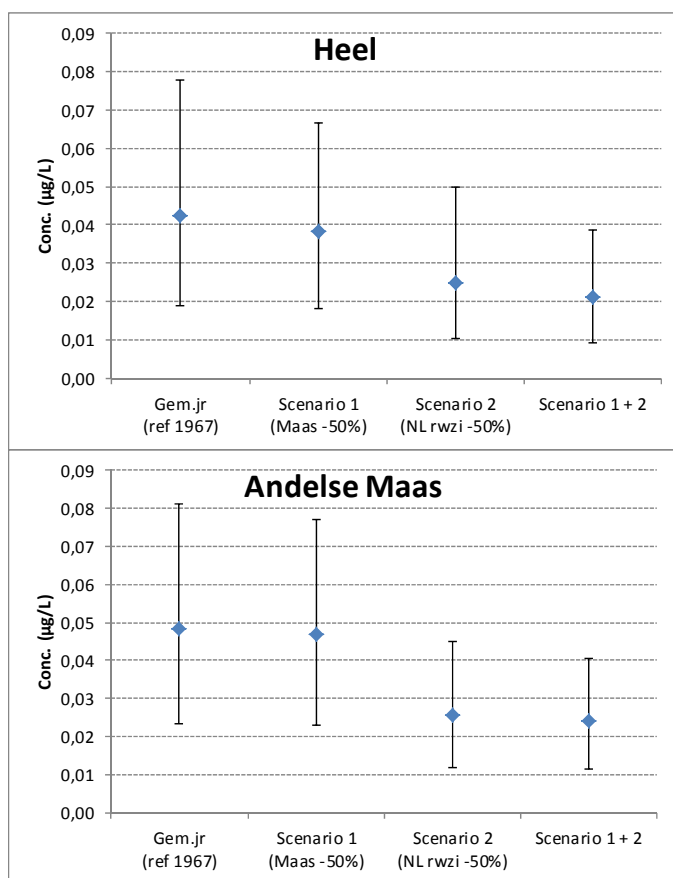
4.4 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in Bijlage II. Hieruit blijkt voor de Maas-innamepunten dat zelfs voor de extreme variant met maximale aanvoer via de Maas, en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie metoprolol bij Heel nog altijd voor de helft door emissies vanuit Nederlandse rwzi's wordt bepaald. Ook bij Gat van de Kerksloot en Andelse Maas wordt de concentratie dan nog altijd voornamelijk door emissies vanuit Nederlandse rwzi's bepaald. De modelresultaten voor de Maas zijn dus beperkt gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

Voor de Rijn-innamepunten blijkt dat voor de extreme variant met minimale aanvoer via de Rijn en maximale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie metoprolol bij Nieuwegein en Bergambacht voor circa de helft door de Nederlandse rwzi's en voor de helft door de Rijn wordt bepaald. Bij Nieuwersluis is in dit geval de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's dominant. Deze situatie is vergelijkbaar met een droog jaar met lage afvoeren van de Rijn. Voor de andere extreme variant, met maximale aanvoer via de Rijn en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, wordt de concentratie metoprolol bij Nieuwegein en Bergambacht volledig bepaald door de Rijn, en bij Nieuwersluis ook voor het grootste deel. De modelresultaten voor de Rijn zijn dus beperkt gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

4.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater

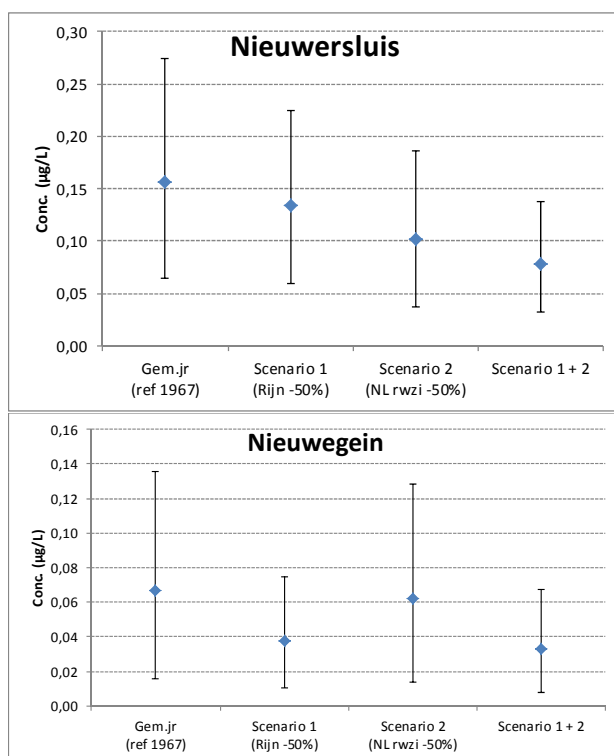
Om in beeld te brengen hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas wordt beïnvloed door een eventuele aanpak van emissiebronnen, zijn 3 mogelijke scenario's beschouwd, namelijk: afname van de vracht die via Rijn en Maas ons land binnenkomt met 50%, dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's met 50%, en een combinatie van beide.



Figuur 4.5 *Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie metoprolol bij de innamepunten Heel en Andelse Maas (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/2.2)*

Figuur 4.5 toont het door het model berekende effect op de concentraties metoprolol bij de Maas-innamepunten Heel en Andelse Maas. Hieruit blijkt dat bij beide scenario 2 (afname van de vracht vanuit Nederlandse rwzi's met 50%) het grootste effect heeft, ook al is de spreiding in de modelberekeningen nog aanzienlijk. Hetzelfde geldt voor Gat van de Kerksloot (figuur niet getoond).

Figuur 4.6 toont het door het model berekende effect op de concentraties metoprolol bij de Rijn-innamepunten Nieuwegein en Nieuwersluis. Hieruit blijkt bij Nieuwegein scenario 1 (afname van de vracht via de Rijn) veruit het grootste effect heeft. Hetzelfde geldt voor Bergambacht (figuur niet getoond). Bij Nieuwersluis hebben scenario 1 en 2 beide ongeveer een even groot aandeel in de verwachte afname.



Figuur 4.6 *Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie metoprolol bij de innamepunten Nieuwersluis, Nieuwegein en Bergambacht (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/ 2.2)*

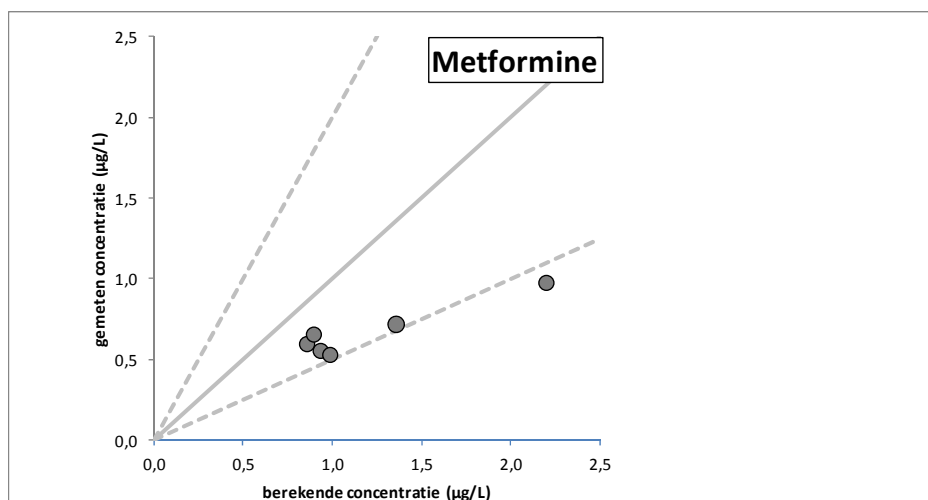
5 Metformine

5.1 Algemene informatie

De werkzame stof metformine wordt vooral toegepast in geneesmiddelen voor de behandeling van diabetes type 2. Er zijn momenteel in Nederland 90 geneesmiddelen met metformine als werkzame stof geregistreerd [22], in Europa nog eens 12 extra geneesmiddelen (<http://www.emea.europa.eu>). Aangezien metformine niet in het menselijk lichaam wordt omgezet maar door de nieren onveranderd wordt uitgescheiden, vindt de afbraak tot guanylurea in het milieu en/of rwi's plaats. Het geschatte gebruik bedroeg 207.190 kg in 2007 en er wordt een toename verwacht naar circa 256.103 kg (+24%) in 2020 [25]. Metformine wordt frequent aangetroffen in oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater in concentraties hoger dan 0.1 µg/L, de streefwaarde die wordt gehanteerd door de internationale koepelorganisaties van waterleidingbedrijven langs de grote Europese rivieren [26]. Recent onderzoek heeft aangetoond dat de bijdrage van metformine en het afbraakproduct guanylurea meer dan de helft van de totale geneesmiddelenconcentratie in oppervlaktewater bedraagt [6]. Meer informatie over gebruik, toxiciteit en inmiddels afgeleide milieurisicogrenzen van metformine is beschreven door [3].

5.2 Vergelijking modelresultaten met metingen

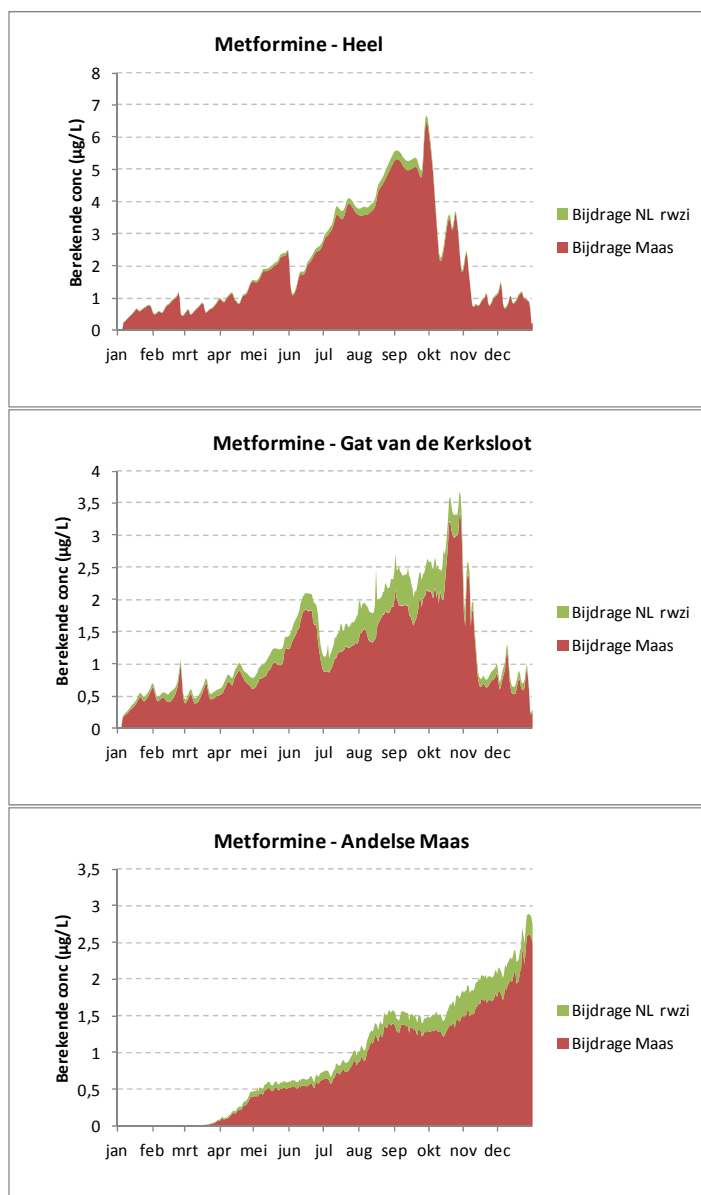
Figuur 5.1 toont voor 6 innamepunten voor drinkwater een vergelijking tussen de door het model berekende jaargemiddelde concentraties voor een gemiddeld hydrologisch karakteristiek gemiddeld jaar (1967) en de gemiddelde gemeten concentraties in de periode 2009-2012 (m.u.v. Heel waarvoor alleen meetdata uit 2013 beschikbaar waren). Uit Figuur 5.1 blijkt dat de berekende concentraties maximaal circa de helft lager liggen dan de gemeten concentraties.



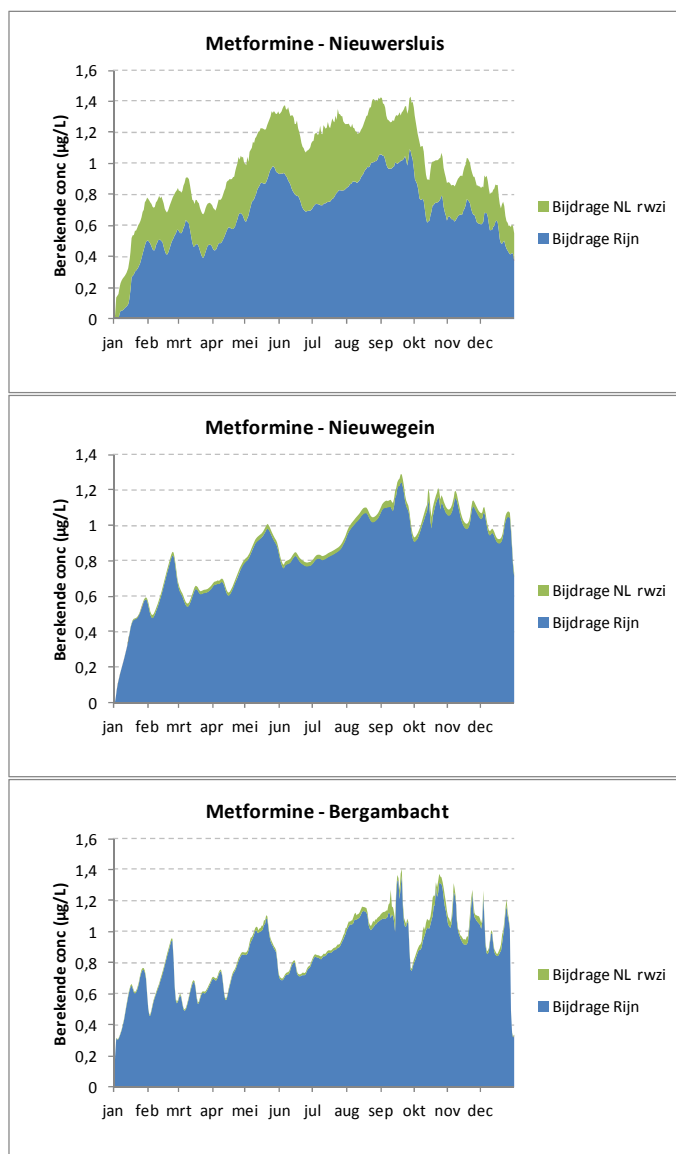
Figuur 5.1 Vergelijking gemiddelde gemeten concentratie 2009-2012 (bron: RIWA database Nieuwegein) met berekende concentratie bij de innamepunten Brakel, Heel (alleen meetdata 2013), Keizersveer, Nieuwegein, Nieuwersluis en Stellendam. De lijnen tonen 1:2, 1:1 en 2:1 ratio's van de gemeten:berekende concentraties.

5.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten

De modelberekeningen geven inzicht in de bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan de concentraties en de herkomst van het water. Figuur 5.2 laat zien dat de berekende concentratie metformine met name bij Heel, maar ook bij de meer benedenstrooms gelegen innamepunten, voornamelijk wordt bepaald door aanvoer via de Maas vanuit het buitenland.



Figuur 5.2 Aandeel Nederlandse rwzi's en Maas water vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie metformine bij de innamepunten Heel, Gat van de Kerkvloot en Andelse Maas voor een hydrologisch gemiddeld jaar.



Figuur 5.3 Aandeel Nederlandse rwzi's en Rijnwater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie metformine bij de innamepunten Nieuwersluis, Nieuwegein en Bergambacht voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

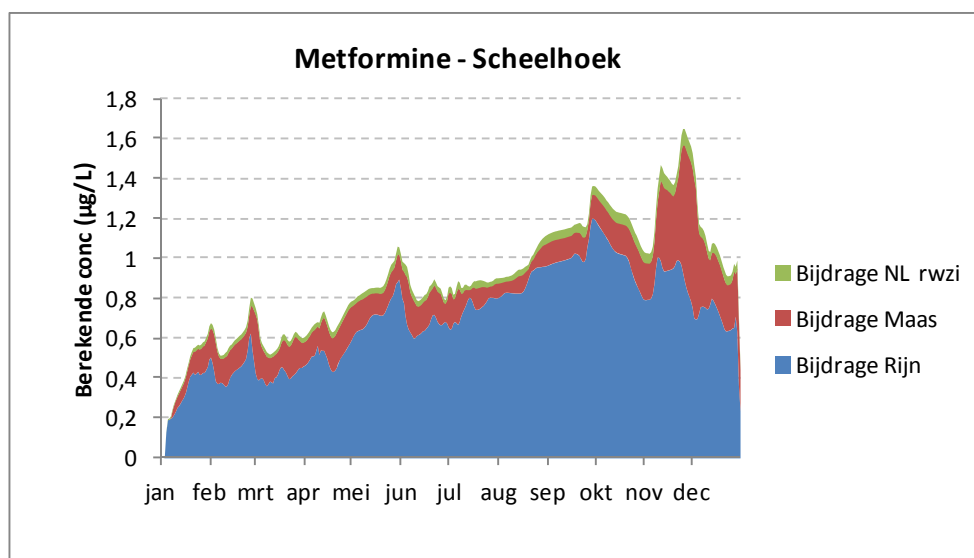
Ondanks het feit dat bij Gat van de Kerksloot en Andelse Maas het aandeel water via zijrivieren (inclusief rwzi's die daarop lozen) relatief groot is, met name in droge periodes wanneer dit aandeel van dezelfde orde grootte is als het aandeel Maaswater, is het effect van de Maas op de concentratie groter door de relatief grotere vracht metformine die via de Maas vanuit het buitenland wordt aangevoerd. Bij Andelse Maas speelt daarnaast het inregeleffect van de modelberekeningen een rol, aangezien het initieel aanwezige water de eerste maanden van de modelberekeningen dominant is (Zie Bijlage I).

Figuur 5.3 laat zien dat de berekende concentratie metformine bij Nieuwegein vrijwel geheel wordt bepaald door aanvoer via de Rijn vanuit het buitenland. Dit geldt ook voor Bergambacht. Ook bij Nieuwersluis is de bijdrage via de Rijn het grootst, maar is ook de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's belangrijker. Dit

wordt veroorzaakt door het feit dat bij Nieuwersluis het aandeel water vanuit zijrivieren (inclusief rwzi's die daarop lozen) relatief groot is (Zie Bijlage I).

De concentratie bij Scheelhoek, gelegen aan het Haringvliet, wordt beïnvloed door zowel Rijn- als Maaswater. Zoals te zien in draagt de Rijn het grootste deel bij aan zowel het aandeel water als de concentratie metformine ter plekke van het innamepunt (Figuur 5.4). Vergeleken met carbamazepine (Figuur 3.3) is de bijdrage van de Maas echter groter aan de concentratie metformine.

De modelberekeningen laten zien dat het buitenlandse aandeel via Rijn en Maaswater en het Nederlandse aandeel via rwzi's, sterk kan verschillen per rivier en per innamepunt. Dit heeft ook implicaties voor het soort maatregelen die het meest effectief is om concentraties bij deze innamepunten te verlagen.



Figuur 5.4 Aandeel Nederlandse rwzi's, Rijn en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale berekende concentratie metformine bij het innamepunt Scheelhoek aan het Haringvliet voor een hydrologisch gemiddeld jaar.

5.4 Gevoeligheidsanalyse

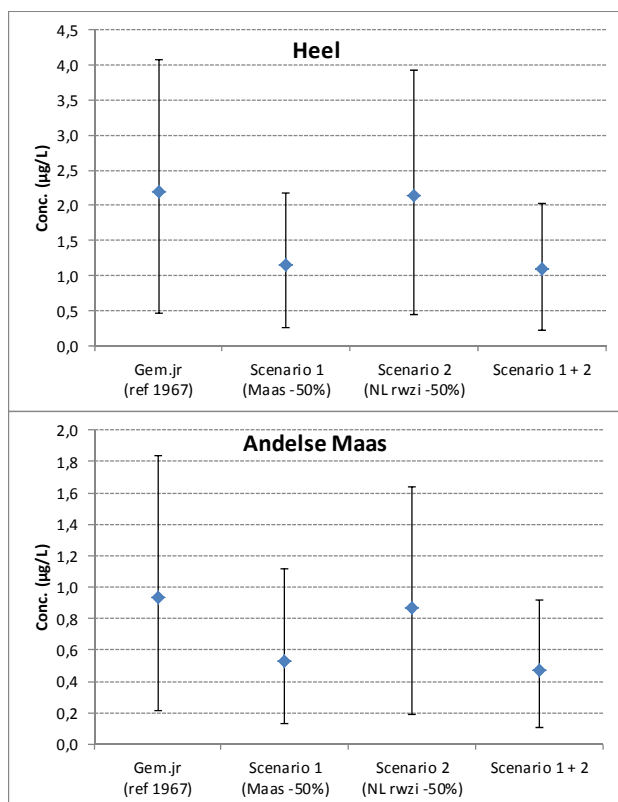
De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in Bijlage II. Hieruit blijkt voor de Maas-innamepunten dat voor de extreme variant met maximale aanvoer via de Maas, en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie metformine bij alle innamepunten voornamelijk door aanvoer via de Maas wordt bepaald. Voor de andere extreme variant, met minimale aanvoer via de Maas en maximale emissies via Nederlandse rwzi's, wordt de concentratie metformine bij Gat van de Kerksloot en Andelse Maas juist door emissies vanuit Nederlandse rwzi's bepaald. Bij Heel wordt de concentratie in dat geval ook voor bijna de helft bepaald door Nederlandse rwzi's, met name in de zomerperiode. Deze situatie is vergelijkbaar met een droog jaar met lage afvoeren van de Maas, zoals het droge 1976 (modelresultaten niet getoond). De modelresultaten voor de Maas zijn dus gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

Voor de Rijn-innamepunten blijkt dat voor de extreme variant met minimale aanvoer via de Rijn en maximale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie metformine bij Nieuwegein en Bergambacht nog altijd grotendeels

door de Rijn wordt bepaald. Bij Nieuwersluis is in dit geval de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's dominant. Voor de andere extreme variant, met maximale aanvoer via de Rijn en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, wordt de concentratie metformine bij alle de Rijn-innamepunten bijna geheel bepaald door de Rijn. De modelresultaten voor de Rijn zijn dus beperkt gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer, met name voor Nieuwegein en Bergambacht.

5.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater

Om in beeld te brengen hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas wordt beïnvloed door een eventuele aanpak van emissiebronnen, zijn 3 mogelijke scenario's beschouwd, namelijk afname van de vracht die via Rijn en Maas ons land binnenkomt met 50%, dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's met 50%, en een combinatie van beide.

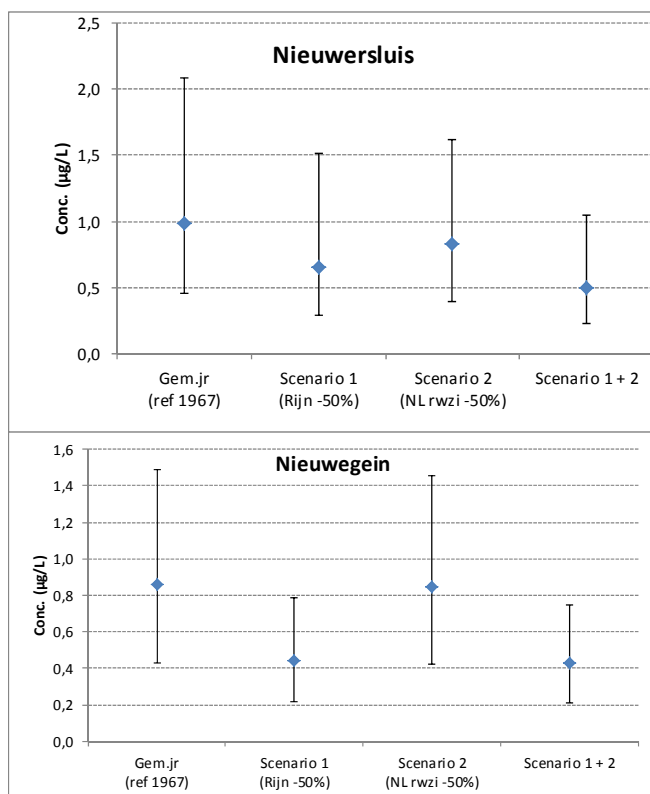


Figuur 5.5 Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie metformine bij de innamepunten Heel en Andelse Maas (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/2.2)

Figuur 5.5 toont het door het model berekende effect van de drie scenario's op de concentraties metformine bij de innamepunten langs de Maas. Hieruit blijkt dat bij Heel een afname van de vracht via de Maas met 50% vrijwel het gehele effect bepaalt. Het effect van een afname van de vracht vanuit Nederlandse rwzi's is nihil. Ook bij Gat van de Kerksloot (figuur niet getoond) en Andelse Maas is dit het geval.

Figuur 5.6 toont het door het model berekende effect van de drie scenario's op de concentraties metformine bij de innamepunten langs de Rijn. Hieruit blijkt

dat bij Nieuwegein een afname van de vracht via de Rijn met 50% vrijwel het totale effect bepaalt: een afname van de vracht vanuit Nederlandse rwzi's heeft nauwelijks effect op de concentratie metformine bij deze innamepunten. Ook bij Scheelhoek en Bergambacht (figuren niet getoond) is het effect van de Rijn op de concentratie metformine dominant. Bij Nieuwersluis is de invloed van zijrivieren en dus ook rwzi's die hierop lozen belangrijker; bij dit innamepunt is het effect van beide scenario's ongeveer even groot.



Figuur 5.6 Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie metformine bij de innamepunten Nieuwersluis en Nieuwegein (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/2.2)

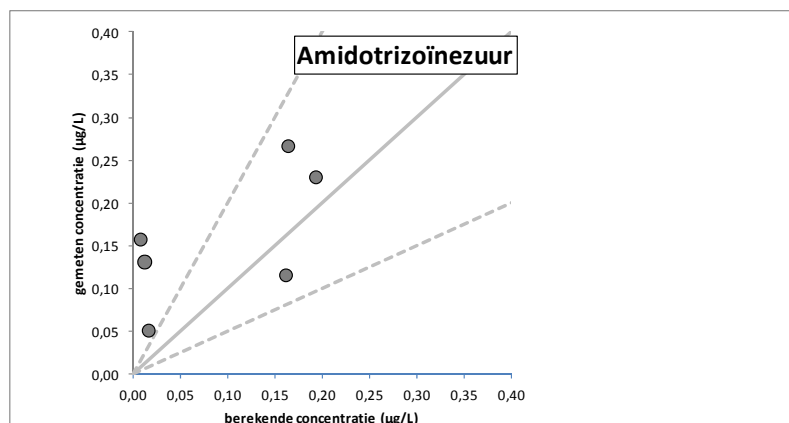
6 Amidotrizoïnezuur

6.1 Algemene informatie

Amidotrizoïnezuur is een geneesmiddel dat in Nederland is geregistreerd als röntgencontrastmiddel. Röntgencontrastmiddelen worden breed toegepast binnen de stroomgebieden van Rijn en Maas, zowel in het Nederlandse deel als daarbuiten. Emissies van röntgencontrastmiddelen zijn niet alleen afkomstig van ziekenhuizen. Aangezien veel ambulante patiënten na een radiologisch onderzoek in een ziekenhuis deze contrastmiddelen pas thuis uitscheiden, worden ook aanzienlijke concentraties aangetroffen in afvalwater afkomstig van huishoudens. Amidotrizoïnezuur wordt frequent aangetroffen in oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater in concentraties hoger dan $0.1 \mu\text{g/L}$, de streefwaarde die wordt gehanteerd door de internationale koepelorganisaties van waterleidingbedrijven langs de grote Europese rivieren [26]. De stof is opgenomen in het monitoringprogramma van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn [27]. Meer informatie over gebruik, toxiciteit en inmiddels afgeleide milieurisicogrenzen is beschreven door [3].

6.2 Vergelijking modelresultaten met metingen

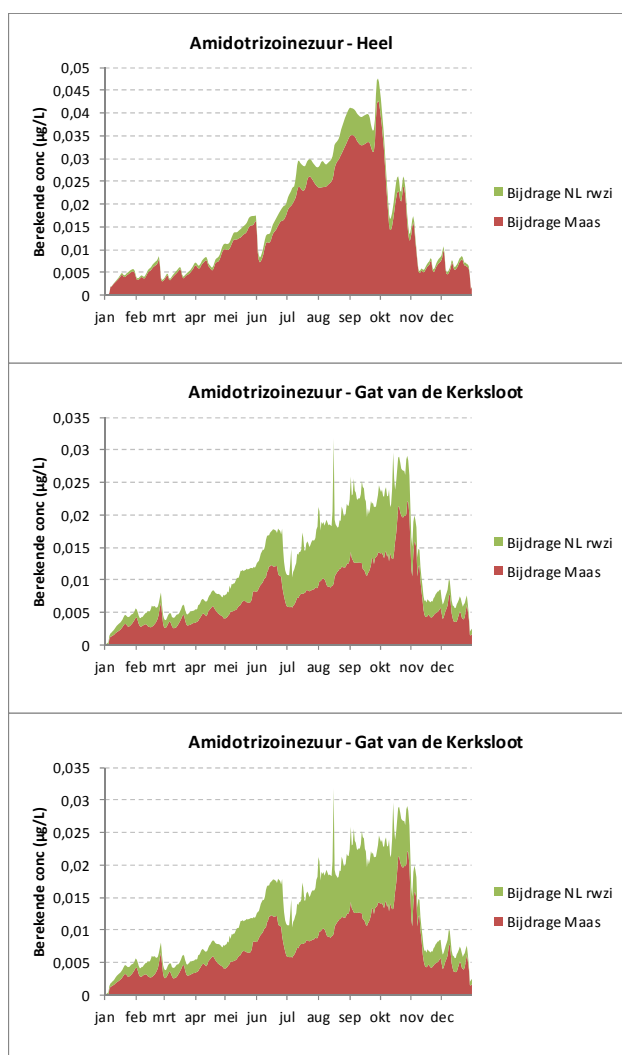
De door het model berekende concentraties zijn vergeleken met beschikbare metingen bij de innamepunten voor drinkwater. Figuur 6.1 toont voor 6 innamepunten voor drinkwater een vergelijking tussen de door het model berekende jaargemiddelde concentraties voor een hydrologisch karakteristiek gemiddeld jaar (1967) en de gemiddelde gemeten concentraties in de periode 2009-2012 (m.u.v. Heel waarvoor alleen meetdata uit 2013 beschikbaar waren). Uit Figuur 6.1 blijkt dat de berekeningen voor vier innamepunten maximaal een factor 2 verschillen van de gemeten concentraties. Voor twee innamepunten langs de Maas (Andelse Maas en Gat van de Kerksloot), zijn de modelberekeningen een ordegrootte lager dan de metingen.



Figuur 6.1 Vergelijking gemiddelde gemeten concentratie 2009-2012 (bron: RIWA database Nieuwegein) met berekende concentratie bij de innamepunten Brakel, Heel (alleen meetdata 2013), Keizersveer, Nieuwegein, Nieuwersluis en Stellendam. De lijnen tonen 1:2, 1:1 en 2:1 ratio's van de gemeten:berekende concentraties.

6.3 Bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan concentraties bij innamepunten

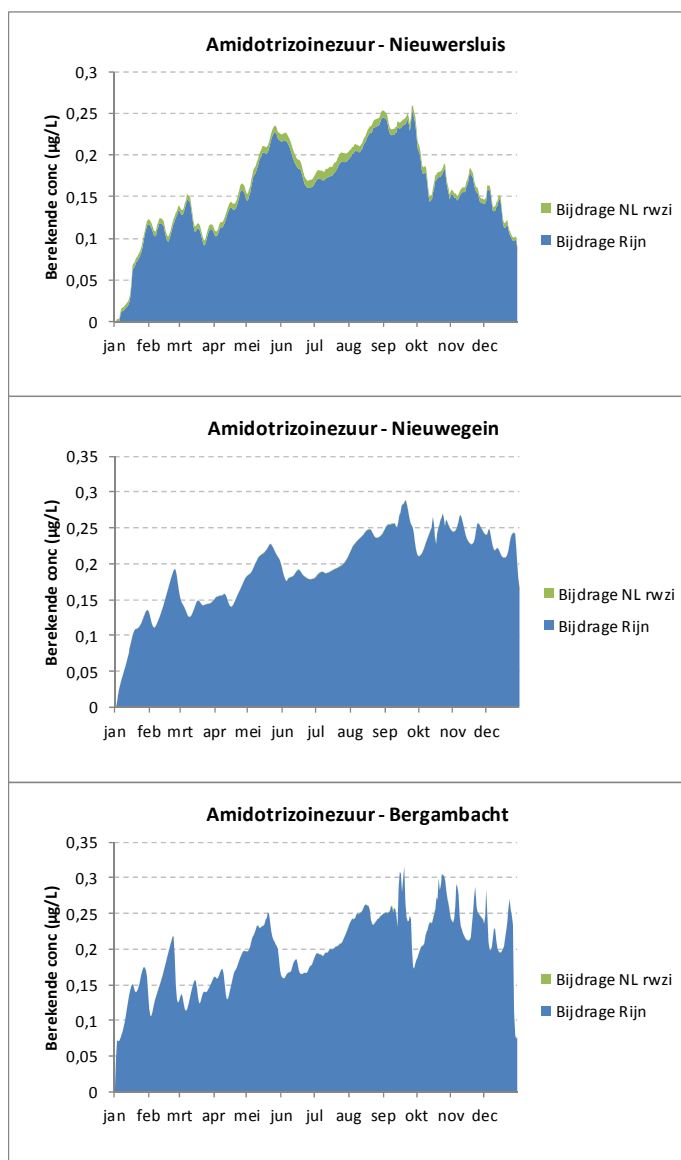
De modelberekeningen geven inzicht in de bijdrage van binnenlandse en buitenlandse emissies aan de concentraties en de herkomst van het water. Figuur 6.2 laat zien dat de berekende concentratie amidotrizoïnezuur bij Heel voornamelijk wordt bepaald door aanvoer via de Maas vanuit het buitenland. Bij de meer benedenstrooms gelegen innamepunten Gat van de Kerksloot en Andelse Maas is de Nederlandse bijdrage vanuit zijrivieren (inclusief rwzi's die daarop lozen) groter. Bij Andelse Maas speelt daarnaast het inregeleffect van de modelberekeningen een rol, aangezien het initieel aanwezige water de eerste maanden van de modelberekeningen dominant is (Zie Bijlage I).



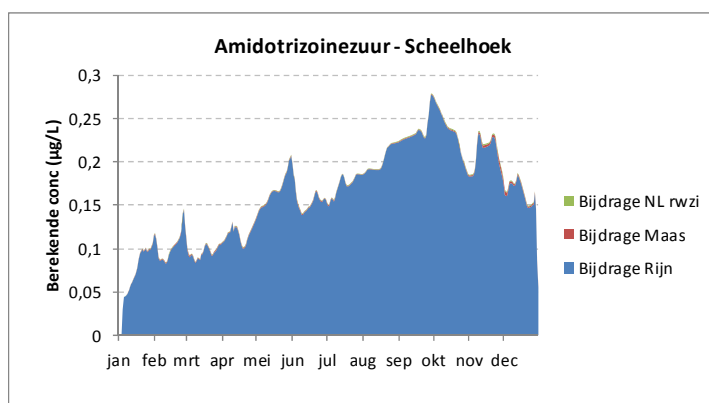
Figuur 6.2 Aandeel Nederlandse rwzi's en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale concentratie amidotrizoïnezuur bij de innamepunten Heel, Gat van de Kerksloot en Andelse Maas.

Figuur 6.3 laat zien dat de berekende concentratie amidotrizoïnezuur bij alle Rijn-innamepunten volledig wordt bepaald door aanvoer via de Rijn vanuit het buitenland. Dit geldt ook voor Nieuwersluis waar het aandeel water vanuit zijrivieren (inclusief rwzi's die daarop lozen) relatief groot is (Zie Bijlage I).

Ook bij Scheelhoek, gelegen aan het Haringvliet, dat wordt beïnvloed door zowel Rijn- als Maaswater, wordt de concentratie bij het innamepunt volledig bepaald door aanvoer via de Rijn.



Figuur 6.3 Aandeel Nederlandse rwzi's en Rijnwater vanuit het buitenland aan de totale concentratie amidotrizoïnezuur bij de innamepunten Nieuwersluis, Nieuwegein en Bergambacht.



Figuur 6.4 Aandeel Nederlandse rwzi's, Rijn- en Maaswater vanuit het buitenland aan de totale concentratie amidotrizoïnezuur bij het innamepunt Scheelhoek aan het Haringvliet.

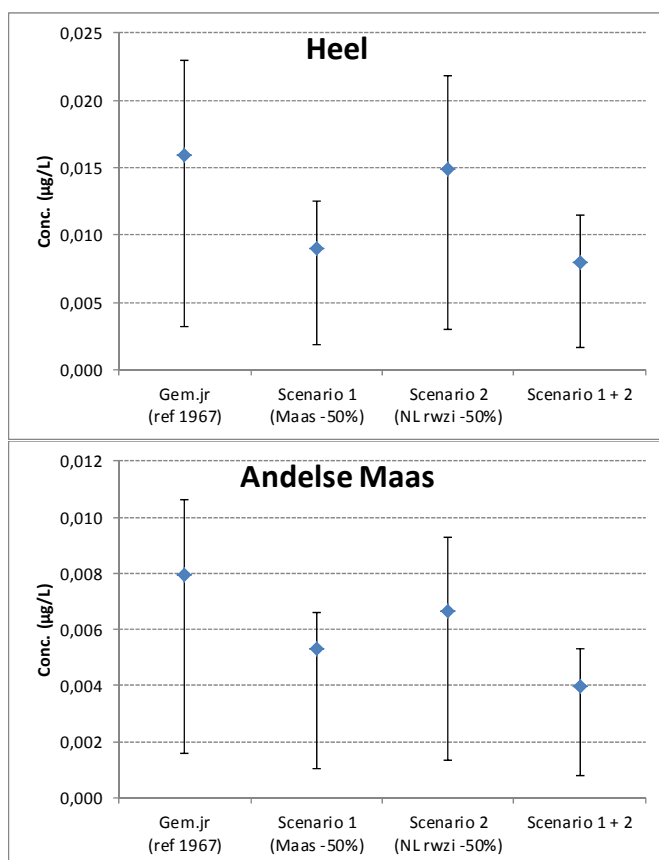
6.4 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in Bijlage II. Hieruit blijkt voor de Maas-innamepunten dat voor de extreme variant met maximale aanvoer via de Maas en minimale emissies via Nederlandse rwzi's, de concentratie amidotrizoïnezuur bij alle innamepunten volledig door aanvoer vanuit de Maas wordt bepaald. Ook bij minimale aanvoer via de Maas, en maximale emissies via Nederlandse rwzi's, wordt de concentratie amidotrizoïnezuur bij Heel nog altijd voor de helft door aanvoer via de Maas bepaald. Bij Gat van de Kerksloot en Andelse Maas wordt de concentratie dan voornamelijk door emissies vanuit Nederlandse rwzi's bepaald. Deze situatie is vergelijkbaar met een droog jaar met lage afvoeren van de Maas, zoals het droge 1976 (modelresultaten niet getoond). De modelresultaten voor de Maas zijn dus gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

Voor de Rijn-innamepunten blijkt dat voor de extreme varianten de concentratie amidotrizoïnezuur bij Nieuwegein, Bergambacht bijna volledig wordt bepaald door de Rijn. Dit geldt in iets mindere mate ook voor Nieuwersluis. De modelresultaten voor de Rijn zijn dus met name bij Nieuwegein en Bergambacht beperkt gevoelig voor de gehanteerde modelinvoer.

6.5 Effecten van dalende emissies op waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater

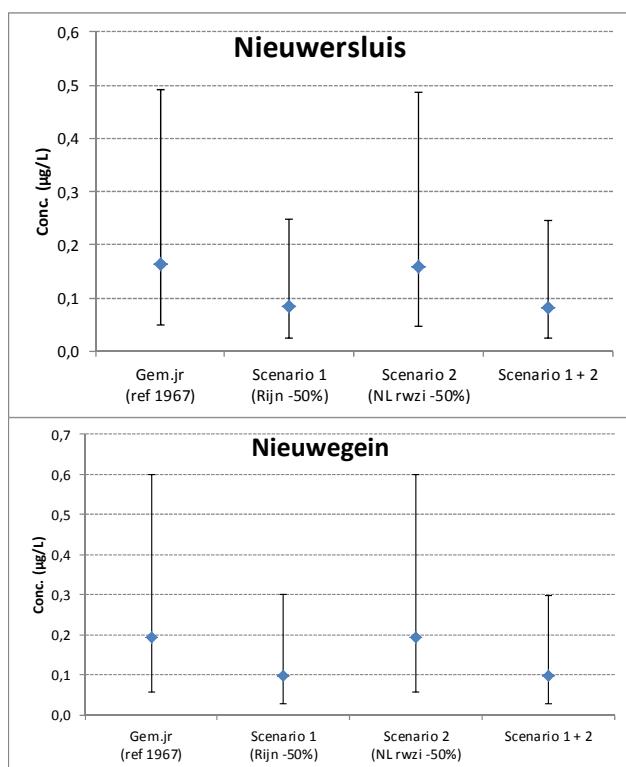
Om in beeld te brengen hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas wordt beïnvloed door een eventuele aanpak van emissiebronnen, zijn 3 mogelijke scenario's beschouwd, namelijk: afname van de vracht die via Rijn en Maas ons land binnenkomt met 50%, dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's met 50%, en een combinatie van beide.



Figuur 6.5 *Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie amidotrizoïnezuur bij de innamepunten Heel en Andelse Maas (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/2.2)*

Figuur 6.5 toont het door het model berekende effect op de concentraties amidotrizoïnezuur bij de Maas-innamepunten Heel en Andelse Maas. Hieruit blijkt dat scenario 1 (afname van de vracht via de Maas met 50%) het grootste effect heeft. Maar bij Andelse Maas (en ook Gat van de Kerksloot, figuur niet getoond) draagt scenario 2 (afname van emissies vanuit Nederlandse rwzi's met 50 procent) ook een substantieel (circa 1/3) deel bij aan de totale afname.

Figuur 6.6 toont het door het model berekende effect op de concentraties amidotrizoïnezuur bij de Rijn-innamepunten Nieuwegein en Nieuwersluis. Hieruit blijkt bij beide innamepunten dat scenario 1 (afname van de vracht via de Rijn) het totale effect bepaalt. Hetzelfde geldt voor Bergambacht (figuur niet getoond).



Figuur 6.6 Berekende effect van 3 emissie-reductie scenario's op de gemiddelde concentratie amidotrizoïnezuur bij de innamepunten Nieuwersluis en Nieuwegein (error bars tonen min en max o.b.v. emissies uit Tabel 2.1/2.2)

7 Discussie, conclusies en aanbevelingen

7.1 Discussie

Hoewel de spreiding in de berekeningen nog groot is, geven de modelsimulaties op landelijke schaal inzicht in de factoren die bepalend zijn voor de concentraties van de vier geneesmiddelen bij de innamepunten voor drinkwater langs de grote rivieren Rijn en Maas. Er is in deze studie niet gekeken naar kleinere, lokale wateren in Nederland, waar de verhouding tussen Nederlandse en buitenlandse bijdrage heel anders kan zijn.

De resultaten in deze studie zijn in lijn met [19] waar wordt geconcludeerd dat circa de helft van de vracht pesticiden en geneesmiddelen in het Maas-stroomgebied vanuit Nederland komt. Een belangrijke reden hiervoor is het feit dat circa 40% van de inwoners in het Maas-stroomgebied uit Nederlanders bestaat, tegenover circa 22% van de inwoners in het Rijn-stroomgebied [29].

Afbraak in het milieu tijdens het transport door het watersysteem is niet meegenomen in de modelberekeningen. Dit leidt waarschijnlijk tot een overschatting van de modelberekeningen, hoewel [30] op basis van hun studie tot de conclusie komen dat amidotrizoïnezuur, carbamazepine, metoprolol en metformine zich relatief conservatief gedragen.

Er wordt in deze studie niet ingegaan op de maatregelen die kunnen leiden tot de gesimuleerde dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's. Behalve door verbeterde rioolwaterzuivering (een zogenaamde *end-of-pipe* maatregel) kunnen deze ook het gevolg zijn van brongerichte maatregelen (zoals een afnemend gebruik door ander voorschrijfgedrag). Aangezien röntgencontrastmiddelen, zoals amidotrizoïnezuur, in tegenstelling tot carbamazepine, metformine en metoprolol niet chronisch gebruikt worden en een aantal zeer specifieke eigenschappen hebben, kan het voor deze middelen lonen om specifiek naar maatregelen te kijken, zoals gescheiden inzameling van urine en/of faeces. Röntgencontrastmiddelen worden namelijk voor diagnostiek gebruikt en vaak binnen 24 uur weer uitgescheiden.

Bij de gesimuleerde dalende emissies vanuit Nederlandse rwzi's is aangenomen dat deze daling bij *alle* rwzi's optreedt. In werkelijkheid zal het effect bij individuele rwzi's verschillen.

7.2 Conclusies

Doel van het onderzoek was om in beeld te brengen hoe de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater langs Rijn en Maas wordt beïnvloed door emissies van vier geneesmiddelen vanuit Nederlandse rwzi's versus aanvoer vanuit het buitenland. Tabel 7.1 toont een samenvattend overzicht van de conclusies op basis van de modelberekeningen. Hieruit blijkt dat de bijdrage vanuit het buitenland en de bijdrage vanuit Nederland sterk kan verschillen per stof, per rivier, per innamepunt en per afvoersituatie.

Tabel 8.1 *Samenvattend overzicht conclusies berekende concentraties geneesmiddelen bij innamepunten van drinkwater.*

Rivier	Innamepunt	Carbamazepine		Metoprolol		Metformine		Amidotrizoïnezuur	
Maas	Heel		*				*		*
	Gat van de Kersloot		*				*		*
	Andelse Maas		*				*		*
Rijn + Maas	Scheelhoek				*				
Rijn	Nieuwegein				*				
	Nieuwersluis		*		*		*		*
	Bergambacht				*				

Legenda

	Buitenlandse aanvoer via Rijn meest bepalend
	Buitenlandse aanvoer via Maas meest bepalend
	Aanvoer via NL rwzi's meest bepalend
*	Zowel aanvoer via Maas als via NL rwzi's (vooral in droog jaar) van belang
*	Zowel aanvoer via Rijn als via NL rwzi's (vooral in droog jaar) van belang

Van de vier geneesmiddelen is voor metoprolol de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's aan de concentraties ter plekke van de innamepunten voor drinkwater het grootst. Dit heeft te maken met de relatief hoge consumptie van dit middel in Nederland. Voor carbamazepine, metformine en amidotrizoïnezuur is ook de buitenlandse bijdrage van belang.

Bij de Maas-innamepunten zijn zowel de buitenlandse aanvoer als emissies vanuit Nederlandse rwzi's, met name in droge periodes, van belang. Zoals verwacht neemt de invloed van Nederlandse rwzi's toe bij de meer stroomafwaarts gelegen Maas-innamepunten. Bij de Rijn-innamepunten is de buitenlandse aanvoer via de Rijn belangrijker, met uitzondering van Nieuwersluis waar de invloed van zijrivieren en dus ook Nederlandse rwzi's die hierop lozen belangrijker is.

In droge periodes of jaren met lage rivierafvoeren is vooral bij de Maas-innamepunten de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's belangrijker dan buitenlandse aanvoer via de Maas. Bij de Rijn-innamepunten met uitzondering van Nieuwersluis, is daarentegen zelfs in droge periodes de buitenlandse aanvoer via de Rijn nog steeds de meest bepalende factor voor de concentraties carbamazepine, metformine en amidotrizoïnezuur. Een uitzondering vormt metoprolol, het typisch "Nederlandse" geneesmiddel waarvoor de bijdrage vanuit Nederlandse rwzi's dan juist belangrijker is.

Bovenstaande heeft implicaties voor het soort maatregelen dat het meest effectief is om concentraties bij de innamepunten voor drinkwater te verlagen. Bij alle innamepunten langs zowel Rijn als Maas zal de waterkwaliteit profiteren van dalende emissies vanuit het buitenland. Bij de innamepunten langs de Maas zullen afnemende emissies vanuit Nederlandse rwzi's echter een groter effect hebben dan langs de Rijn, met name bij de benedenstrooms gelegen innamepunten. Deze conclusies zijn gebaseerd op een landelijk model met daarbij passende schematisatie. Lokaal kan het beeld anders zijn, evenals bij kleinere wateren in Nederland die niet zijn meegenomen in deze studie.

7.3 Aanbevelingen

7.3.1 *Implicaties voor beleid*

Nederland heeft als beleidsdoelstelling om de belasting van het oppervlaktewater met geneesmiddelen terug te dringen. Daarnaast ontwikkelt de Europese Commissie momenteel een strategie omtrent de aanpak van waterverontreiniging door restanten van geneesmiddelen. Bij het definiëren van mogelijke maatregelen dient een afweging gemaakt te worden tussen effectiviteit van maatregelen in Nederland versus het buitenland. De in deze studie gepresenteerde modelsimulaties kunnen hierbij ondersteunen. Voor de rivieren Rijn en Maas vergt dit een internationale aanpak met een combinatie van maatregelen in Nederland en bovenstroomse landen. De initiatieven in Duitsland en Zwitserland om een deel van de rwzi's te gaan voorzien van een aanvullende zuiveringsstap zullen leiden tot afnemende concentraties bij de Nederlandse innamepunten voor drinkwater langs de Rijn. Dit geldt ook voor de Maas, maar daar hebben emissies vanuit Nederlandse rwzi's ook een grote invloed op de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater.

Bij de afweging van mogelijke maatregelen dient tevens aandacht te zijn voor verschillen tussen landen met betrekking tot het gebruik van deze geneesmiddelen. Zo blijkt metoprolol relatief veel in Nederland te worden gebruikt.

7.3.2 *Vervolgonderzoek- kennishiaten*

De berekende emissies die als model-invoer zijn gebruikt betreffen gemiddelden op basis van de thans beschikbare meetdata. Voor de rivier de Maas en voor rwzi-effluënten zijn deze meetdata nog beperkt beschikbaar. Wanneer in de toekomst meer meetgegevens beschikbaar komen, kunnen de modelberekeningen geactualiseerd en verbeterd worden. Wanneer de modelberekeningen voor recente jaren zouden worden uitgevoerd, kunnen de gemodelleerde tijdreeksen vergeleken worden met meetdata, zodat het model beter gevalideerd kan worden.

Er zijn gebiedsstudies nodig om het effect van maatregelen op de concentraties geneesmiddelen bij de innamepunten voor drinkwater of lokale watersystemen gedetailleerder in beeld te brengen. Hierbij kan meer gedetailleerde informatie over het hydrologische systeem, locaties waar individuele rwzi's lozen alsmede overige bronnen, zoals ziekenhuizen, worden toegevoegd.

8 Literatuur

1. Milieu, M.v.I.e., *Waterkwaliteit. Brief aan de Tweede Kamer*. 2014.
2. Smit, C. and S. Wuijts, *Specifieke verontreinigende en drinkwater relevante stoffen onder de Kaderrichtlijn water: Selectie van potentieel relevante stoffen voor Nederland*. RIVM Rapport 601714022. 2012, RIVM: Bilthoven, the Netherlands. p. 108.
3. Moermond, C.T.A., *Environmental risk limits for pharmaceuticals - Derivation of WFD water quality standards for carbamazepine, metoprolol, metformin and amidotrizoic acid*. RIVM Letter report 270006002/2014. 2014, RIVM, Bilthoven, the Netherlands.
4. Wuijts, S., et al., *Effecten klimaatontwikkeling op de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater - Analyse van stofberekeningen*. RIVM rapport 609716004/2012. 2012, RIVM, Bilthoven, the Netherlands. p. 51.
5. Wuijts, S., et al., *Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater. Van knelpunten naar maatregelen*. RIVM rapport 609716007/2013. 2013, RIVM, Bilthoven, the Netherlands. p. 122.
6. Derksen, A. and T.t. Laak, *Humane geneesmiddelen in de waterketen*. STOWA rapport 2013-06/KWR rapport 2013-006. 2013, STOWA/KWR: Amersfoort, the Netherlands.
7. Oosterhuis, M., F. Sacher, and T.t. Laak, *Prediction of concentration levels of metformin and other high consumption pharmaceuticals in wastewater and regional surface water based on sales data*. Science of the Total Environment, 2013. 442: p. 380-388.
8. Vergouwen, A.A., et al., *Gebiedsstudie geneesmiddelen provincie Utrecht*. STOWA rapport 2011-09. 2011.
9. Emissieregistratie. 2013.
10. Riwa, *Jaarrapport 2009 - De Rijn*. 2009, Vereniging van Rivierwaterbedrijven.
11. Riwa, *Jaarrapport 2009 - De Maas*. 2009.
12. Riwa, *Jaarrapport 2010 - De Rijn*. 2010, Vereniging van Rivierwaterbedrijven.
13. Riwa, *Jaarrapport 2010 - De Maas*. 2010.
14. Riwa, *Jaarrapport 2011 - De Rijn*. 2011, Vereniging van Rivierwaterbedrijven.
15. Riwa, *Jaarrapport 2011 - De Maas*. 2011.
16. Riwa, *Jaarrapport 2012 - De Rijn*. 2012, Vereniging van Rivierwaterbedrijven.
17. Riwa, *Jaarrapport 2012 - De Maas*. 2012.
18. Laak, T.t., et al., *Temporal and spatial trends of pharmaceuticals in the Rhine*. RIWA report 169. 2010, RIWA: Nieuwegein, the Netherlands.
19. Houtman, C.J., et al., *Multicomponent snapshot of pharmaceuticals and pesticides in the river Meuse basin*. Environmental Toxicology and Chemistry, 2013. 32(11): p. 2449-2459.
20. Laak, T.t., H. Tolkamp, and J. Horman, *Geneesmiddelen in de Watercyclus in Limburg. Fase 1: VOorkomen, herkomst en ernst van geneesmiddelen in het watersysteem*. KWR 2013.011. 2013.
21. RIWABase, *Water Quality Database of the Association of River Waterworks, the Netherlands*, RIWA, Editor. 2013: Nieuwegein, the Netherlands.
22. CBG. 2013 16-05-2013]; Available from: www.cbg-meb.nl.

23. Rijkswaterstaat, *Regio-overstijgende aanvulling gebiedsdossiers Maas*. concept 11-12-2013.
24. Rijkswaterstaat, *Regio-overstijgende aanvulling gebiedsdossiers Rijn*. Concept 11-12-2013.
25. Van der Aa, N.G.F.M., et al., *Geneesmiddelen in bronnen voor drinkwater. Monitoring, toekomstig gebruik en beleidsmaatregelen*. 2008, RIVM: Bilthoven, the Netherlands.
26. IAWR, *Memorandum regarding the protection of European rivers and watercourses in order to protect the provision of drinking water*. 2013.
27. ICBR/IKSR/CIPR, *Rijnstoffenlijst 2011*. Koblenz, Duitsland, *Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn*. 2011.
28. Thomas L. ter Laak, P.J.F.K., Harry Tolkamp, Jan Hofman, *Different compositions of pharmaceuticals in Dutch and Belgian rivers explained by consumption patterns and treatment efficiency*. Environmental Science and Pollution Research, 2014.
29. N.G.F.M. van der Aa, G.J.K., J.E. van Montfoort and J.F.M. Versteegh, *Demographic projections of future pharmaceutical consumption in the Netherlands*. Water Science & Technology, 2011. 63(4): p. 825-831.
30. Hut, R., Nick van de Giesen and Corine J. Houtman, *Medicinal footprint of the population of the Rhine basin*. Environmental Research Letters 2013. 8(044057).

Bijlage 1 Opzet modelberekeningen

Deze Bijlage is gebaseerd op [4] en [5] en beschrijft op hoofdlijnen de modelopzet die gehanteerd is voor het berekenen van de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwaterproductie. Daarnaast worden de gehanteerde aannames, bruikbaarheid en de beperkingen van het model besproken en wordt afgesloten met een aantal suggesties voor verbeteringen die in het model doorgevoerd kunnen worden.

Modelopzet

Voor [4], [5] en deze studie is gebruikgemaakt van het Landelijk Sobek Model (LSM) versie 1.09. Deze versie vormt onderdeel van het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW). Het model bevat de hoofdwatergangen van Nederland en de belangrijkste regionale watergangen. De waterafvoeren vanuit de regio worden berekend met behulp van NHI 3.0 (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium versie 3.0). Het aantal rwzi's dat in de berekeningen is meegenomen, is uitgebreid van ruim 130 in 2012 tot ongeveer 300 rwzi's in 2013. Hiermee zijn (bijna) alle Nederlandse rwzi's meegenomen in de modelberekeningen. Industriële lozingen, emissies van landbouw en afspoeling van wegen en dergelijke, zijn in de berekeningen niet meegenomen. Binnen het DPZW wordt alleen de hydrodynamica doorgerekend. Voor deze studie is een waterkwaliteitsmodel toegevoegd om concentraties te kunnen berekenen.

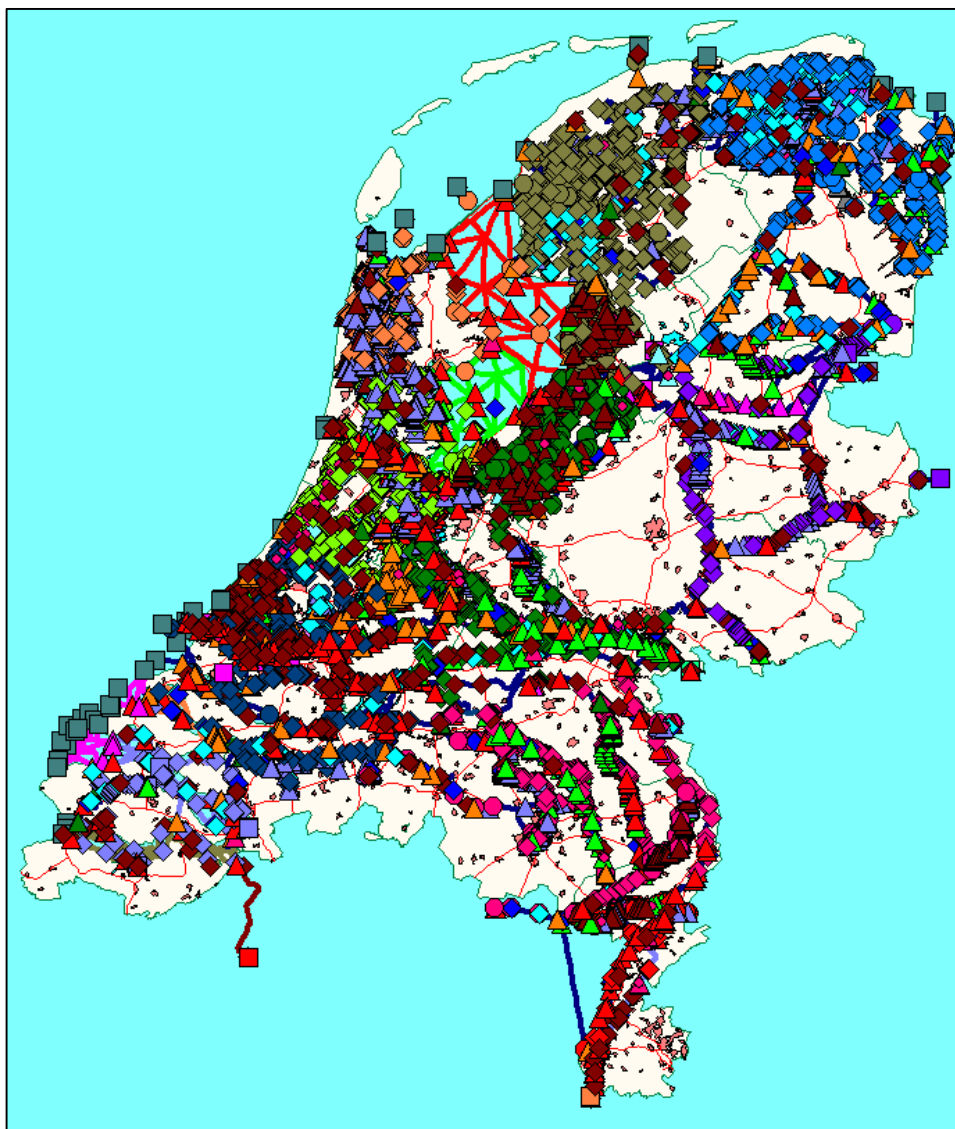
Gebruikt model software waterkwantiteit

Voor de studie is gebruikgemaakt van Sobek versie 2.12.004. Daarnaast zijn specifiek voor deze studie voor een aantal rekenkernen recentere versies gebruikt. Dit zijn:

- Preprocessor Flow (parsen.exe, versie 2.6.10.26447);
- Flow rekenkern (delftflow.exe, versie 1.1.0.26523).

Aanvullingen ten behoeve van waterkwaliteit

- Het rekengrid is aangemaakt op basis van de fijnste model optie, waarbij segmenten tussen alle rekenpunten worden gegenereerd. Dit betekent dat de waterkwaliteitsmodule dan rekent voor 19.831 segmenten.
- Op de locaties met een rwzi zijn vrachten opgelegd aan het model.
- De uitvoerlocaties zijn dezelfde locaties als gebruikt voor het Deltaprogramma Zoetwater. Hieruit is achteraf een selectie gemaakt. De uitvoerlocatie voor de Andelse Maas was beschikbaar, maar niet representatief; hiervoor is segment 650 geselecteerd. De uitvoerlocatie voor Nieuwegein is gewijzigd in een (beschikbare) locatie dichterbij het innamepunt.
- Verschillen t.o.v. eerdere studie kunnen veroorzaakt zijn door:
 - Fijnere verbeterde schematisatie in LSM;
 - Wijziging rwzi-locaties;
 - Nieuwe versie NHI;
 - Invloed dispersie.



Figuur 1.1 Overzicht van het Landelijke Sobek Model versie 1.09.

Speciale instellingen

- Er is een drempelwaarde voor droogval (5 cm) ingesteld. Hiermee worden waterkwaliteitsprocessen, in deze studie alleen de leeftijdsberekening, uitgezet als de waterdiepte onder deze waarde komt. Deze drempelwaarde is noodzakelijk om voor 1976 W+ 2050 stabiel te kunnen rekenen. Alle scenario's zijn hiermee doorgerekend.
- Zowel in het Deltaprogramma als in deze studie wordt dispersie alleen toegepast op de grote meren (IJsselmeer en Markermeer). De rekenstap is 1 uur, de uitvoerstap is 1 dag. Er is gebruikgemaakt van Rekenschema 21.¹
- Verdamping is dusdanig gemodelleerd dat er geen stof mee verdwijnt. Dit heeft tot gevolg dat bij concentratieberekeningen voor de stofcontinuïteit

¹Schema 21 is een solver die nauwkeurig rekt waar dat mogelijk is op basis van de gehanteerde rekentijdstap. Op plaatsen waar dit niet mogelijk is, wordt teruggevallen op een impliciete iteratieve solver. Deze is robuust, maar minder nauwkeurig (wat leidt tot hoge numerieke dispersie). Door deze techniek wordt het mogelijk om toch snel en zonder modelinstabiliteiten te rekenen.

(een controle parameter) in de zomer een concentratie in water > 1 wordt berekend.

Stoftransportberekeningen

De stoftransportberekeningen zijn uitgevoerd met Delwaq. Dit model maakt gebruik van de resultaten uit de stromingsberekeningen. Op basis van debieten en waterstanden wordt de verspreiding (advectie en diffusie) van een willekeurige stof dynamisch in de tijd bepaald. De gebruiker bepaalt welke stoffen gemodelleerd worden. Voor dit project zijn per geneesmiddel drie tracers gekozen:

- vTR1Rijn staat voor de vracht via de Rijn aan de Nederlandse grens;
- vTR1Maas staat voor de vracht via de Maas aan de Nederlandse grens;
- vTR5RWZI_infl staat voor de vracht via alle Nederlandse rwzi-effluenten.

Voor dit project is gerekend met lozingen in de vorm van vrachten, gebaseerd op gemeten concentraties en debieten. Deze vrachten zijn in de schematisatie op locaties direct naast de bestaande laterale knopen gelegd. Ook voor de grensoverschrijdende lozingen zijn vrachten opgegeven. De vrachten zijn voor de diverse locaties apart opgegeven. De vrachten van de rwzi-effluenten zijn gekoppeld aan het aantal inwoners van het voorzieningsgebied van de rwzi. Initieel zijn alle concentraties op nul gezet.

Gehanteerde aannames bij de modelberekeningen

- Er is uitgegaan van jaargemiddelde vrachten op basis van beschikbare metingen, gebaseerd op het aantal inwoners dat is aangesloten op de rwzi. Dit resulteert in een constante vracht per dag gedurende het jaar die via de Rijn en de Maas en via alle Nederlandse rwzi's het watersysteem in gaan (zie Hoofdstuk 2). Seizoensfluctuaties zijn wel meegenomen via de hydrologie.
- Er is bij de modellering uitgegaan van conservatief transport voor de vier geneesmiddelen: mogelijke afbraak of verwijdering tijdens het transport in het watersysteem is niet meegenomen. Afbraak en verwijdering in rwzi's is niet van toepassing aangezien de invoer in het model bestaat uit vrachten die de rwzi verlaten via het effluent, gebaseerd op het aantal inwoners dat is aangesloten op de rwzi (influent).
- Het gehanteerde model wordt gebruikt voor vraagstukken op landelijke schaal. Om het model toepasbaar te maken voor deelgebieden binnen Nederland, is een verdere verfijning nodig.

Duiding van het model resultaat – herkomst van het water

Om de modelresultaten beter te kunnen verklaren, is de herkomst van het water meegenomen in de berekeningen. Verschillende unieke(bron)groepen van water worden gelabeld met een unieke herkomst tracer. Daarmee is het water in ruimte en tijd te **herleiden** naar een bepaalde bron, zoals de rivierafvoer zelf, de bijdragen van zijbeken (inclusief het water dat hiermee het model binnenstroomt en de daarop plaatsvindende emissies; aangeduid als overige water) en de rwzi's die direct lozen op het watersysteem.

Bruikbaarheid van het model

Schaalniveau

Het Landelijk Sobek Model wordt ingezet voor studies op landelijk schaalniveau. Dit schaalniveau bevat in ieder geval het hoofdwatersysteem (o.a. Rijn, Maas, IJssel, Amsterdam-Rijnkanaal (ARK)) en een groot aantal belangrijke regionale watergangen (o.a. Overijsselse kanalen, Brabantse kanalen, boezemstelsels).

Het model mist de fijne regionale schaal, wat vooral voor de innamepunten in Zuid-Limburg van belang is. Daar is in droge perioden de regionale waterafvoer in dezelfde orde grootte als de buitenlandse aanvoer. Lozingen door rwzi's op zijbeken zijn als directe lozingen op de Maas gemodelleerd. Omdat leeftijdsvariaties tussen verschillende lozingen hiermee niet zijn meegenomen, betekent dit dat de modelresultaten indicatief zijn. Voor de inlaatpunten op de Rijn is dit probleem minder groot, aangezien de buitenlandse aanvoer daar dominant is.

IJsselmeer

Het IJsselmeer is geschematiseerd als een netwerk van 1D-watgangen. Deze zijn bewust in een 'wagenwielvorm' neergelegd. Hiermee zijn opzetten in waterstanden onder invloed van wind goed te voorspellen. Voor stoftransport is deze manier van schematiseren echter te grof, wat betekent dat de berekende concentraties bij innamepunt Andijk indicatief zijn.

Industriële lozingen

In deze studie is specifiek gekeken naar de lozingen door rwzi's. Industriële lozingen zijn niet beschouwd.

Buitenlandse aanvoer

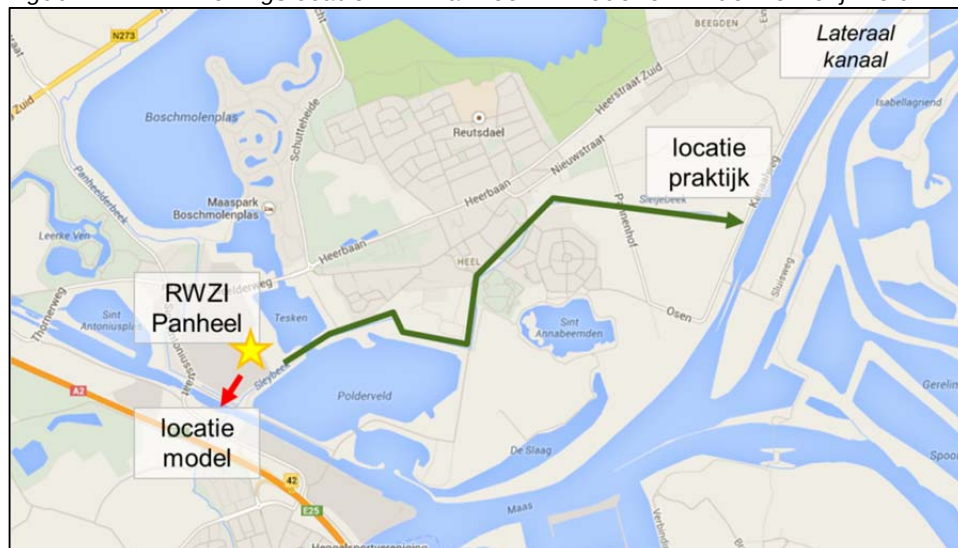
Het Landelijk Sobek Model heeft wateraanvoeren vanuit het buitenland deels meegenomen. Natuurlijk zijn de Rijn en de Maas meegenomen. De wateraanvoer van kleine regionale grensoverschrijdende beken is deels verwerkt in het model (via het NHI). Voor een aantal beken is dit gemodelleerd als een puntlozing (Jeker). De stofvrachten vanuit het buitenland zijn niet expliciet meegenomen. Alleen op de Rijn en de Maas zijn vrachten toegekend bij de grensovergang. Aan kleinere beken als de Jeker is voor de berekeningen geen vracht toegekend. Dit kan leiden tot een onderschatting in de berekening doordat bekend is dat deze tijdens droogte lokaal bepalend voor de waterkwaliteit kunnen zijn.

Exacte locaties van rwzi's in het model

Alle rwzi's in het model zijn automatisch toegekend aan de dichtstbijzijnde watgang in het model. Dit kan lokaal voor afwijkingen zorgen. Mooi voorbeeld hiervan is de rwzi bij Panheel. Deze loost in de praktijk op de Sleijbeek, die in het Lateraal kanaal uitstroomt. In het model is de rwzi geplaatst op het kanaal Wessema-Nederweert (zie

Figuur 1.2). Hierdoor wordt de lozing van de rwzi verdund door Maaswater net bovenstrooms van het Lateraalkanaal en daarna verdeeld over de Maas en het Lateraalkanaal. Er komt in het model dus maar een gedeelte van de vracht van rwzi Panheel in het Lateraalkanaal.

Figuur 1.2 Lozingslocatie rwzi Panheel in model en in de werkelijkheid.



Hoge verblijftijden – processen

In het model zijn delen aan te wijzen waar het water een zeer hoge verblijftijd kent. Voorbeelden zijn de locaties bij de Andelse Maas en Heel. Door deze hoge verblijftijden worden afbraakprocessen belangrijker om mee te nemen in de modelberekeningen.

Tijdens deze studie is bewust gekozen voor een aanpak waarbij deze processen niet meegenomen worden. Bij de interpretatie van de resultaten moet dit echter niet vergeten worden.

Suggesties voor model verbeteringen

Lozingslocaties rwzi's

In het huidige LSM worden de lozingen van rwzi's niet standaard allemaal meegenomen. Voor waterkwaliteitsmodellen zijn deze vaak wel noodzakelijk. Daarom is het aan te bevelen om een database op te zetten met daarin de rwzi's, de exacte lozingslocatie, het ontvangende water en of de watergang expliciet in het Landelijke Sobek model zit. Van de rwzi's die lozen op een watergang die niet expliciet in het model zit, kan een alternatieve watergang en lozingslocatie worden aangewezen.

Buitenlandse aanvoeren

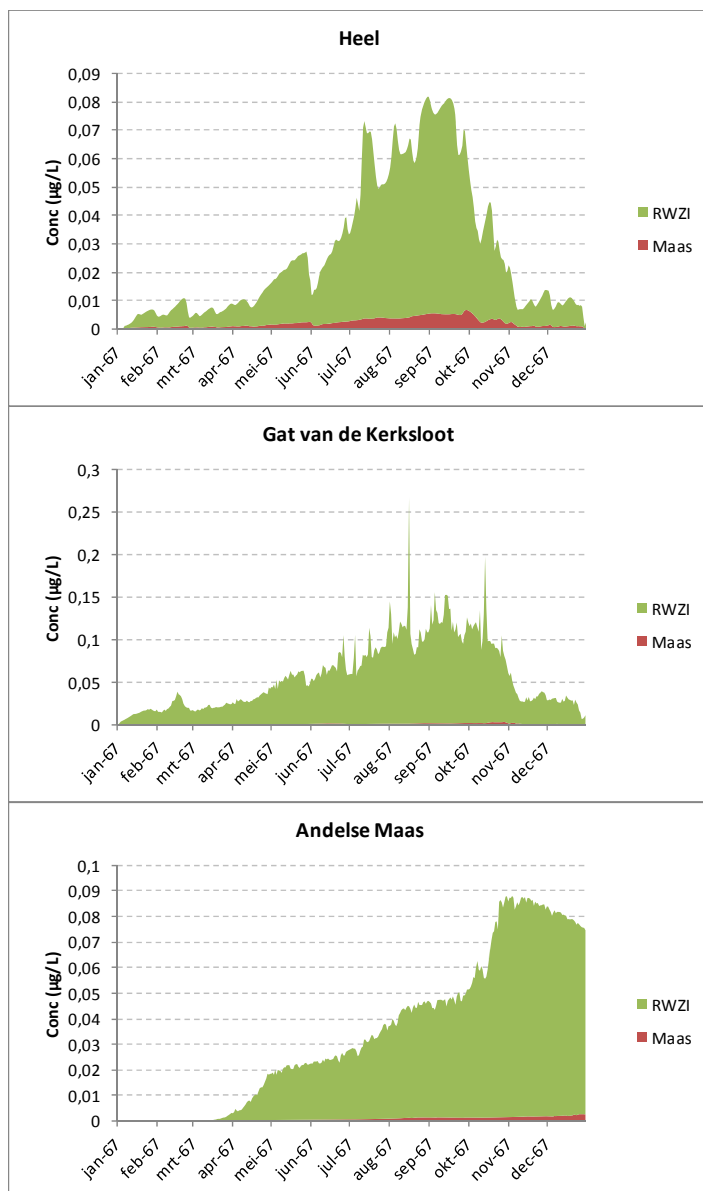
Het is wenselijk om de aanvoer van water en de stofvrachten die daarmee samenhangen vanuit het buitenland op kleinere watergangen expliciet mee te nemen. In het huidige LSM worden deze waterhoeveelheden via NHI meegenomen in de schematisatie via de zogenaamde waterdistricten. De buitenlandse aanvoer wordt dan opgeteld met de afvoer van een district en gesommeerd doorgegeven aan LSM. Er is dan voor dat regionale water geen onderscheid meer te maken tussen het water dat afkomstig is uit Nederland en water dat afkomstig is uit het buitenland. Deze informatie is van belang om emissies aan te kunnen pakken.

Bijlage 2 Gevoeligheidsanalyse

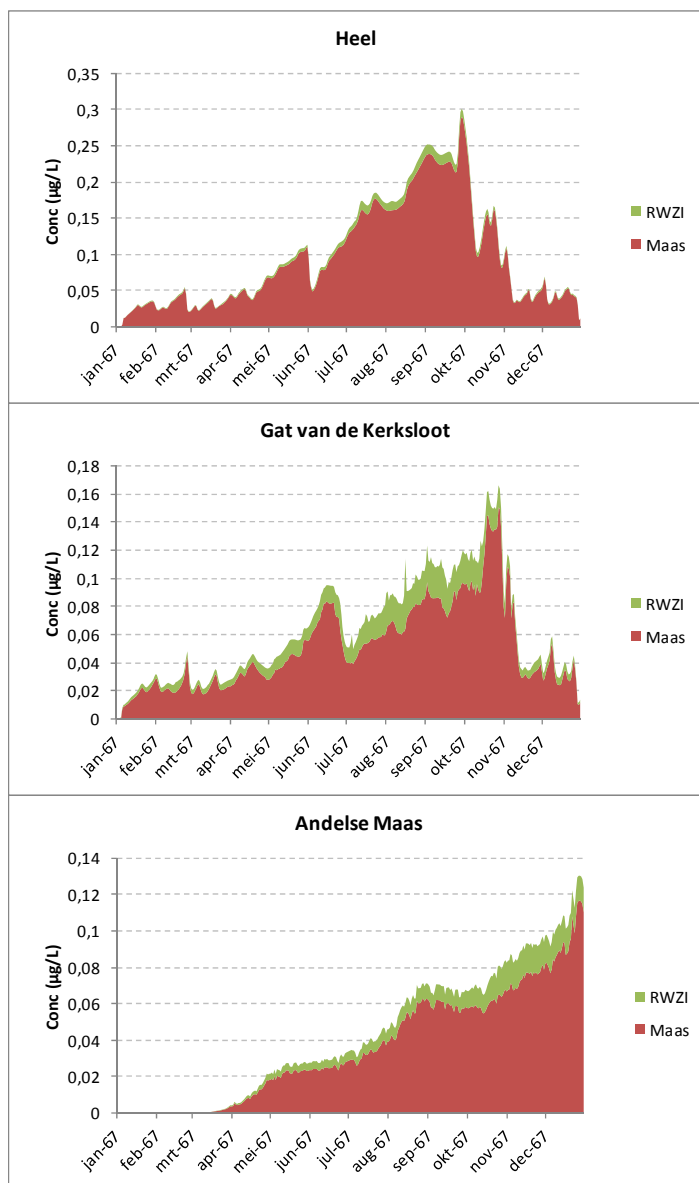
De modelinvoer bestond uit gemiddelde emissies vanuit Nederlandse rwzi-effluenten en gemiddelde vrachten die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen. Deze zijn berekend met behulp van metingen over meerdere jaren, zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Om in beeld te brengen hoe gevoelig de resultaten zijn voor de gehanteerde modelinvoer, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn de modelberekeningen opnieuw uitgevoerd waarbij de twee extremen in beeld zijn gebracht uitgaande van de minima en maxima zoals gepresenteerd in Tabel 2.1 en 2.2. Onderstaande figuren tonen per stof en innamepunt de resultaten:

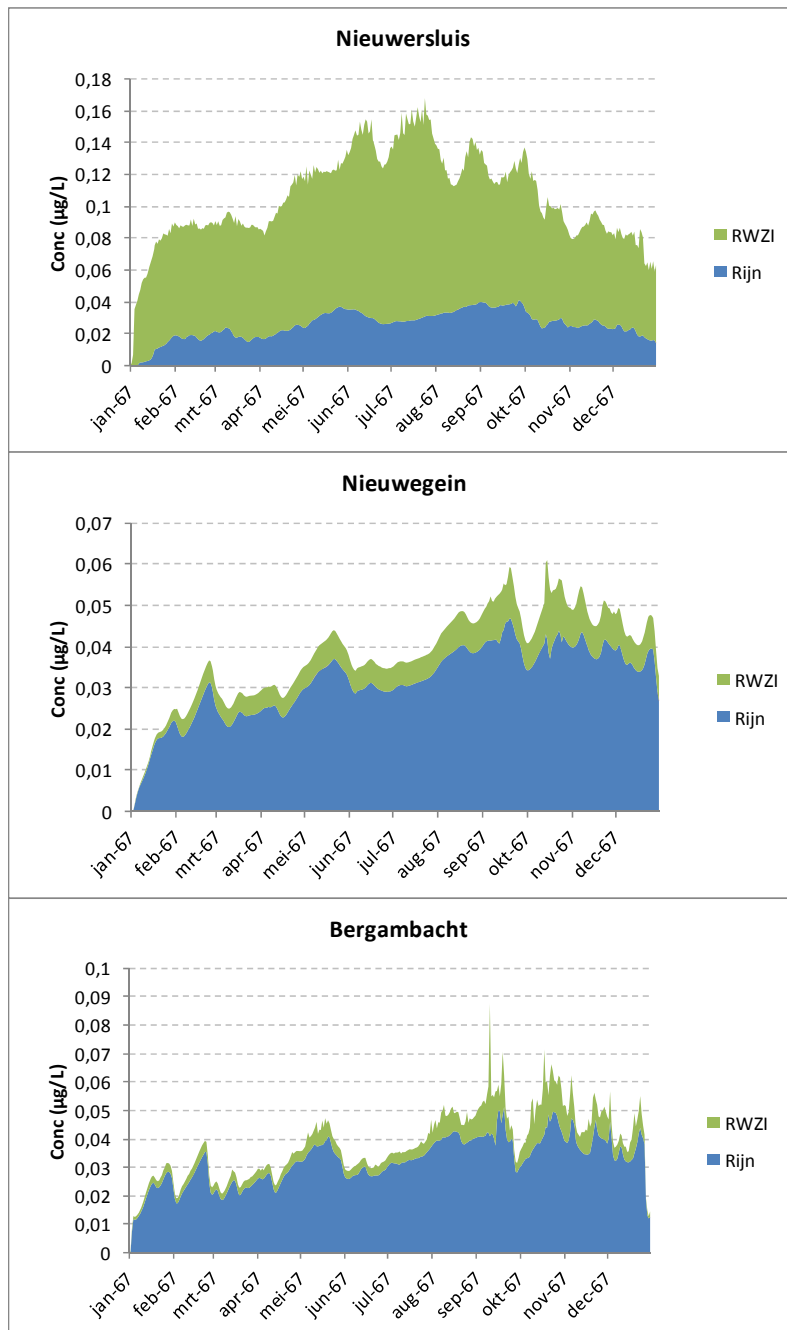
- minimale vrachten die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen i.c.m. maximale emissies vanuit Nederlandse rwzi-effluenten (Figuren *a*);
- maximale vrachten die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen i.c.m. minimale emissies vanuit Nederlandse rwzi-effluenten (Figuren *b*).

Carbamazepine

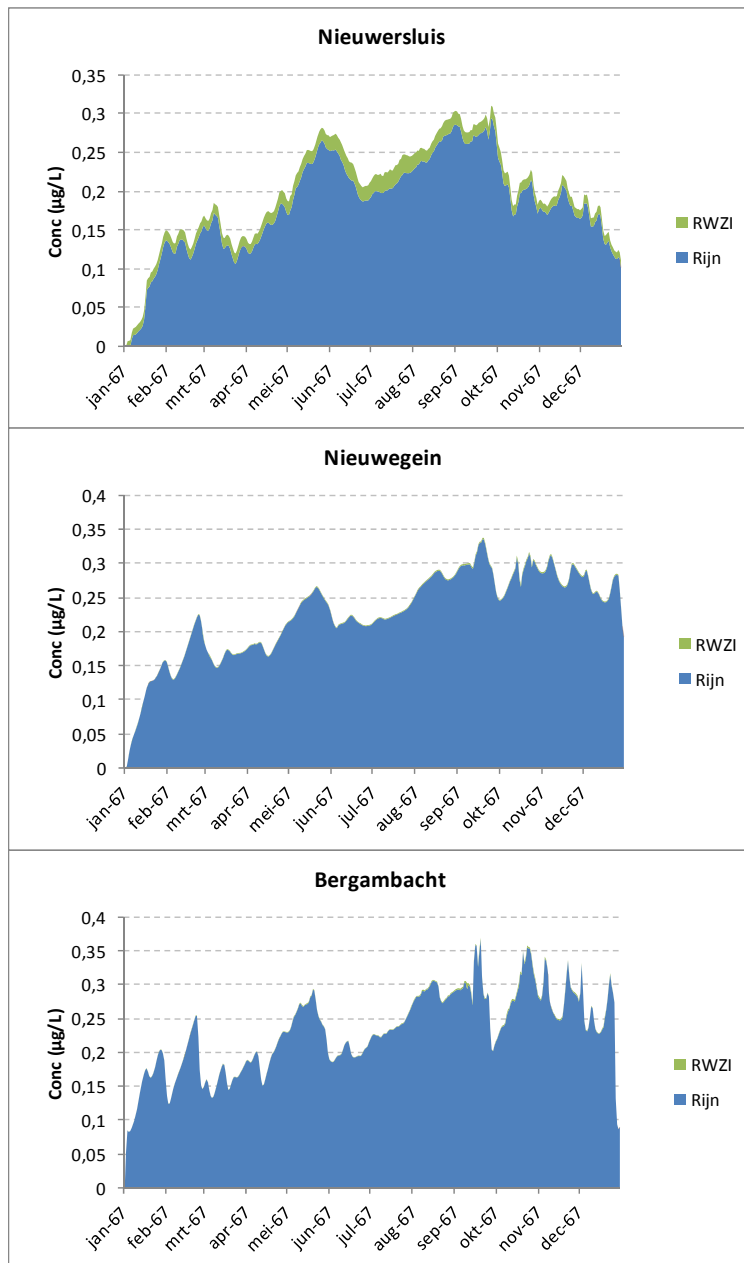


Figuur 2.1a Min Maas, max rwzi carbamazepine

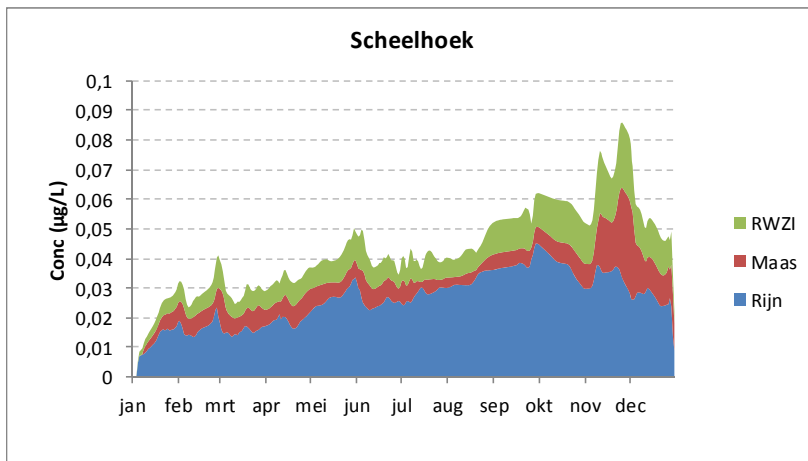
Carbamazepine*Figuur 2.1b Max Maas, min rwzi carbamazepine*

Carbamazepine

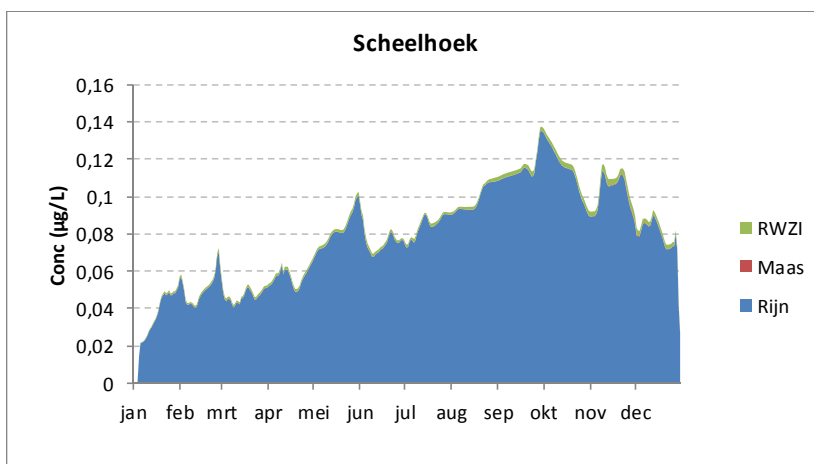
Figuur 2.2a Min Rijn, max rwzi carbamazepine

Carbamazepine*Figuur 2.2b Max Rijn, min rwzi carbamazepine*

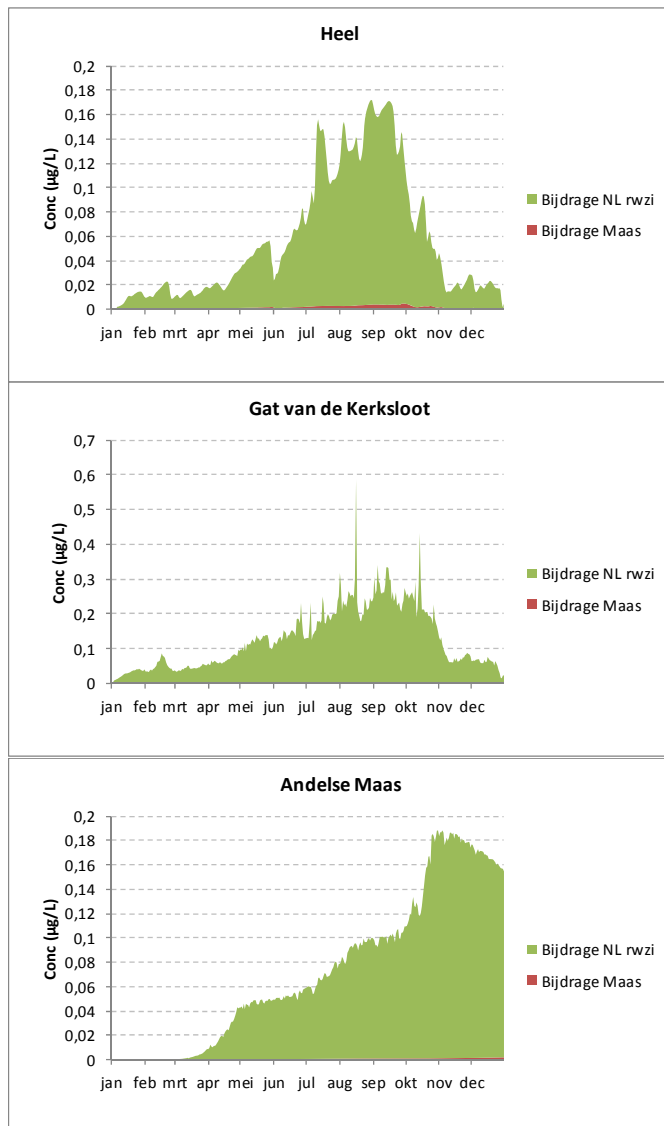
Carbamazepine

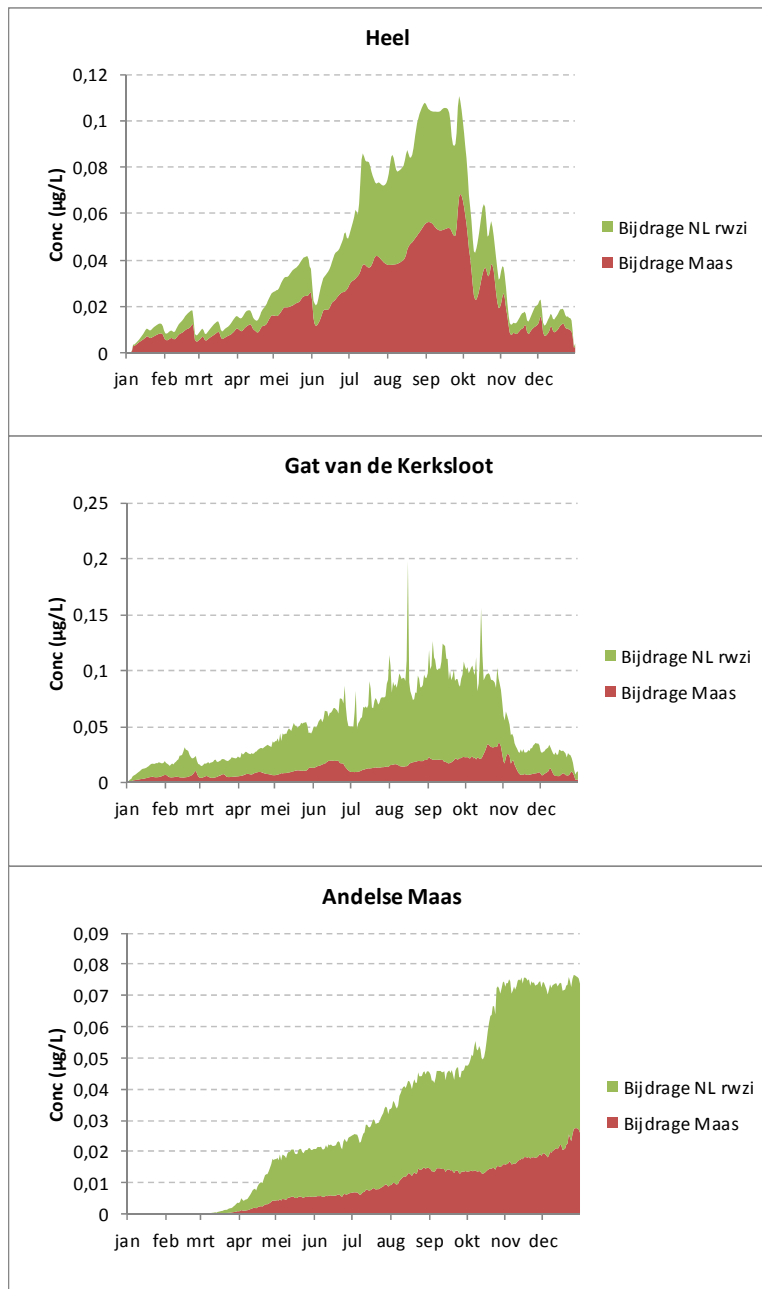


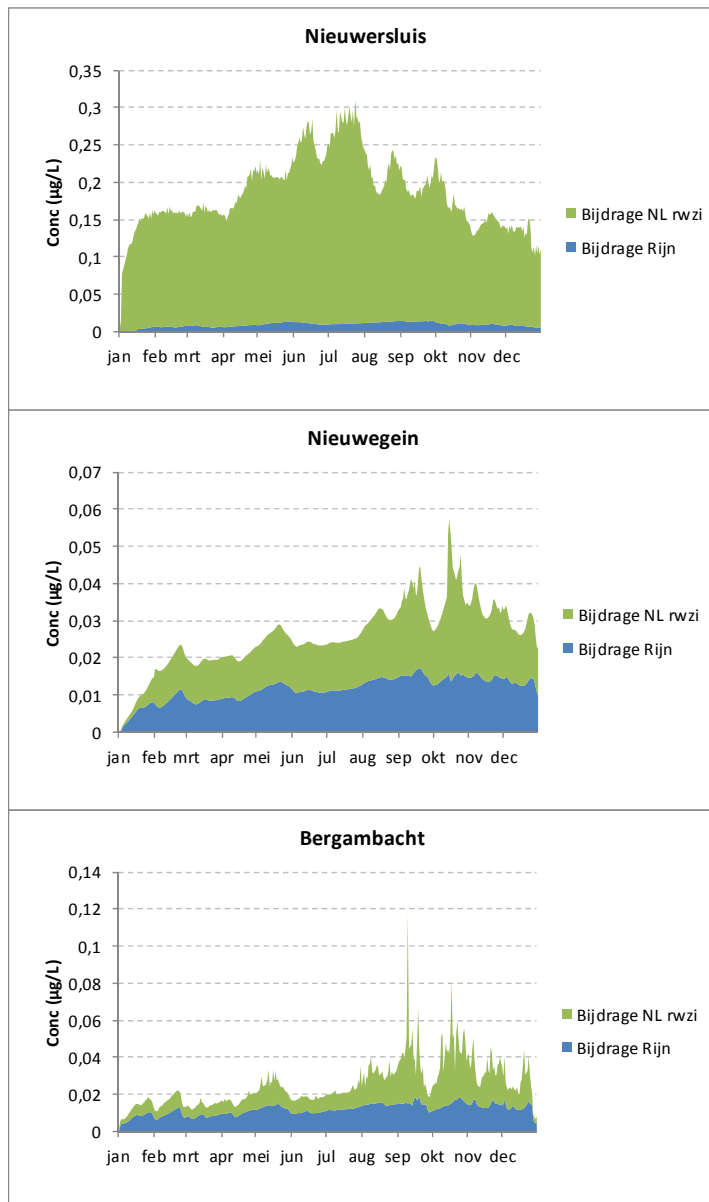
Figuur 2.3a Min Rijn, max Maas, max rwzi carbamazepine



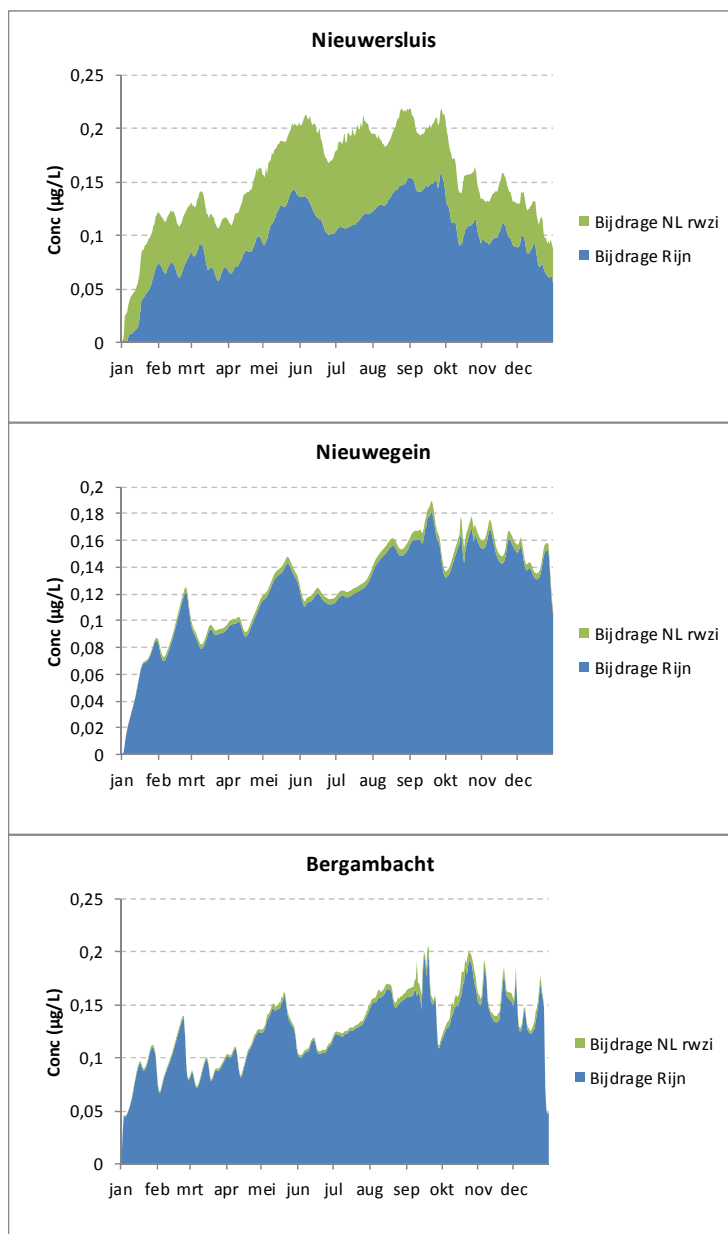
Figuur 2.3b Max Rijn, min Maas, min rwzi carbamazepine

Metoprolol*Figuur 2.4a Min Maas, max rwzi metoprolol*

Metoprolol*Figuur 2.4b Max Maas, min rwzi metoprolol*

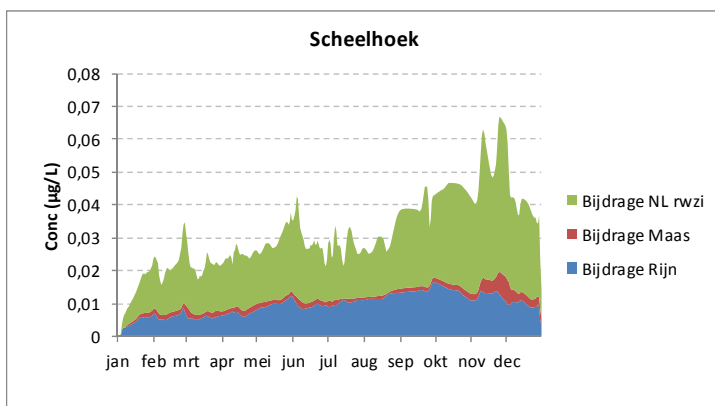
Metoprolol*Figuur 2.5a. Min Rijn, max rwzi metoprolol*

Metoprolol

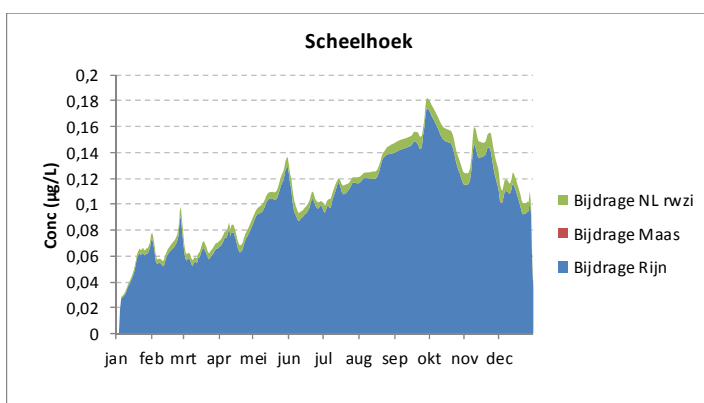


Figuur 2.5b. Max Rijn, min rwzi metoprolol

Metoprolol

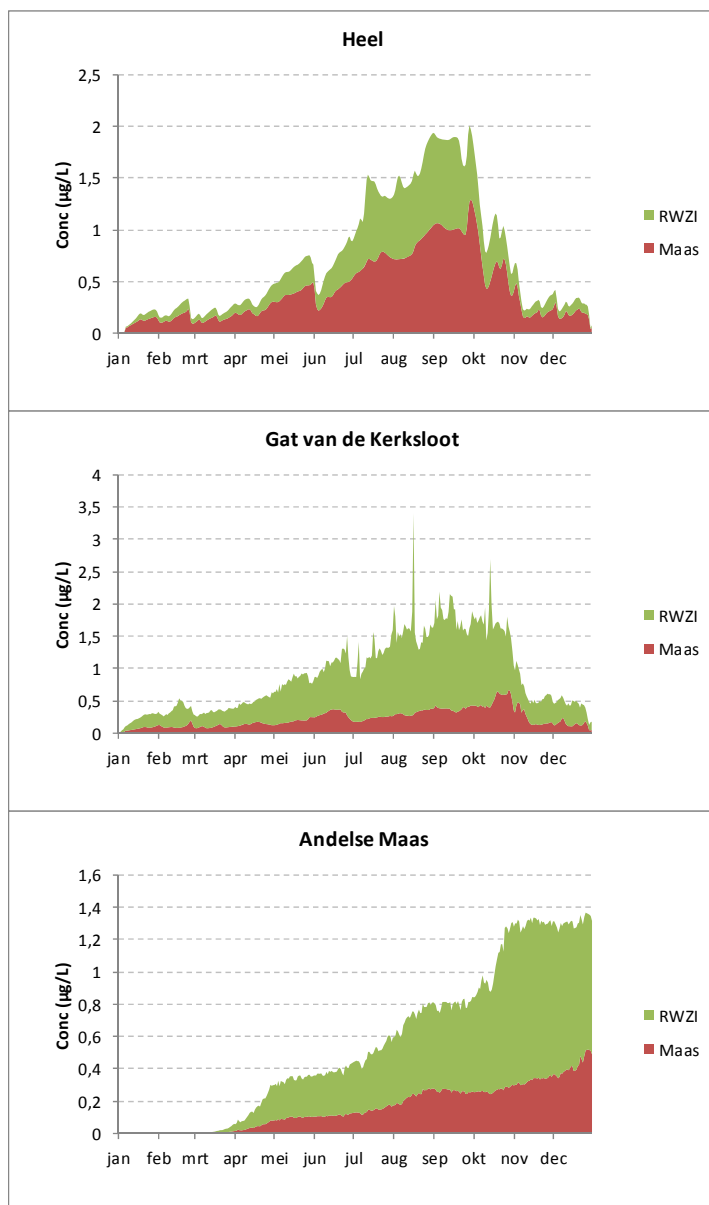


Figuur 2.6a. Min Rijn, max Maas, max rwzi metoprolol



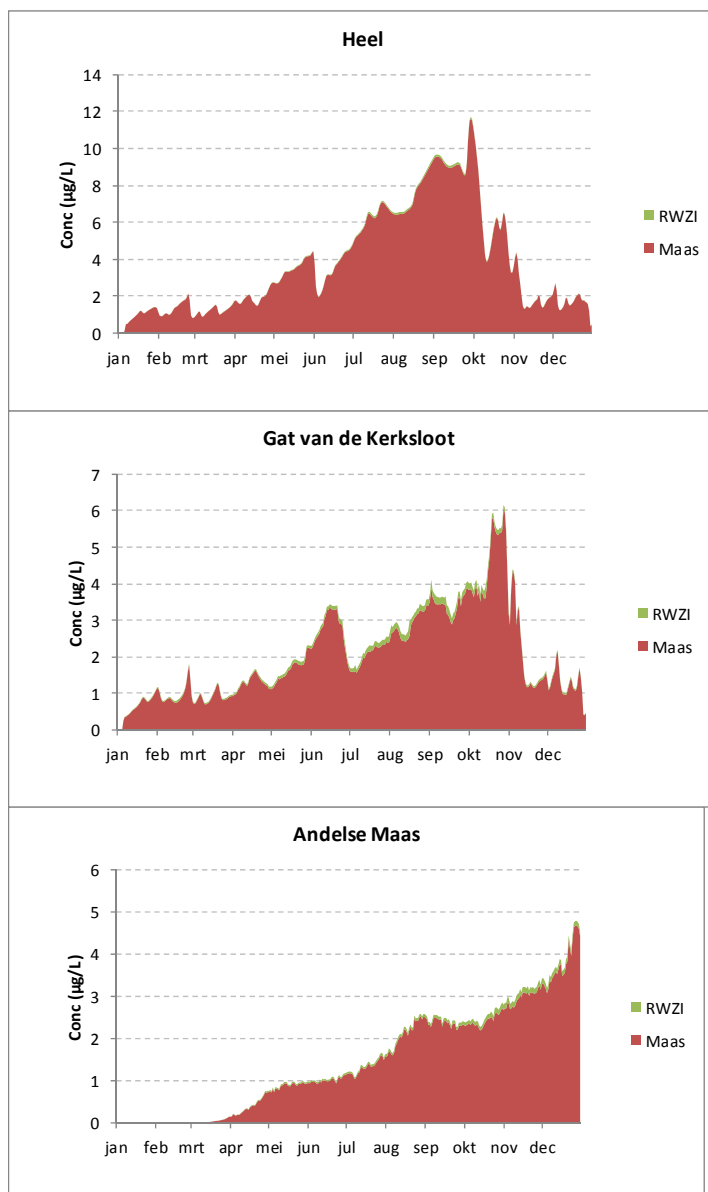
Figuur 2.6b Max Rijn, min Maas, min rwzi metoprolol

Metformine

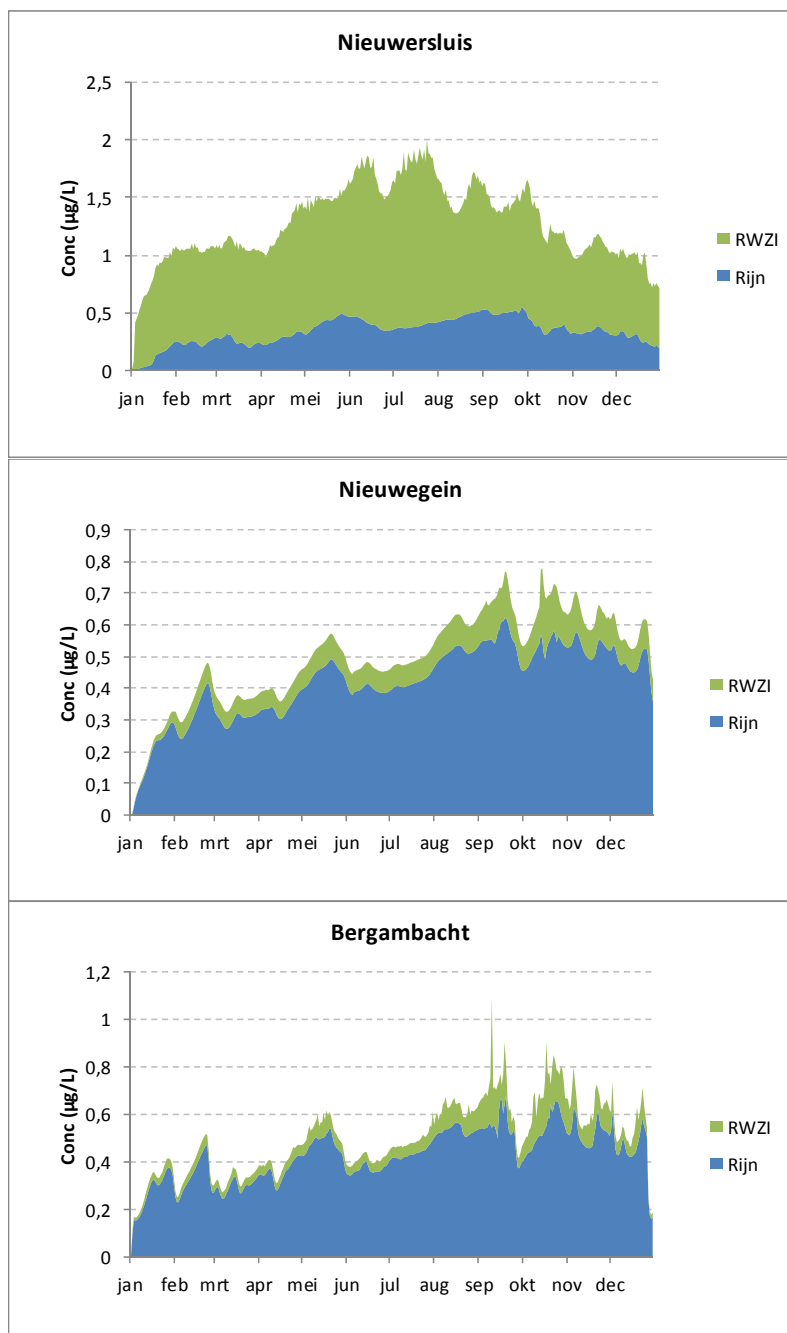


Figuur 2.7a. Min Maas, max rwzi metformine

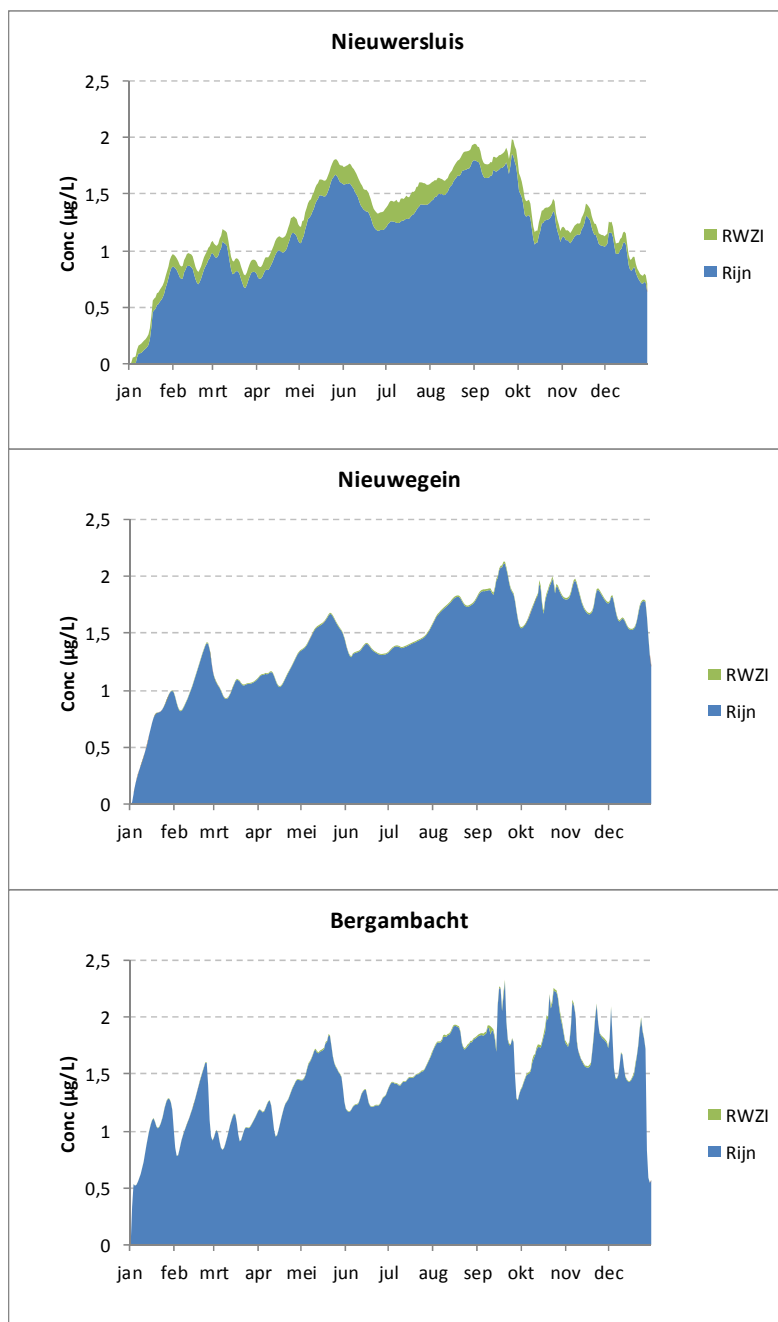
Metformine



Figuur 2.7b Max Maas, min rwzi metformine

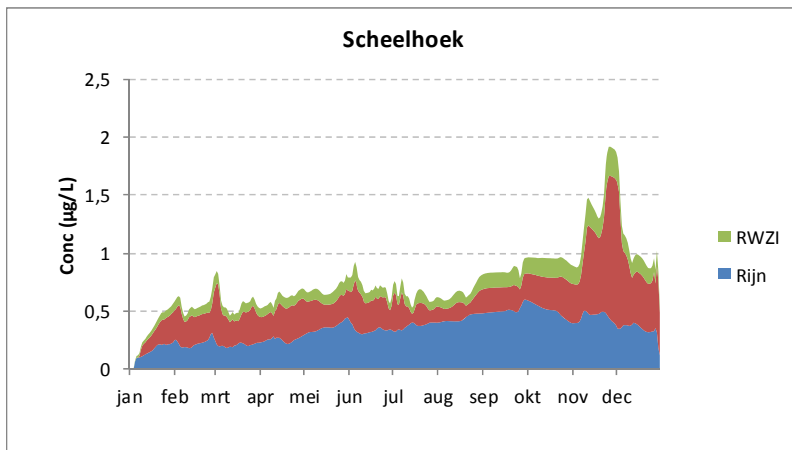
Metformine

Figuur 2.8a Min Rijn, max rwzi metformine

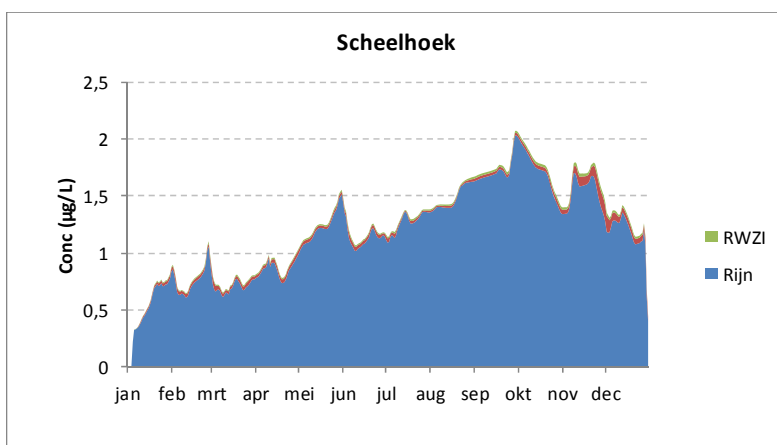
Metformine

Figuur 2.8b Max Rijn, min rwzi metformine

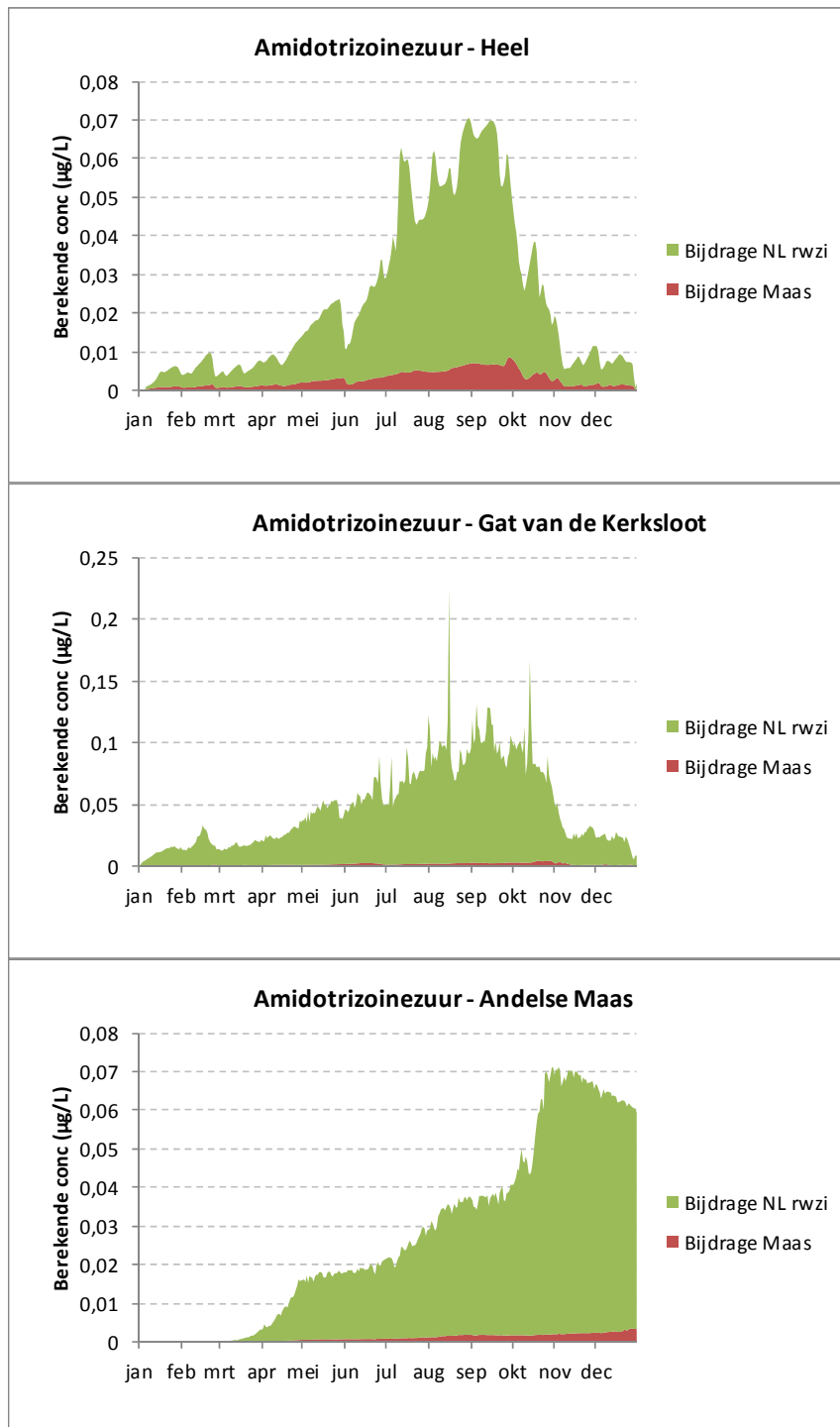
Metformine



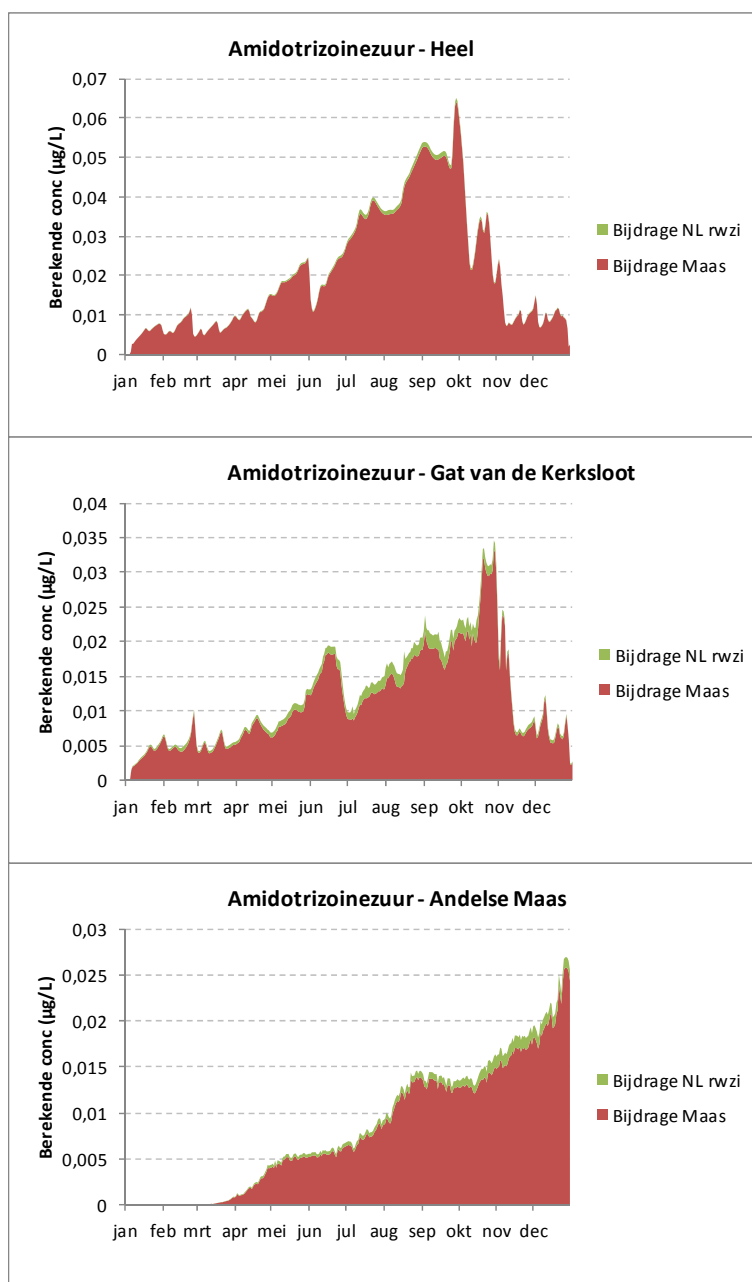
Figuur 2.9a Min Rijn, max Maas, max rwzi metformine



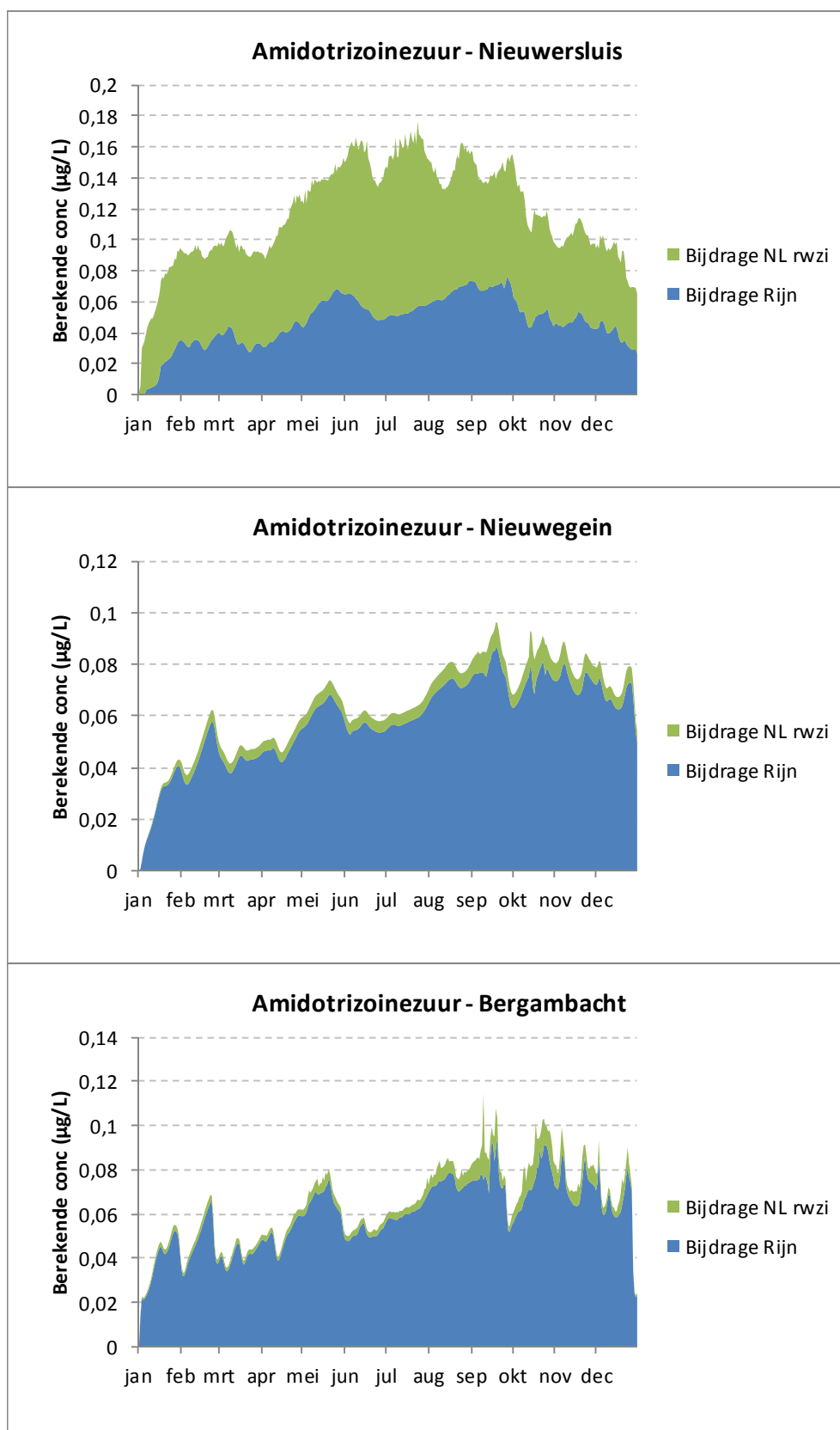
Figuur 2.9b Max Rijn, min Maas, min rwzi metformine

Amidotrizoïnezuur

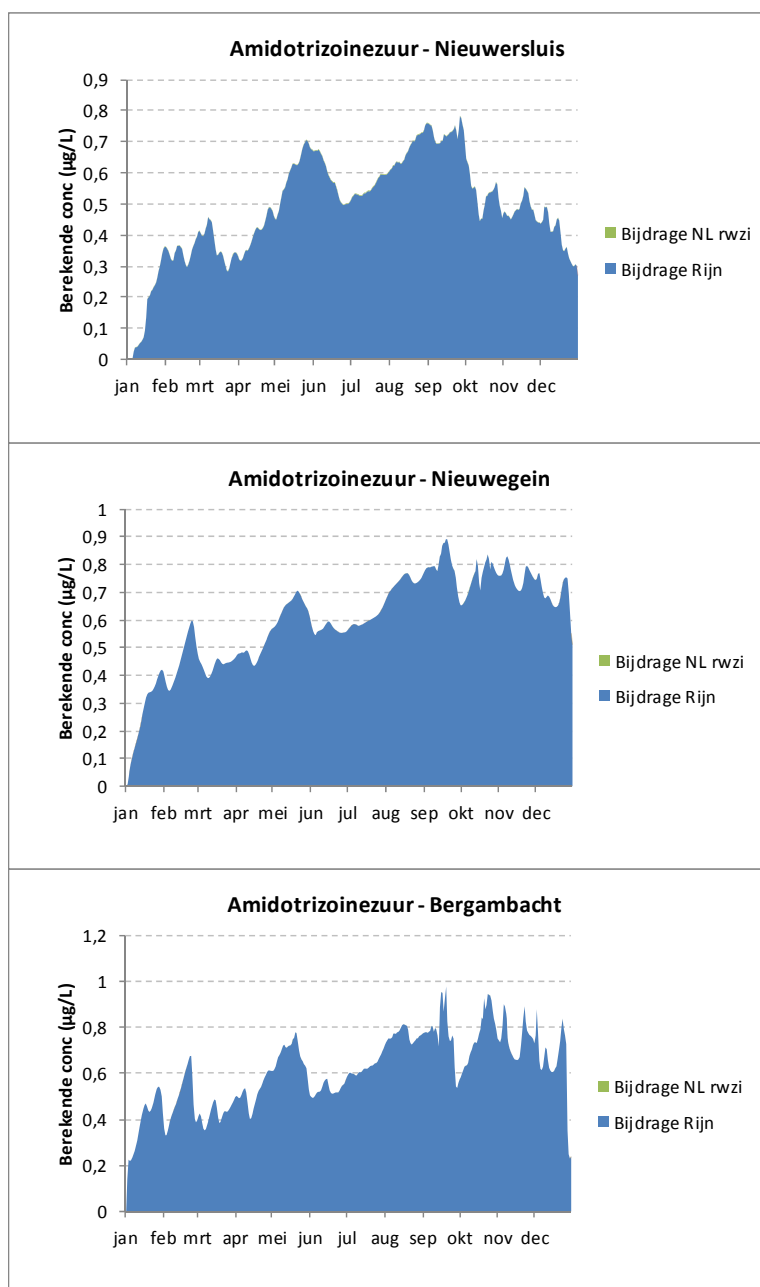
Figuur 2.10a Min Maas, max rwzi amidotrizoïnezuur



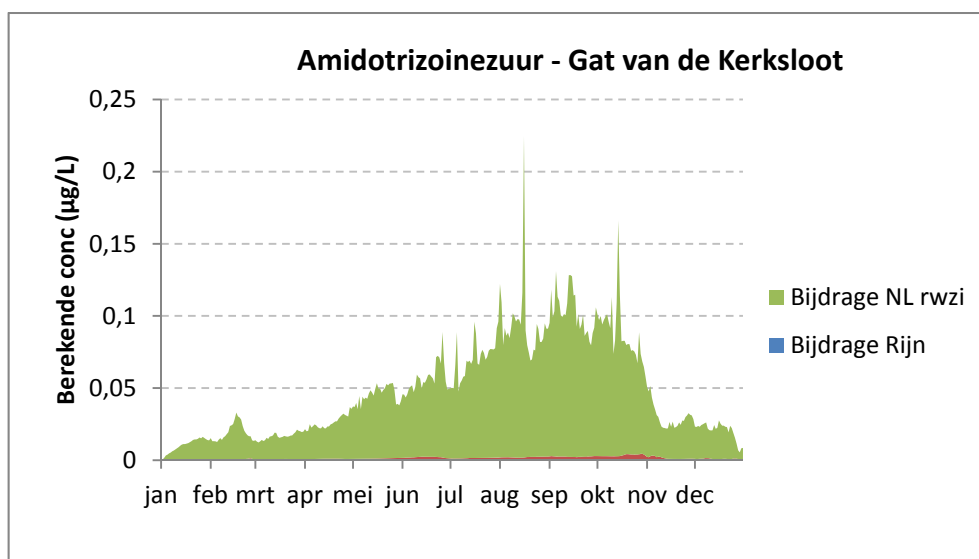
Figuur 2.10b Max Maas, min rwzi amidotrizoïnezuur



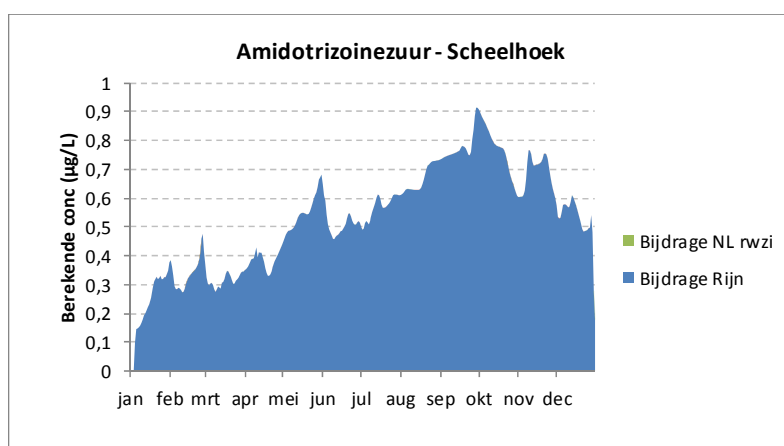
Figuur 2.11a Min Rijn, max rwzi amidotrizoïnezuur



Figuur 2.11b Max Rijn, min rwzi amidotrizoïnezuur



Figuur 2.12a Min Rijn, max Maas, max rwzi amidotrizoïnezuur



Figuur 2.12b Max Rijn, min Maas, min rwzi amidotrizoïnezuur

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag