

**Invloed van steden en  
klimaatverandering op de Rijn  
en de Maas**





# **Invloed van steden en klimaatverandering op de Rijn en de Maas**

dr. S. de Rijk  
ir. O. de Keizer  
dr. M. de Wit  
dr.ir. F.H.M. van de Ven

1201196-000



**Titel**

Invloed van steden en klimaatverandering op de Rijn en de Maas

**Opdrachtgever**

Rijkswaterstaat Waterdienst

**Project**

1201196-000

**Kenmerk**



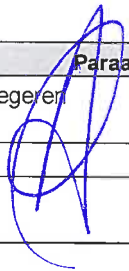
1201196-000-ZWS-0001

**Pagina's**

40

**Trefwoorden**

Verstedelijking, effluent, huishoudelijk afvalwater, rwzi's, klimaatveranderingen, rivierafvoer.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	maart 2010	dr. S. de Rijk		drs. J.C. van den Roovaart		dr. ir. A.G. Segerer	
		ir. O. de Keizer					
		dr.ir. F.H.M. van de Ven					

**Status**

definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Waterstromen</b>	<b>3</b>
2.1 Huidige waterstromen	3
2.2 Scenario's waterstromen	4
2.3 Waterbehoefte in de stad	7
<b>3 Stedelijke bronnen van belasting</b>	<b>9</b>
3.1 Huidige belasting en trends van Rijn en Maas	9
3.1.1 Definitie stedelijke belasting.	9
3.1.2 Trends in Nederland	10
3.1.3 Internationale stroomgebieden	14
3.2 Emissiescenario's	19
3.2.1 Bevolkingsgroei in Rijnstroomgebied	19
3.2.2 Ontwikkeling van stedelijke bronnen	21
<b>4 Stedelijke emissies, waterstromen en waterkwaliteit</b>	<b>23</b>
<b>5 Conclusies</b>	<b>25</b>
<b>6 Referenties</b>	<b>27</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Bijlage 1</b>	
<b>B Bijlage 2</b>	





## 1 Inleiding

In Nederland gebruiken we het water uit de Rijn en de Maas voor drinkwaterproductie, scheepvaart, peilbeheer, landbouw, recreatie en natuur. Veranderingen in klimaat en landgebruik in de stroomgebieden van Rijn en Maas kunnen de kwantiteit en kwaliteit van het beschikbare rivierwater beïnvloeden. Dat zal grote gevolgen hebben voor het waterbeheer in Nederland. Recente en lopende verkennende studies voor Rijn en Maas richten zich vooral op de effecten van klimaatverandering op het afvoerregime. De invloed van de verdergaande verstedelijking van het Rijn- en Maasstroomgebied heeft vooralsnog minder aandacht gekregen.

Verstedelijking en het bijbehorende stedelijk waterbeheer in het stroomgebied is natuurlijk ook een belangrijke factor voor de waterkwaliteit. Daarnaast is, zeker tijdens droge perioden, de invloed van wateronttrekkingen en lozingen op de afvoer van Rijn en Maas niet te verwaarlozen. Zo bestaat het debiet van de Maas tijdens een droge zomer voor een groot deel uit het effluent van stedelijke gebieden.

Deze studie brengt in beeld hoe belangrijk die stedelijke gebieden in het Rijn- en Maasstroomgebied zijn voor de kwaliteit en kwantiteit van het rivierwater. Naast de huidige situatie kijken we ook naar scenario's voor het vervolg van de 21<sup>ste</sup> eeuw. Zo'n blik op de toekomst helpt te beoordelen of we de komende decennia in Nederland nog steeds kunnen rekenen op een voldoende en schone toevoer van water uit Rijn en Maas.

Bovenstaande probleemstelling is veelomvattend. Dit onderzoek is echter verkennend van aard en is mede bedoeld om hiaten in de kennis op te sporen en aanbevelingen te geven voor vervolgonderzoek. Bovendien is niet alle benodigde data beschikbaar. Daarom is de uitvoering van het hier gepresenteerde onderzoek beperkt tot het adresseren van de volgende drie vragen:

- 1 Wat zijn de huidige waterstromen in het Maas- en Rijnstroomgebied?
- 2 In welke mate beïnvloeden stedelijke gebieden zowel kwalitatief als kwantitatief deze waterstromen?
- 3 Wat zijn de gevolgen voor deze waterstromen in Rijn en Maas bij een veranderd klimaat in de toekomst?



## 2 Waterstromen

### 2.1 Huidige waterstromen

Op basis van de beschikbare informatie over landgebruik wordt het oppervlak stedelijk gebied inclusief industriegebied geschat op 8% voor het Rijn- en 10 % voor het Maasstroomgebied. In deze gebieden wonen respectievelijk 58 en 8,8 miljoen mensen.

Figuren 2.1 en 2.2 tonen een waterbalans van beide stroomgebieden, waarbij ook de wateronttrekkingen zijn weergegeven. In beide stroomgebieden is het grootste deel van het zoetwater opgeslagen onder de grond. Dit grondwater is van belang voor de regulatie gedurende het jaar, maar op jaarbasis blijft deze voorraad ongeveer gelijk, waardoor beide balansen vrij overzichtelijk gepresenteerd kunnen worden.

#### Maas

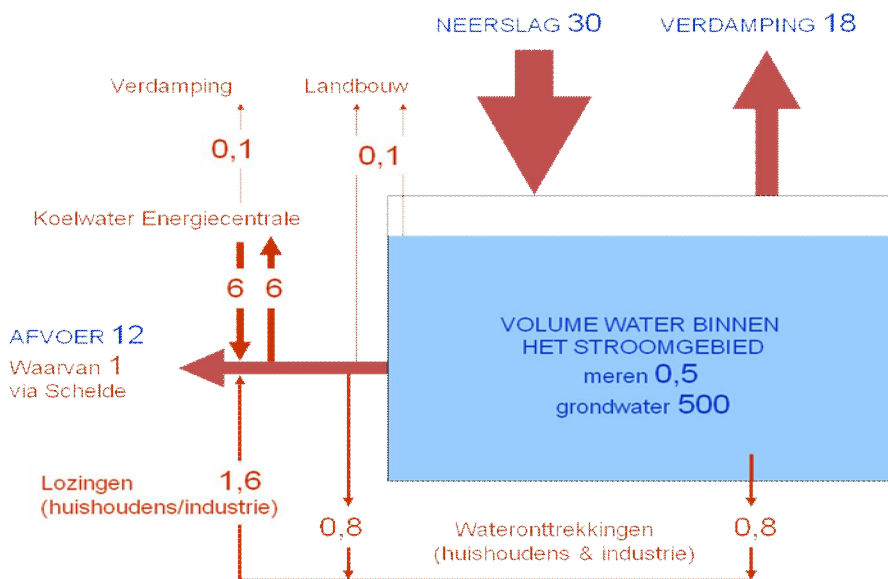
De Maas voert gemiddeld  $12 \text{ km}^3$  per jaar af (figuur 2.1), waarvan gemiddeld  $5 \text{ km}^3$  vanuit het grondwater de rivier bereikt (de Wit, 2008). De helft van het Maaswater wordt gebruikt als koelwater voor energiecentrales, waarna het iets warmer terugkomt in de rivier. Ongeveer dertien procent ( $1,6 \text{ km}^3$ ) van de gemiddelde jaarafvoer wordt gebruikt door huishoudens en industrie. Slechts een klein deel ( $0,1 \text{ km}^3$ ) wordt jaarlijks gebruikt voor irrigatie.

In de zomer is de gemiddelde Maasafvoer ruwweg de helft van de gemiddelde jaarafvoer met als gevolg dat het stedelijk afvalwater ongeveer een kwart van de afvoer vormt. In de zomer wordt dus een hoeveelheid gelijk aan de gemiddelde zomerafvoer (!) gebruikt als koelwater voor energiecentrales.

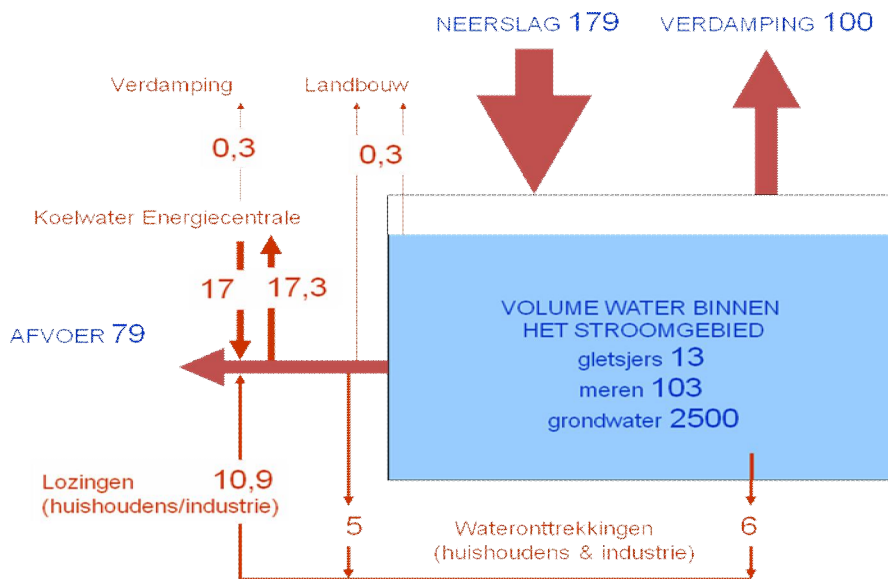
#### Rijn

De Rijn voert gemiddeld  $79 \text{ km}^3$  in een jaar af (figuur 2.2). Naast het grondwater hebben vooral meren maar ook, in mindere mate, gletsjers een belangrijke bufferfunctie gedurende het jaar. Bij de meren zijn het IJsselmeer en de Deltameren niet meegenomen omdat deze helemaal stroomafwaarts in het stroomgebied liggen en daarom geen effect hebben op de waterbalans. Bijna 14% van het Rijn water is gebruikt door huishoudens en industrie en 22% van de afvoer passeert als koelwater door energiecentrales. Net als in het Maasstroomgebied wordt er vrijwel geen Rijn water gebruikt voor de irrigatie van landbouw.

Aangezien de sneeuwopbouw in de Rijn een grote rol speelt voor de afvoer ligt hier de gemiddelde zomerafvoer relatief iets hoger en is ongeveer 70% van de gemiddelde jaarafvoer. Ook hier bestaat in de zomer iets minder dan een kwart van de afvoer uit afvalwater en gemiddeld wordt  $2/5$  van de zomerafvoer gebruikt als koelwater. Natuurlijk komt een groot deel van de onttrekkingen gewoon weer terug in de rivier, maar deze is dan wel viezer en warmer dan het onttrokken water.



Figuur 2.1 Huidige waterbalans van het Maasstroomgebied (cijfers in km<sup>3</sup> per jaar)



Figuur 2.2 Huidige waterbalans van het Rijnstroomgebied (cijfers in km<sup>3</sup> per jaar)

## 2.2 Scenario's waterstromen

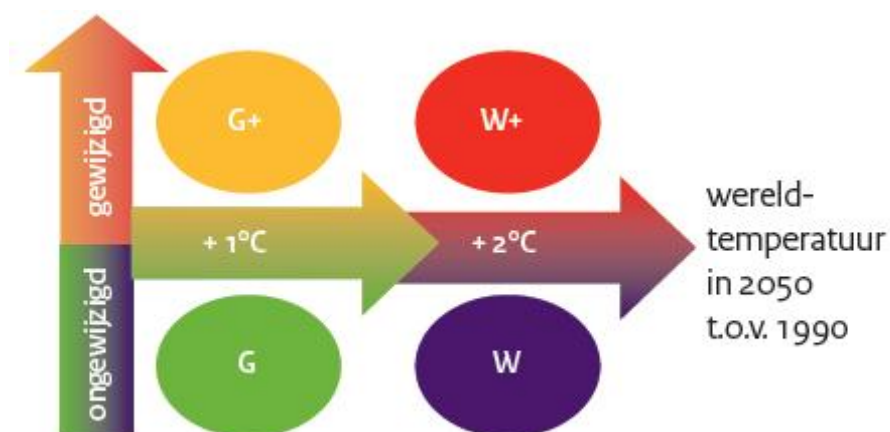
Toekomstscenario's van het klimaat laten een trend zien richting nattere winters en drogere zomers. Vooral het laatste is relevant voor deze studie aangezien tijdens droge zomers een groter deel van de al relatief lage rivierafvoer voor stedelijk water en voor koelwater gebruikt wordt. Dit resulteert in hogere concentraties van verontreinigende stoffen in het rivierwater en een hogere watertemperatuur die de mogelijkheden voor gebruik van het water voor bijvoorbeeld drink- of zwemwater kunnen beperken.

Een mogelijk bijkomend gevolg van klimaatsverandering zal zijn dat de watergebruikspatronen zullen veranderen. Dit is van belang aangezien een hoger watergebruik in het stroomgebied kan leiden tot lagere rivierafvoeren.

In Nederland worden de KNMI '06 scenario's veelvuldig gebruikt voor de analyse van veranderingen in de toekomst van het klimaat. De scenario's maken onderdeel uit van het Nationaal Bestuursakkoord Water Actueel, en het wordt algemeen aangenomen dat ze ook geschikt zijn voor de bovenstroms van Nederland gelegen gebieden.

KNMI (2009) definieert klimaatscenario's als consistente en plausibele beelden van het toekomstig klimaat. Deze 'beelden' worden gebruikt voor studies naar de effecten van klimaatverandering en adaptatiemaatregelen. Aan scenario's kunnen geen waarschijnlijkheden worden toegekend dus met alle scenario's moet rekening gehouden worden.

Figuur 2.3 geeft een schematische weergave van de 4 scenario's. De G-scenario's gaan uit van een gemiddelde opwarming met 1 °C voor 2050 en 2 °C voor 2100. De W-scenario's gaan uit van een gemiddelde opwarming van 2 °C voor 2050 en 4 °C voor 2100. De W-scenario's voor 2050 zijn dus gelijk aan de G-scenario's voor 2100. Bij de G+ en W+ scenario's zorgt een verandering in de luchtstroming boven de Atlantische Oceaan en West-Europa voor extra warme en natte winters, terwijl de zomers extra warm en droog zijn.



Figuur 2.3 De KNMI '06 scenario's

Volgens KNMI (2009) wordt met de snelle opwarming die plaats gevonden heeft tijdens de afgelopen 10 jaar, het beste rekening gehouden in de W/W+ scenario's. Om dit rapport overzichtelijk te houden worden alleen de effecten van deze scenario's hier gepresenteerd.

#### Neerslag en hydrologie

De verandering in rivierafvoeren is geschat voor de Rijn bij Lobith en voor de Maas bij Borgharen op basis van historische afvoeren en de KNMI-06 scenario's. Voor deze analyse zijn de historische tijdreeksen van 1901 tot 2004 voor het Rijnstroomgebied en 1911 tot 2005 voor het Maasstroomgebied van neerslag en temperatuur gebruikt. Neerslag en vooral in de zomer ook temperatuur, waarop de potentiële verdamping gebaseerd wordt, bepalen voor een groot deel de rivierafvoeren in het stroomgebied. In de simulaties wordt aangenomen dat de hydrologische randvoorwaarden niet veranderen ten opzichte van de huidige situatie; het grondwaterregime is sterk versimpeld meegenomen in de modellering.

Deze gegevens zijn nader geanalyseerd met betrekking tot lage afvoeren. Extreem lage afvoeren hebben een belangrijk effect op de beschikbaarheid van (rivier)water voor de stad en op de concentraties van verontreinigende stoffen het rivierwater.

In eerste instantie was het voorzien met het GRADE-instrumentarium (Generator of Rainfall and Discharge Extremes) in te zoomen op de verwachte veranderingen in de kans op langdurige perioden van lage afvoeren. Dit instrumentarium maakt gebruik van zeer lange synthetische gegenereerde neerslag en temperatuur reeksen. Echter, tot nog toe is de ontwikkeling van GRADE gericht op het genereren van hoge afvoeren oftewel voor periodes met relatief hoge neerslag. Besloten is GRADE niet te gebruiken voor deze studie, maar het HBV-Maasmodel op basis van historische neerslag- en temperatuurseries.

In tabel 2.1 en 2.2 worden de afvoerscenario's voor lage afvoeren gepresenteerd in de Rijn en Maas. Bij deze lage afvoeren zijn de stofconcentraties in het rivierwater relatief hoog. Naar verwachting zal de klimaatverandering vooral effect hebben op de extremen van de rivierafvoer en maar weinig van invloed zijn op de gemiddelde jaarafvoer (circa 10-15 %).

Tabel 2.1 Afvoerscenario's voor lage afvoeren van de Rijn bij Lobith (m<sup>3</sup>/s)

	Huidige klimaat		2050		2100	
	1901-2004	2003	W	W+	W	W+
5% percentiel jaarlijkse afvoer	1.000	906.6	1.051	735	1.098	476
Zomergemiddelde (juni – aug.)	2.074	1.292	2.077	1.599	2.093	1.251
10% percentiel zomergemiddelde	1.463		1.465	1.131	1.475	889

Tabel 2.2 Afvoerscenario's voor lage afvoeren van de Maas bij Borgharen (m<sup>3</sup>/s)

	Huidige klimaat		2050	W+	2100	
	1911-2005	2003			W	W+
5% percentiel jaarlijkse afvoer	16	9	17	11	18	10
Zomergemiddelde (jun-aug)	96	32	101	78	107	72
10% percentiel zomergemiddelde	35		36	29	39	27

Voor de lage afvoeren laat de Rijn een wat sterkere afname zien dan de Maas. Dit komt doordat voor de Maas ook in de huidige situatie de zomerafvoer al behoorlijk laag is en vooral bestaat uit basisafvoer vanuit grondwater. De afname van de zomerafvoer (juni tot augustus) bedraagt voor de Rijn 40 % (zie tabel 2.3). De Maas toont een afname van de gemiddelde zomerafvoer met ongeveer 25 % (zie tabel 2.4).

Ter referentie zijn ook de statistieken gegeven voor het jaar 2003, een warm en droog jaar dat bij velen nog vers in het geheugen zit. Voor de Rijn zien we dat onder het W+ scenario de zomerafvoer van 2003 een gemiddelde afvoer wordt tijdens het klimaat in 2100. Voor het 5%-percentiel, een belangrijke maat voor de scheepvaart, zien we deze verandering sterker optreden.

Tabel 2.3 Verandering van lage afvoeren bij Lobith ( $m^3/s$ ) ten opzichte van situatie bij huidig klimaat (1901-2004)

(Lobith)	2050		2100	
	W	W+	W	W+
5% percentiel	+ 5%	-26%	+ 10%	-52%
Zomergemiddelde (jun-aug)	0%	-23%	+ 1%	-40%
10% percentiel zomergemiddelde	0%	-23%	+ 1%	-39%

Tabel 2.4 Verandering van lage afvoeren bij Borgharen ( $m^3/s$ ) ten opzichte van situatie bij huidig klimaat (1911-2005)

	2050		2100	
	W	W+	W	W+
5% percentiel	+ 6%	-31%	+ 13%	-38%
Zomergemiddelde (jun-aug)	+ 5%	-19%	+ 11%	-25%
10% percentiel zomergemiddelde	+ 5%	-18%	+ 11%	-23%

De toename van bebouwd oppervlak zorgt voor een versnelde afstroming van neerslag waardoor er minder neerslag de bodem infiltreert. Het is echter niet waarschijnlijk dat dit de basisafvoer of de piekafvoer op de schaal van het gehele Rijn- of Maasstroomgebied significant zal beïnvloeden. Het tegenovergestelde is wel denkbaar. In perioden van droogte kunnen steden hinder ondervinden door een beperkte watertoevoer dat nodig is om de hitte en de toenemende watervraag in de stad te beheersen.

### 2.3 Waterbehoefte in de stad

Afvoerscenario's hangen niet alleen af van het klimaat en de hydrologie. Ook het watergebruik, zowel lozingen als wateronttrekkingen is bepalend voor zowel de aard als hoeveelheid van de rivierafvoeren. Zoals uit paragraaf 2.1 al is gebleken, bestaan de Maas en Rijn in de zomer nu al voor een deel uit lozingen.

Steden zullen met toenemende droogte meer moeten irrigeren om groen te blijven en voor verkoeling in de stad te zorgen tijdens de warmere zomers. Bovendien zal bij hogere temperaturen het watergebruik in de stad toenemen. Op de schaal van het stedelijke gebied kan het nuttig zijn water vast te houden om beter in de eigen waterbehoefte te kunnen voorzien. Met betrekking tot de relatie stad en stroomgebied staan nog vrij veel onderzoeksvragen open. Belangrijk is een beeld te krijgen hoe het watergebruik in de stad zich gaat ontwikkelen in de toekomst bijvoorbeeld onder de 4 klimaatscenario's.

Naast ontwikkeling in waterbehoefte in de stad is ook de ontwikkeling van de landbouw belangrijk. In Zuid-Europa is de irrigatie van landbouw verantwoordelijk voor meer dan 80% van het waterverbruik. Dankzij beduidend hogere neerslag en lagere temperatuur/verdamping is dit in het Rijn- en Maasstroomgebied slechts een zeer klein deel van het waterverbruik (< 1%). De vraag is of dit met de aan klimaatverandering gerelateerde stijging in temperatuur en verdamping ook zo blijft. Dit is vooral van belang voor het Rijnstroomgebied bovenstreams van Nederland waar het landbouwareaal relatief groot is. Ondanks dat dit tot een grote toename in het watergebruik zou kunnen leiden is hierover nog weinig bekend.

In 2010 start er een project dat nader de randvoorwaarden voor de zoetwatervoorziening o.a. door aanvoer van Rijn en Maas in beeld zal brengen. Onderdeel hiervan is het analyseren van de invloed van klimaatscenario's op het watergebruik, waaronder irrigatie.





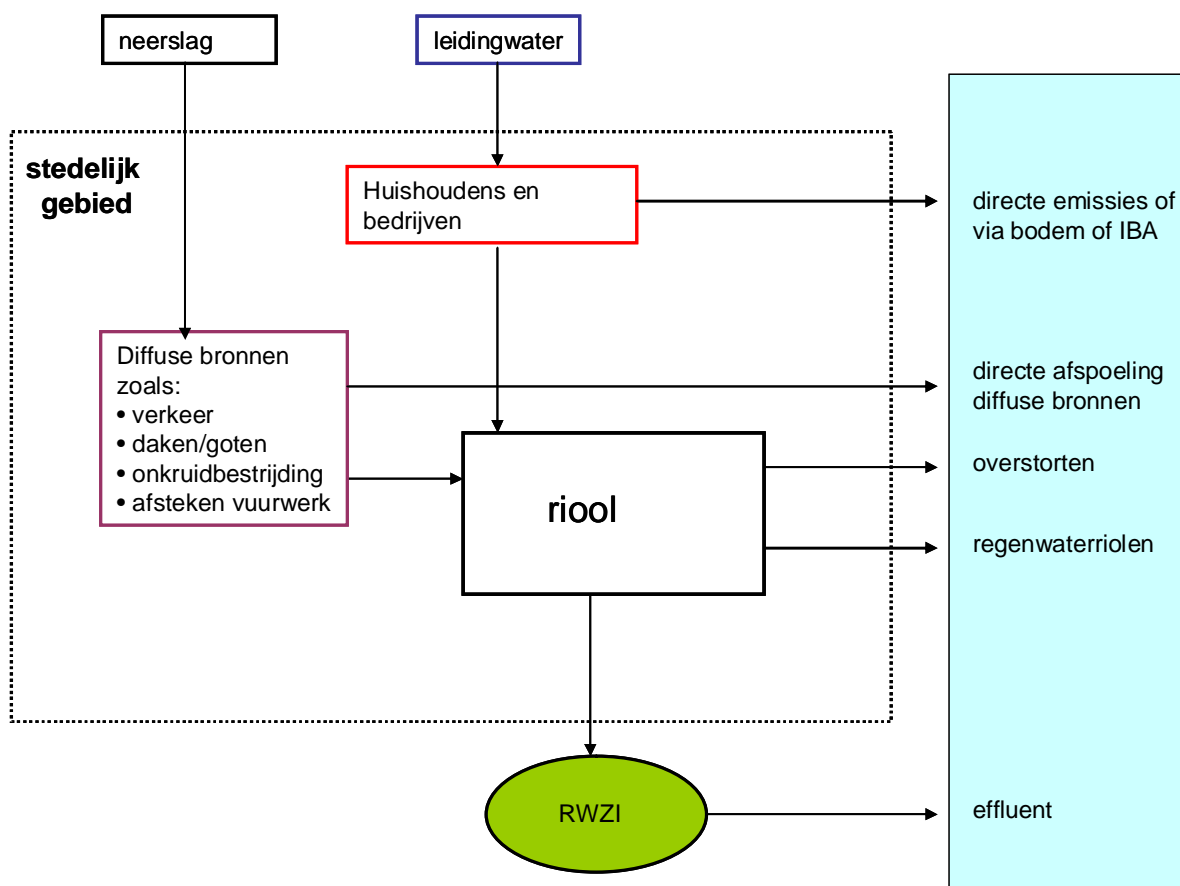
### 3 Stedelijke bronnen van belasting

#### 3.1 Huidige belasting en trends van Rijn en Maas

Dit hoofdstuk geeft een eerste inzicht in de totale en aan stedelijk gebied gerelateerde verontreinigingen die door Rijn en Maas stromen. Aan de hand van een aantal relevante indicatoren voor verschillende typen van verontreinigende stoffen worden de huidige stofstromen in het Rijn- en Maasstroomgebied gekwantificeerd. Vervolgens kijken we naar scenario's voor het vervolg van de 21<sup>ste</sup> eeuw: gaat de verstedelijking door? Nemen de belastingen uit het stedelijk gebied met deze stoffen toe of juist af?

##### 3.1.1 Definitie stedelijke belasting.

Stedelijke belasting van het oppervlaktewater is hier gedefinieerd als belasting gerelateerd aan bewoning en bedrijfsterreinen in een stad. In Figuur 3.1 zijn schematisch de emissiebronnen en de routes geschetst die in deze studie als stedelijk zijn beschouwd.



Figuur 3.1 De meest significante emissies en belasting routes (stofstromen) in het stedelijk gebied. In deze studie worden de vrachten – aangegeven met de pijlen die op de rechter blauwe kolom uitkomen – gesommeerd en bestempeld als stedelijke belasting op oppervlaktewater.

Het grootste deel van vervuild water door huishoudens en diffuse bronnen wordt via het riool afgevoerd. Het overgrote deel van dit rioolwater gaat naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) waar het gezuiverd wordt en als effluent op het oppervlaktewater – buiten de stad - wordt geloosd. Rioolwater bestaat grotendeels uit huishoudelijk afvalwater, maar voor een deel ook uit van verhard oppervlak afstromend regenwater en afvalwater van bedrijven dat op het gemeentelijk riool loost.

Rioolwater kan ook ongezuiverd via een overstort incidenteel - bij hevige regenbuien - in het stadwater terecht komen. De verontreinigingen vanuit een overstort zijn in volume veel kleiner dan de rwzi effluenten. De effecten, zoals op de zuurstofhuishouding van het ontvangende oppervlaktewater en de risico's voor met name de hygiënische waterkwaliteit van deze ongezuiverde lozing van rioolwater kunnen lokaal wel groot zijn. Andere stedelijke bronnen van belasting zijn de regenwaterriolen.

Huishoudens die niet aangesloten zijn op het riool worden gerekend onder de stedelijke belasting van het oppervlaktewater (figuur 3.1). Niet aangesloten huishoudens lozen hun afvalwater via een IBA (septic tank) op de bodem of het oppervlaktewater. Deze niet aangesloten huishoudens vormen een zeer kleine post op het totaal van Nederland (ca.1%) en zullen vaak gelokaliseerd zijn in de meer landelijke gebieden. Deze post is meegenomen onder de definitie van stedelijke belasting omdat deze bron in de omringende landen ook niet wordt onderscheiden en gerekend tot 'communale emissies'.

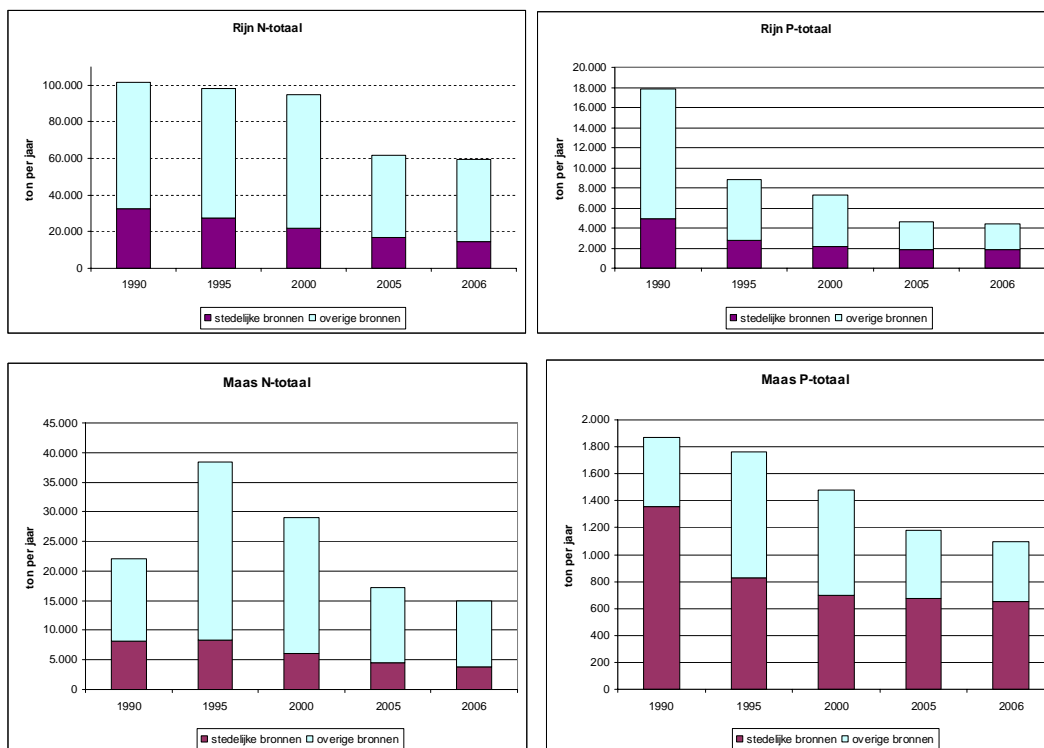
Grote industriële lozingen die via een eigen zuivering op het oppervlaktewater lozen, zijn niet meegenomen als stedelijke bron. Denk hierbij aan grote industriële complexen buiten stedelijk gebied. De omvang en aanwezigheid van deze lozingen is eerder gerelateerd aan mondiale en regionale economische ontwikkelingen dan aan factoren die de mate van verstedelijking bepalen (bevolkingsgroei en plattelandontwikkeling).

De nadruk in dit rapport ligt op een aantal van de probleemstoffen zoals gedefinieerd in de Nederlandse stroomgebiedbeheersplannen: Ntotaal, Ptotaal, koper, zink, en de PAK's. Deze stoffen zijn al vele jaren onderwerp bij studies over de waterkwaliteit en worden daarom hier de 'klassieke verontreinigingen' genoemd. Daarnaast is gekeken naar emissies van stoffen die indicator zijn voor potentieel toekomstige waterkwaliteitsproblemen, zoals het geneesmiddel carbamazepine (als indicator voor humane geneesmiddelen) en glyfosaat (indicator voor gebruik van chemische bestrijdingsmiddel in de stad). Omdat naast de chemische ook de hygiënische kwaliteit van water belangrijk is, o.a. vanwege de recreatieve functie is binnen deze studie ook gekeken naar belasting van het oppervlaktewater door de bacterie *E. coli* als indicator hiervoor.

### 3.1.2 Trends in Nederland

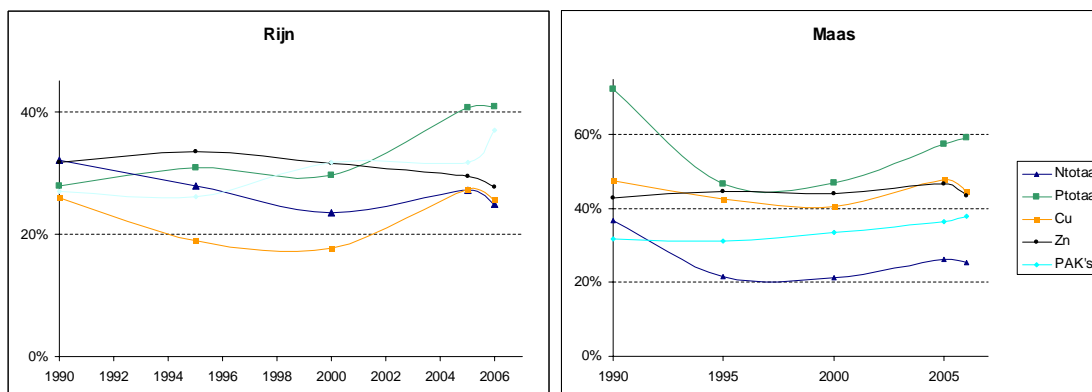
#### **Klassieke verontreinigingen**

In Nederland zijn rwzi effluenten bepalend voor de totale belasting vanuit stedelijk gebied. De andere stedelijke emissiebronnen zijn wat betreft het aantal kilo's verwaarloosbaar. De laatste 15 jaar zijn de vrachten stikstof en fosfaat in het rwzi effluent - en dus de stedelijke belasting - voor het Rijn en Maasstroomgebied afgenomen (figuur 3.2). Gedurende die tijd is ook een afname te zien bij andere significante bronnen van N en P, zoals de landbouw en industrie. Hetzelfde beeld is te zien voor de andere klassieke parameters koper, zink en de PAK's.



**Figuur 3.2** Omvang van de belasting door N en P totaal voor het Nederlandse deel van het Rijn en Maasstroomgebied. Aangegeven is de totale belasting onderverdeeld in hoeveelheid afkomstig van stedelijke en overige bronnen (de complete dataset is gegeven in bijlage 1).

Figuur 3.3 laat zien hoe het relatieve aandeel van de stedelijke bronnen is veranderd de laatste jaren. In het Rijn en het Maasstroomgebied is een afnemende trend te zien vanaf 1990 en een lichte stijging vanaf 2000 (figuur 3.3). De 'knik' bij het jaar 2000 is veroorzaakt door de absolute afname van de niet-stedelijke bronnen zoals te zien is in Figuur 3.2 waardoor de stedelijke belastingen relatief wat groter worden.



**Figuur 3.3** Relatieve omvang stedelijke belasting vanaf 1990 voor het Nederlandse deel van het Rijn en Maasstroomgebied (de volledige dataset is opgenomen in bijlage 1).

## Opmerkingen over emissiecijfers:

- emissiecijfers komen uit de database van de EmissieRegistratie ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl));
- in deze database zijn belastingen per bron berekend in kilo per jaar ;
- emissies van carbamazepine en *E. coli* zijn niet opgenomen in de EmissieRegistratie, emissies van carbamazepine worden in 2010 toegevoegd;
- de gebruikte getallen representeren de KRW stroomgebieden minus de Noordzee;
- de relatieve bijdrage van bronnen is afhankelijk van keuzes. Indien grote oppervlaktes zoals de Noordzee meegenomen worden is de atmosferische depositie dominant.
- afhankelijk van gehanteerde randvoorwaarden kan de omvang van de landbouw emissies – een grote post – variëren en dus ook de relatieve bijdrage van stedelijke bronnen. Voor de EmissieRegistratie worden uitspoelingsgegevens van landbouwgebieden modelmatig (STONE) berekend met de neerslag data van dat jaar. Hierdoor zijn uitkomsten afhankelijk van zowel het mestgebruik per hectare als van de hoeveelheid neerslag van dat jaar. In andere rapportages is soms gebruik gemaakt van een referentie weerjaar (1985) waarmee de invloed van het weer elk jaar hetzelfde is en de effecten van het mestgebruik duidelijker naar voren komen. Bij vergelijking van de hier gepresenteerde data is dit verschil belangrijk om te realiseren. Het jaar 2007 (hier niet gebruikt) is veel natter en de cijfers in de EmissieRegistratie vertonen daardoor weer een hogere uitspoeling en dus een lagere relatieve bijdrage van de rwzi's.

## Geneesmiddelen

Restanten van ingenomen geneesmiddelen komen via de urine en feces in het rioolwater terecht. Een rwzi is niet uitgerust om slecht afbreekbare stoffen zoals geneesmiddelen te verwijderen uit het afvalwater. Het zuiveringsrendement van een rwzi is daarom doorgaans laag voor de slecht afbreekbare geneesmiddelen. Emissies van humane geneesmiddelen komen grotendeels van huishoudens, maar ook van zorginstellingen en ziekenhuizen op het riool. De belasting van het oppervlaktewater door geneesmiddelen is daarom voor 100% gerelateerd aan rwzi effluenten en dus de stedelijke gebieden (Schipper et al., 2010).

Carbamazepine is een erkende probleemstof voor drinkwaterproductie (RIVA jaarrapporten Maas en Rijn, 2008) en staat als drinkwaterrelevante stof op de lijst van aandachtstoffen van de Rijnsoeverstaten (ICBR). Carbamazepine is een anti-epilepticum; een medicijn dat de verschijnselen van epilepsie onderdrukt. De hoeveelheden geleverde werkzame stof zijn voor Nederland bekend bij de Stichting Farmaceutische kentallen (SFK). Deze cijfers laten een min of meer constant gebruik door de jaren zien (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Landelijke gebruikcijfers van twee geneesmiddelen. Emissiecijfers worden uiteindelijk berekend door de EmissieRegistratie op basis van deze gebruikcijfers en een excretiefactor

	1997	2000	2005	2006	2007	2008
Voorgeschreven hoeveelheid carbamazepine in kilo (SFK)	8550	8550	8400	8350	8400	8200

## Glyfosaat

De omvang van het glyfosaat gebruik en de belasting van het oppervlaktewater zijn de laatste 15 jaar flink gestegen (tabel 3.2). Glyfosaat is een stof die veel wordt gebruikt door gemeenten en bedrijven bij de chemische bestrijding van onkruid op verhardingen. Na gebruik komt een deel terecht in de bodem en een deel stroomt met regenwater naar het riool of direct in het oppervlaktewater. De concentratie van glyfosaat en de aanwezigheid van de metaboliet AMPA vormt een knelpunt (overschrijding van de 0,1 µg/l norm) in de Maas op de locaties waar water wordt ingenomen voor drinkwaterproductie (RIWA Maas jaarrapport 2008).

Tabel 3.2 Gebruik van glyfosaat voor gebruik op verhardingen en belasting van oppervlaktewater. (Schipper et al., 2009 en EmissieRegistratie 2009).

	1990	1995	2000	2005	2007	2008
emissies naar het riool door gebruik op verhardingen (kg)	2766	2766	3957	5160	5645	5888
gebruik op verhardingen (kg)	53029	53029	75419	97810	106767	111245

Belasting van glyfosaat en AMPA in het oppervlaktewater is bijna geheel te wijten aan gebruik in steden. De toename van gebruik sinds 1990 is veroorzaakt door de keuze van de beheerders van verhard oppervlak, bedrijven en gemeenten en niet direct gerelateerd aan groei van steden. Is de keus voor chemische bestrijding eenmaal gemaakt dan zal het gebruik verder stijgen bij groei van een stad.

## Hygiënische waterkwaliteit

Stedelijk water kan verontreinigd zijn met microbiologische ziekteverwekkers. Deze ziekteverwekkers zijn afkomstig van diverse verontreinigingsbronnen van fecaliën, zoals riool- of regenwater-overstorten, vogels, huisdieren of mensen. Ook is ongezuiverd huishoudelijk afvalwater, zoals van (woon)boten een potentiële bron van microbiologische ziekteverwekkers. Een rwzi is vooral gedimensioneerd op verwijdering van zuurstofbindende stoffen en de nutriënten zoals stikstof en fosfaat en niet op verwijdering van micro-organismen zoals *E. coli*. Hierdoor loost een rwzi grote hoeveelheden micro-organismen op het ontvangende oppervlaktewater. In tabel 3.3 zijn de hoeveelheden *E. coli* aangegeven in verschillende bronnen.

Tabel 3.3 Ziekteverwekker *E. coli* in ongezuiverde lozingen en vanuit een rwzi (de Man et al., 2009)

	Ongezuiverd afvalwater huishoudens	Overstort vanuit Gemengd stelsel	Overstort vanuit gescheiden stelsel (regenwaterriool)	Effluent van een rwzi
<i>E. coli</i> (kve/l)	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>

### Hoofdpunten van paragraaf 3.1.2

Stedelijke bronnen zijn hoofdzakelijk rwzi effluenten en vormen in Nederland een significant deel van de belasting van oppervlaktewater door N, P, koper, zink en de PAK's (20-40%).

Emissies van geneesmiddelen en glyfosaat zijn voor vrijwel 100% te beschouwen als stedelijke belasting. Rwzi effluenten vormen een aanzienlijke bron van *E. coli* emissies.

Tijdens de periode van 1995 tot 2007 nemen in Nederland de klassieke verontreinigingen vanuit de stedelijke gebieden af. Bronmaatregelen, verbeteringen in de afvalwaterketen en goedwerkende rwzi's zullen hiervan belangrijke oorzaken zijn.

Het gebruik van chemische onkruidbestrijding op verhardingen is toegenomen en dus ook de belasting van het oppervlaktewater door glyfosaat en metaboliet AMPA.

Rwzi effluenten vormen de belangrijkste belastingbron van humane geneesmiddelen op het oppervlaktewater. Oorzaak van de trend in geneesmiddelen gebruik ligt in bevolkingsgroei, vergrijzing en de gezondheidszorg (o.a. voorschrijfgedrag).

Er is niet genoeg informatie om een trend te bepalen voor de microbiologische parameter, *E. coli*. Een afname tijdens de laatste 12 jaar als gevolg van verbeteringen in de afvalwaterketen (afname ongezuiverde lozingen) lijkt aannemelijk.

### 3.1.3 Internationale stroomgebieden

De waterkwaliteit van het Nederlandse hoofdwatersysteem is sterk afhankelijk van de aanvoer van het buitenland. Deze aanvoer is in de EmissieRegistratie gekwantificeerd als één bron en berekend uit concentratie en debiet gegevens bij de grenslocaties Eijsden (Maas) en Lobith (Rijn). De aanvoer bij de grens is dus niet te herleiden naar verschillende bronnen zoals landbouw, huishoudens, industrie etc..

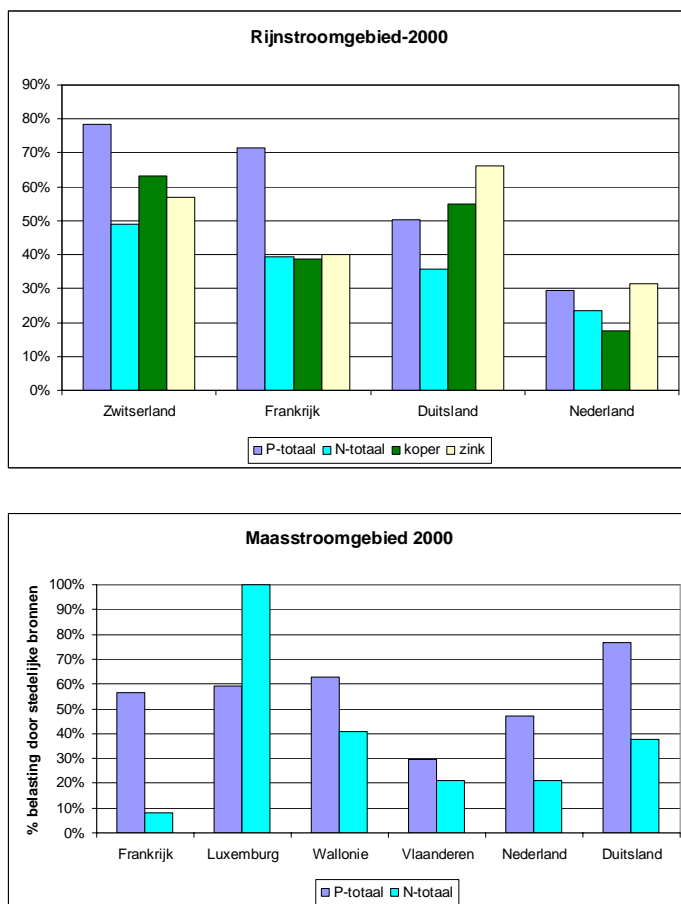
#### Klassieke verontreinigingen

De Internationale Rivier Commissies van de Rijn en de Maas hebben emissie inventarisaties uitgevoerd. De Internationale Rijn Commissie (IRC) heeft voor de nutriënten en de metalen koper en zink gegevens beschikbaar op het niveau van het gehele stroomgebied (RAP, 2003). De Internationale Maas Commissie (IMC) heeft alleen nutriënten data gepubliceerd (IMC, 2008). Beide datasets hebben betrekking op het jaar 2000.

Stedelijke bronnen vormen in Duitsland, Frankrijk en Zwitserland de grootste belasting terwijl in Nederland de stedelijke bronnen een kleiner aandeel van het totaal vormen (figuur 3.4). In Nederland zijn de niet-stedelijke bronnen relatief hoog.

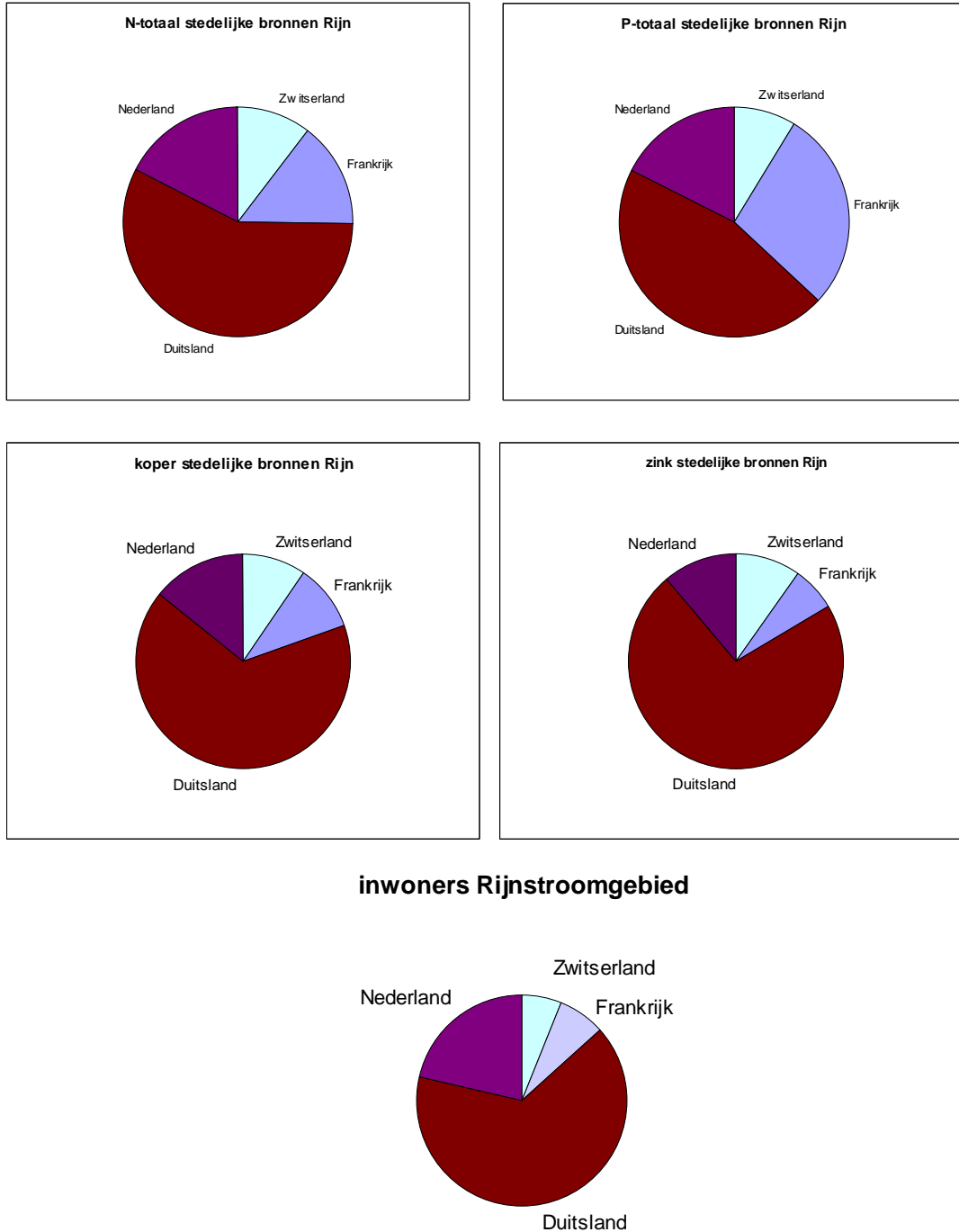
Een verklaring hiervoor is dat in Nederland de uit- en afspoeling van landbouwgronden voor zowel de nutriënten als de zware metalen goed worden berekend. In de andere lidstaten ontbreekt vaak een goede schatting van de bijdrage van deze bron.

Voor het Maasstroomgebied springt Nederland er niet duidelijk uit. Figuur 3.4 laat zien dat voor alle lidstaten stedelijke gebieden – grotendeels bestaande uit effluenten van rwzi's - een relevante bron zijn.



Figuur 3.4 Aandeel stedelijke bronnen t.o.v totale belasting oppervlaktewater per lidstaat gelegen in Rijn- en Maasstroomgebied (de dataset is te vinden in bijlage 2).

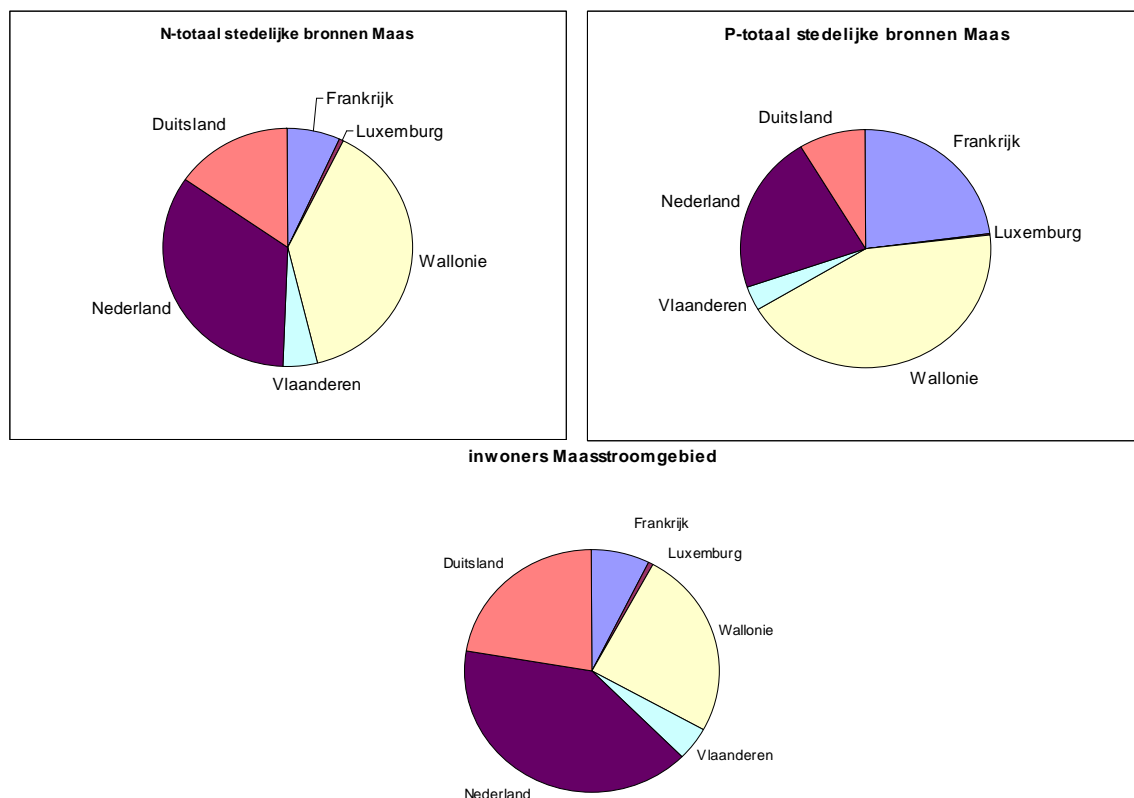
Figuur 3.5 laat zien dat de bijdrage van de landen aan het totaal van stedelijke belasting binnen het Rijnstroomgebied grofweg gerelateerd is aan het inwoneraantal. Alleen de nutriënten van Frankrijk vormen een groter aandeel dan je op grond van inwonersaantallen zou verwachten.



Figuur 3.5 Relatieve bijdrage van landen aan de belasting door stedelijke bronnen van oppervlaktewater binnen het Rijn stroomgebied (de volledige dataset is opgenomen in bijlage 2).



Voor het Maasstroomgebied is het verband met aantal inwoners en omvang stedelijke bronnen minder duidelijk (figuur 3.6). In het Maasstroomgebied geldt dat de stedelijke bronnen vanuit Wallonië groter zijn dan op grond van inwoneraantal te verwachten was. Dit is verklaarbaar. De emissie vanuit Wallonië is vanaf 2000 aan het afnemen omdat binnen de voortgaande implementatie van de stedelijke afvalwaterriichtlijn nog steeds agglomeraties van huizen en dorpen worden aangesloten op rwzi's (stroomgebiedbeheersplan Wallonië, te lezen op <http://environnement.wallonie.be/>).



Figuur 3.6 *Relatieve bijdrage van landen aan de belasting door stedelijke bronnen binnen het Maasstroomgebied (de volledige dataset is opgenomen in bijlage 2).*

### Geneesmiddelen

In alle Rijnstaten worden geneesmiddelen zoals carbamazepine in het oppervlaktewater gemeten en wordt het rwzi effluent als grootste bron aangewezen (ICBR, 2009). Concentraties van restanten van geneesmiddelen vormen daarmee een internationaal en grensoverschrijdend probleem voor de waterkwaliteit van de Rijn. De Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn (ICBR) is momenteel bezig met een inventarisatie van de emissies van een aantal geneesmiddelen door de lidstaten in het stroomgebied (ICBR-document, 2009). Uit het ICBR document blijkt dat carbamazepine in alle lidstaten worden voorgeschreven. Binnen het Rijnstroomgebied en binnen Europa verschillen de gebruikte hoeveelheden per lidstaat (van der Aa et al., 2008). Soortgelijke gegevens over gebruik van geneesmiddelen in het internationale Maasstroomgebied ontbreken.

Tabel 3.4 Gebruikte hoeveelheden van het geneesmiddel carbamazepine in een aantal lidstaten van het Rijnstroomgebied (ICBR, 2009).

gebruikte hoeveelheden (mg/pp/jr)	Zwitserland	Duitsland	Frankrijk	Nederland
carbamazepine	590	990	550	542

### Glyfosaat

Het gebruik van glyfosaat in bovenstroomse gebieden beïnvloedt de waterkwaliteit in de Nederlandse Maas en is dus een internationaal probleem (Volz, 2009). Voor 2006 is berekend, op basis van concentraties en afvoer gegevens, dat er bij Eijsden 916 kilo Nederland binnenkomt (Peñailillo en Driesprong, 2009). Glyfosaat wordt in sommige deelstaten van het Rijn stroomgebied wel gebruikt maar op een zodanige wijze dat de emissies naar de Rijn laag zijn. Het aantal overschrijdingen van de glyfosaat norm in de Rijn neemt af, in 2008 wordt de norm alleen nog bij Nieuwersluis overschreden (RIWA Rijnjaarrapport, 2008). Overschrijdingen van AMPA (metaboliet van glyfosaat) worden wel in de Rijn aangetroffen.

### Hygiënische parameters

Er zijn microbiologische normen voor oppervlaktewateren met de functie drinkwater en zwemwater. Deze normen zijn Europees vastgelegd en gelden daarmee voor alle lidstaten. Voor inname van drinkwater vormen doorgaans de microbiologische parameters geen knelpunten (RIWA jaarrapporten 2008). Voor zwemwater kunnen te hoge hoeveelheden *E. coli* een risico vormen voor zwemmers en indien normen worden overschreden kan een zwemlocatie gesloten worden. De oorzaak van de aanvoer van *E. coli* kan vaak lokaal gevonden worden en is geen internationaal en grensoverschrijdend probleem.

### Hoofdpunten van 3.1.3

In alle lidstaten van het Rijn- en Maasstroomgebied vormen de steden een significante bron van de klassieke verontreinigingen zoals nutriënten en zware metalen. Omvang van de klassieke verontreinigingen zijn veelal gerelateerd aan inwoneraantallen. Te hoge concentraties van deze stoffen levert knelpunten op voor het bereiken van de KRW- normen.

Ook de emissies van geneesmiddelen zijn gerelateerd aan inwoneraantallen. Daarnaast bepalen andere factoren, zoals het voorschrijfgedrag en de aanwezigheid van zorginstellingen de aanwezigheid van geneesmiddelen in het stedelijk rioolwater.

Data van het Rijnstroomgebied laat zien dat aanwezigheid van restanten van geneesmiddelen een grensoverschrijdend probleem is. Dit levert knelpunten voor de productie van drinkwater uit oppervlaktewater.

Concentraties van glyfosaat (en AMPA) leveren knelpunten op voor de drinkwaterproductie in de Maas en in mindere mate voor de Rijn.

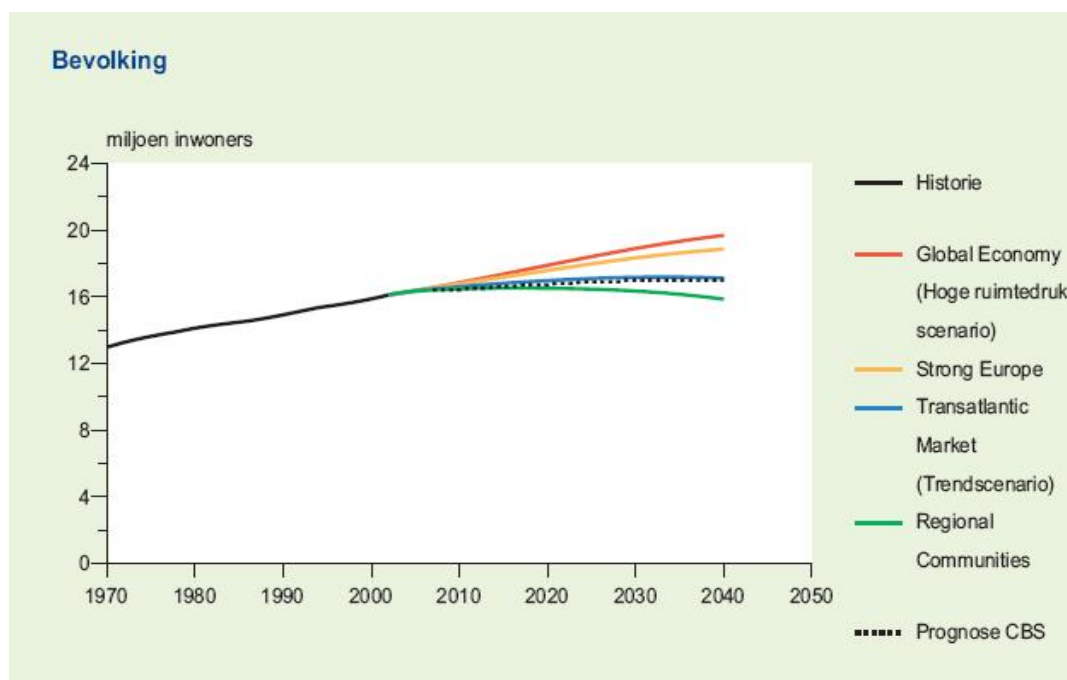
In de hoofdstroom van de Rijn en de Maas leveren microbiologische verontreinigingen geen knelpunt op voor de drinkwaterinname. Eventuele belemmeringen voor recreatief gebruik worden doorgaans veroorzaakt door besmettingsrisico van lokale bacteriologische emissiebronnen en is om deze reden geen grensoverschrijdend probleem in het Rijn- en Maasstroomgebied.

## 3.2 Emissiescenario's

Deze paragraaf schetst de verwachte ontwikkelingen in de omvang van stedelijke bronnen. Omdat de stedelijke emissies van de klassieke verontreinigingen (N, P, koper, zink en de PAK's), humane geneesmiddelen en *E coli* gerelateerd zijn aan het inwoner aantal, worden eerst scenario's voor bevolkingsgroei geanalyseerd. Voor de bevolkingsgroei zijn geen scenario's per stroomgebied gevonden en daarom is terug gegrepen op onderzoek uitgevoerd in de lidstaten zelf. Voor deze verkennende studie hebben we ons beperkt tot emissiescenario's voor het Rijnstroomgebied.

### 3.2.1 Bevolkingsgroei in Rijnstroomgebied

Voor Nederland zijn scenario's voor bevolkingsontwikkeling gepubliceerd voor 2040 (MNP, 2007). In deze studie worden vier scenario's berekend, elk scenario weerspiegelt andere economische en demografische ontwikkelingen voor de toekomst. Figuur 3.7 laat de resultaten hiervan zien. Voor deze verkennende studie hebben we de getallen van de Transatlantic Market overgenomen (figuur 3.7). Transatlantic Market neemt een middenpositie in qua demografische ontwikkeling en economische groei.

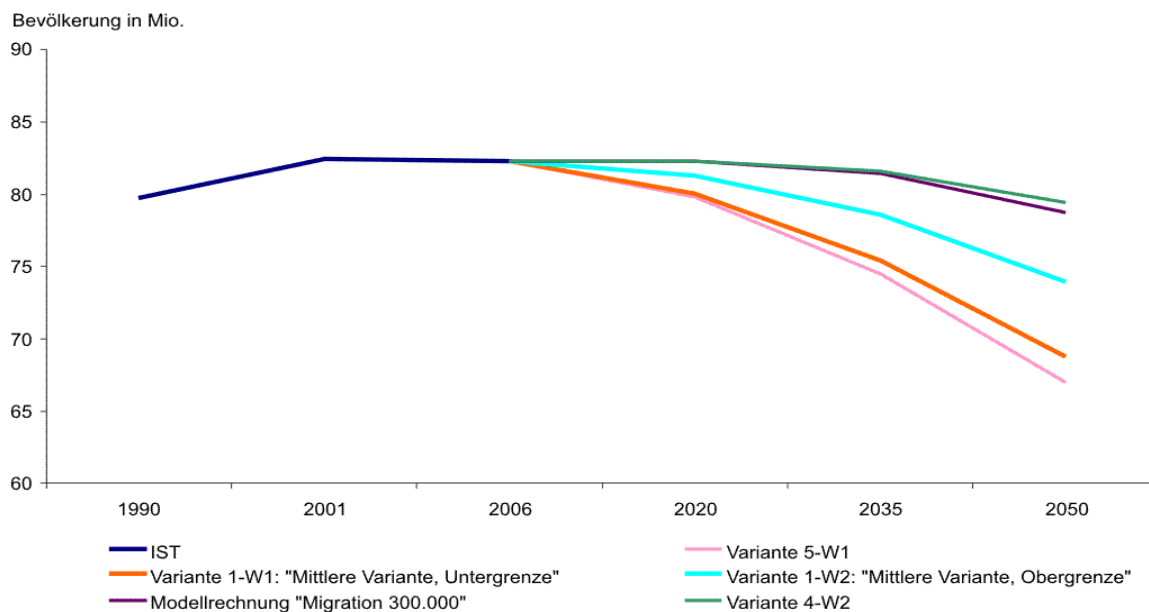


Figuur 3.7 *Bevolkingsontwikkeling in Nederland volgens de vier WLO scenario's en de bevolkingsprognose van het CBS (MNP, 2007).*

De bevolkingsgroei van Duitsland laat een ander beeld zien. Een studie van het 'Statistische Bundesamt, Wiesbaden' (Sommer, 2004) laat een verandering zien in de leeftijdsopbouw van de Duitse bevolking die er toe leidt dat het totale aantal inwoners in Duitsland afneemt voor alle gebruikte scenario's (figuur 3.8). Indien we ook hier een 'midden scenario' kiezen, dan neemt de bevolking van Duitsland met 13% af ten opzichte van het aantal in 2005 (tabel 3.5). Ook voor de deelstaten binnen het Rijnstroomgebied geldt deze afname (Sommer, 2004).

Voor de Rijn lidstaten buiten Duitsland en Nederland is aangenomen dat het aantal inwoners in 2050 gelijk is aan 2005 (tabel 3.5). Deze aanname is gebaseerd op de gelijkblijvende trends voor noord en zuid Europa in de studie van Hilderink (2004). Omdat Duitsland en Nederland samen het overgrote deel van de bevolking bepalen, is niet verder gezocht naar gedetailleerde informatie over de andere landen van het Rijnstroomgebied.

## Varianten der Bevölkerungsprojektionen bis 2050



Quelle: Statistisches Bundesamt, 11. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, 2006

Figuur 3.8 Bevolkingsontwikkeling in Duitsland.

Tabel 3.5 Geschatte aantal inwoners per lidstaat van het Rijnstroomgebied voor 2050. De aantallen voor 2005 zijn gebaseerd op de beschrijving van het Rijnstroomgebied anno 2005 voor de KRW (ICBR, 2005).

Land	Inwoners 2005	Inwoners 2050
Nederland	11 543 000	12 277 081
Duitsland	36 914 000	31 949 067
Frankrijk	3 708 000	3 708 000
Zwitserland	5 049 000 <sup>1</sup>	5 049 000
rest	814 000	814 000
<b>Totaal</b>	<b>58 028 000</b>	<b>53 797 148</b>

De beschikbare informatie laat zien dat het aantal inwoners in het Rijnstroomgebied in 2050 circa 8% lager kan zijn dan in 2005<sup>2</sup>. De groei of afname van het aantal inwoners in een stroomgebied zegt nog niet zoveel over verstedelijking of ontstedelijking, deze vraag is niet meegenomen in de onderliggende studies.

<sup>1</sup> Dit cijfer is gebaseerd op 14% van het oppervlak van Zwitserland. In de Bestandsafunahme van 2000 (ICBR, 2003) was dit slechts 6% en daarom veel lager.

<sup>2</sup> Een andere studie (van der Aa et al., 2010) komt op een afname van 8% in 2060 t.o.v. 2005

Voor het Maasstroomgebied wordt ingeschat dat de bevolking in 2060 met ongeveer 3% is gegroeid t.o.v. 2005 (van der Aa et al., 2010).

### 3.2.2 Ontwikkeling van stedelijke bronnen

Omdat de stedelijke belasting van N, P, koper, zink, PAK's, humane geneesmiddelen en *E. coli* op het oppervlaktewater grofweg gerelateerd zijn aan het inwoneraantal zal de belasting door stedelijke bronnen bij een afnemende bevolking ook lager worden. Daarnaast zijn technische ontwikkelingen bij rwzi's (bv. verdergaande zuivering, meer aansluitingen van agglomeraties van woningen op rwzi's, etc) ook bepalend voor de uiteindelijke belasting van het oppervlaktewater.

Uit de Nederlandse stroomgebiedbeheersplannen blijkt dat er een aantal maatregelen gepland zijn om de zuiveringsrendementen van rwzi's te verbeteren. Basis voor verbetering zijn de KRW doelen. Naast het KRW beleid zijn er nog meer maatregelen te verwachten die de zuivering van het rioolwater zullen verbeteren, zoals genoemd in deelstroomgebiedsvisionen en de reconstructieplannen (PBL, 2008). Ook in Duitsland en Zwitserland wordt nog verder gewerkt aan de optimalisatie van de rioolwaterzuivering en zal de zuiveringsrendementen door rwzi's toenemen. Dit ondanks dat zowel Duitsland als Nederland aan de EU-richtlijn stedelijk afvalwater (91/271/EEG) voldoet.

In het Internationale Rijn stroomgebiedbeheersplan (ICBR, 2008) wordt een prognose gegeven van de emissies van stikstof (tabel 3.6). In 2000 was 40% van de totale stikstof belasting afkomstig van stedelijke bronnen, bij de 'huidige belasting' is dat 31% en in 2015 zal de stedelijke bron nog 30% van het totaal vormen (tabel 3.6). Deze prognoses zijn gebaseerd op 'expert-judgments' van de lidstaten. In deze prognose zit een inschatting van de groei of afname van de emissies en de effecten van geplande bronmaatregelen.

*Tabel 3.6 Hoeveelheden stikstof voor het Rijnstroomgebied voor drie categorieën, stedelijke bronnen, landbouwgronden en industrie. Percentages geven aandeel van de categorie van het totaal voor dat jaar. Informatiebron is het Internationale stroomgebiedbeheersplan voor de Rijn (ICBR, 2008). De cijfers die bij 'huidige belasting' worden genoemd komen uit 2005, 2006 of 2007, afhankelijk van aanleverende lidstaat.*

Emissies (kton)	2000	Huidige belasting	Prognose 2015
Stedelijke bronnen	129 (37%)	92 (31%)	73 (30%)
Landbouwgronden	197 (56%)	181 (61%)	150 (61%)
Industrie	24 (7%)	23 (8%)	21 (9%)

Afname van inwoner aantallen en toename zuiveringstechnieken bij een rwzi zijn de belangrijkste redenen voor de verwachte afname van de klassieke verontreinigingen in het effluent in het Rijnstroomgebied. Afname van 40% in 2050 ten opzichte van 2000 voor de klassieke verontreinigingen lijkt haalbaar en is daarom gebruikt voor een eerste rekenexercitie.

Voor het Maasstroomgebied zijn er geen gegevens om een goede inschatting te maken. Een flinke afname lijkt wel aannemelijk door het verder aansluiten van ongezuiverde lozingen uit agglomeraties van woningen op rwzi's in Wallonië.

## **Geneesmiddelen**

De trend voor geneesmiddelen is iets lastiger vast te stellen. Het gebruik van geneesmiddelen is namelijk niet alleen gerelateerd aan het aantal inwoners, maar ook aan de leeftijdsopbouw van de bevolking (vergrijzing), het voorschrijven van medicijnen en de ontwikkeling van nieuwe medicatie in de gezondheidszorg (van de Aa, 2008). Dit komt goed tot uiting in tabel 3.4 waar het gebruik per persoon in elke lidstaat anders is.

## 4 Stedelijke emissies, waterstromen en waterkwaliteit

In het Maasstroomgebied bestaat ongeveer een kwart van de zomerafvoer uit stedelijk afvalwater. Een verdere afname van de zomerafvoer met 25% volgens het W+ scenario maakt deze situatie een stuk kritischer. In de huidige situatie is het gebruik van het water in het Rijnstroomgebied relatief een stuk lager dan voor de Maas. Echter, onder het W+ scenario neemt de gemiddelde zomerafvoer met ongeveer 40% af, en in het geval irrigatie toe zou nemen in Duitsland door een toename van de temperatuur en verdamping kan een nog sterkere afname van de Rijn-afvoeren verwacht worden.

Tabel 4.1 laat zien hoe de concentraties van de stoffen P, N, Zn en Cu bij Lobith kunnen veranderen onder verschillende afvoerregimes: het huidige regime en afvoeren onder het W en W+ scenario. Voor de afvoeren zijn de gegevens uit de eerste rij (5% percentiel) van tabel 2.1 gebruikt. Er is gekeken naar de concentraties bij belasting van het oppervlaktewater zoals in 2000 (paragraaf 3.1.3) en bij een afname van 40% van de stedelijke bronnen (paragraaf 3.2.3).

Gedurende periodes van extreem lage afvoer (5 % percentiel, zie paragraaf 2.2) onder het W+ scenario kunnen de concentraties van de verontreinigende stoffen behoorlijk oplopen. Bij deze lage afvoer van de Rijn wordt het rwzi effluent een meer bepalend deel van de Rijn-afvoer en lopen de stofconcentraties op. Blijft de belasting gelijk aan die van het jaar 2000 dan worden voor alle stoffen de drempelwaarden overschreden, voor beide scenario's (m.u.v. stikstof bij W scenario). Bij een afname van de belasting vanuit stedelijke gebieden met 40 % worden de drempelwaarden voor alleen fosfor en zink bij het W+ scenario nog overschreden.

Tabel 4.1 Concentraties bij Lobith tijdens de laagste afvoeren (5% percentiel) onder huidige omstandigheden en twee toekomst scenario's, W en W+ scenario (zie hoofdstuk 2). Voor elke stof zijn concentraties berekend voor 'belasting als 2000' (stedelijke emissies uit het jaar 2000, zie paragraaf 3.1.3) en een afname van 40% van de belasting uit stedelijke gebieden t.o.v. het jaar 2000 (paragraaf 3.2.3).

	Huidige situatie	2050 W scenario	2050 W+ scenario	drempelwaarde
stikstof (mg/l)				
belasting als 2000	3,3	3,1	4,5	max 4 mg/l (KRW norm voor beken en rivieren)
afname van 40%	2	1,9	2,7	
fosfor (mg/l)				
belasting als 2000	0,32	0,3	0,4	max 0,14 mg/l (KRW norm voor beken en rivieren)
afname van 40%	0,2	0,2	0,3	
koper (µg/l)				
belasting als 2000	4,2	4	5,7	3,8 µg/l (MKE norm uit bijlage II van Bkmw 2009 inspraakversie Staatscourant, 2008) <sup>3</sup>
afname van 40%	2,5	2,4	3,4	
zink (µg/l)				
belasting als 2000	25,1	23,9	34,1	15,6 µg/l (MAC norm uit bijlage II van Bkmw 2009, inspraakversie Staatscourant, 2008)
afname van 40%	15,1	14,3	20,5	

Voor de andere stoffen, geneesmiddelen en glyfosaat, geldt dat ontwikkelingen van emissies lastig te bepalen zijn (zie 3.2.2). Wel kunnen we zeggen dat het risico van een verhoging van de concentraties tijdens lage afvoeren van Rijn en Maas ook voor deze stoffen geldt. Geneesmiddelen worden het gehele jaar gebruikt en glyfosaat wordt als onkruidbestrijdingsmiddel juist in de zomer gebruikt op verhardingen van bedrijfsterreinen en in steden.

3. De hier genoemde normen komen uit de inspraakversie (Staatscourant, 2008) in de definitieve versie (Staatsblad, 2010) zijn deze normen niet meer opgenomen. De koper en zink normen komen wel terug in de Regeling monitoring kaderrichtlijn water.



## 5 Conclusies

Het water uit de Maas en de Rijn wordt intensief gebruikt o.a. voor drinkwaterbereiding en recreatieve doeleinden. Tijdens de zomer wordt Maas- en Rijnwater gebruikt als inlaatwater en nu nog voor een klein deel gebruikt voor irrigatie in de landbouw. Voor zowel de Rijn als de Maas geldt dat in de zomer de afvoer voor circa 25% uit rwzi effluenten bestaat. Voor de Maas geldt dat in de zomer een hoeveelheid gelijk aan de zomerafvoer gebruikt wordt als koelwater voor o.a. elektriciteitscentrales; voor de Rijn is dit circa 2/5-deel van de zomerafvoer.

Bij het W+ klimaatscenario voor 2050 en 2100 worden de verschillen tussen de zomer- en winterafvoeren extremer. Dit resulteert in een afname van de gemiddelde zomerafvoer van Rijn en Maas met respectievelijk 40% en 25%. Hierdoor wordt de invloed van het watergebruik in de toekomst alleen maar relevanter.

De impact van verstedelijking op de afvoerregimes van de Rijn en de Maas is gering, veranderingen in het klimaat en watergebruik, zoals rwzi lozingen en koelwater gebruik, hebben we een duidelijke invloed. Daarentegen is wel de verwachting dat door toenemende hitte en droogte het watergebruik in de stad zal gaan toenemen. Een verlaging van de Rijn- en Maasafvoer tijdens het zomerseizoen kan de beschikbaarheid van water voor de stad verminderen. Er is weinig bekend over hoe steden met deze problematiek om zouden kunnen of moeten gaan.

Toenemende hitte en droogte kan ook leiden tot hoger watergebruik in bovenstroomse landbouwgebieden en zo het afvoerregime beïnvloeden. In Zuid-Europa bijvoorbeeld is de irrigatie van landbouw verantwoordelijk voor meer dan 80 % van het waterverbruik. Tot op heden is weinig bekend wat de gevolgen kunnen zijn voor de Rijn- en Maasaanvoer.

De in deze studie genoemde stofgroepen vormen momenteel een knelpunt voor de waterkwaliteit. De aard van het knelpunt is verschillend: het kan een KRW norm zijn (klassieke verontreinigingen) of de productie van kwalitatief goed drinkwater nadelig beïnvloeden (geneesmiddelen en glyfosaat). Bepalend voor de belasting van de nutriënten, koper en zink is een combinatie van aantal inwoners en mate van doorvoering bronmaatregelen (afvalwaterketen, zuivering rwzi, gebruik duurzaam bouw materiaal etc.). Omvang van de bevolking, vergrijzing en ontwikkelingen in gezondheidszorg is bepalend voor het gebruik van geneesmiddelen en dus de belasting op het oppervlaktewater. De belasting van glyfosaat is afhankelijk van het gebruik van het middel; bij de keuze van dit middel is het deel verhard oppervlak in een stad bepalend voor de belasting naar oppervlaktewater.

Bij klimaatverandering zullen een aantal klassieke verontreinigingen een probleem blijven vormen tijdens periodes van lage afvoer. Bij een geschatte emissiereductie van 40% t.o.v. 2000 zullen tijdens extreem lage afvoeren in 2050 fosfor en zink normen nog steeds overschreden worden (W+ scenario). Zonder emissie reducerende maatregelen overschrijden concentraties van de nutriënten, zink en koper de normen.

Voor de overige stoffen zijn geen berekeningen gedaan. Maar ook voor geneesmiddelen en glyfosaat geldt dat deze zonder aanvullende emissiereducerende maatregelen in de toekomst grotere invloed gaan hebben op de waterkwaliteit. Speciaal tijdens lage afvoeren in de zomer kunnen de concentraties hoog oplopen. Het betreft niet alleen deze stoffen, maar een groot scala aan andere stoffen die gebruikt worden o.a. in consumentenproducten, in gebouwen of middelen die gerelateerd aan stedelijk beheer. Het is niet de verwachting dat het gebruik van deze stoffen in de toekomst zal afnemen.

Zonder aanvullende maatregelen zal rwzi effluent een belangrijke emissiebron van verontreiniging voor het Rijn- en Maaswater blijven. Zowel nationaal als internationaal. Lozing is constant in de tijd en vindt ook plaats tijdens droge perioden in de zomer gepaard gaande met lage afvoeren van Rijn en Maas. Juist bij deze lage afvoeren kunnen concentraties aan verontreinigende stoffen oplopen en mogelijke drempelwaarden overschrijden.

Deze verkennende studie laat zien dat rwzi effluenten een relevante emissiebron zijn en dat ook in de toekomst zullen blijven voor het Rijn- en Maasstroomgebied. Verder onderzoek is nodig om dit beeld te bevestigen en beter te kwantificeren. Deze vraag zou stroomgebiedbreed dus internationaal opgepakt moeten worden. Bij een vervolgstudie dienen de volgende twee kennisvragen verder opgepakt dienen te worden:

- Hoe gaan watergebruikspatronen bovenstrooms van Nederland in de toekomst veranderen? Vooral irrigatie in de landbouw is erg bepalend en kan bij toenemende droogte en warmte tijdens het groeiseizoen veel water vragen; in Zuid Europa is de landbouw bij verre de grootste watergebruiker. Wat zijn de toekomstige ontwikkelingen in de landbouw m.b.t. het watergebruik en wat voor gevolgen kan dit hebben voor stedelijke gebieden wat betreft het watergebruik en de emissies?
- Hoe ziet het watergebruik in de stad er in de toekomst uit en aan welke kwaliteit moet dit voldoen? In hoeverre moet Rijn- en Maaswater worden gebruikt als suppletiewater of kunnen stedelijke gebieden met hulp van rwzi effluenten hierin zelfvoorzienend zijn?

## 6 Referenties

- van der Aa, N.G.F.M., G.J. Kommer, G.M. de Groot, J.F.M. Versteegh. 2008. Geneesmiddelen in bronnen voor drinkwater. Monitoring, toekomstig gebruik en beleidsmaatregelen. Rapport 609715002/2008.
- van der Aa, N.G.F.M., G.J. Kommer, J.E. van Montfoort en J.F.M. Versteegh. Demographic projections of future pharmaceutical consumption in the Netherlands. Water Science and Technology, in press.
- Hilderink, H.B.M., 2004. Population and Scenarios: Worlds to Win? RIVM report 550012001/2004.
- ICBR, 2003. Rhein Bestandsaufnahme der Emissionen prioritärer Stoffe 2000. Beschikbaar op [www.ikrs.org](http://www.ikrs.org).
- ICBR, 2005 Internationaal stroomgebiedsdistrict Rijn kenmerken, beoordeling van de milieueffecten van menselijke activiteiten en economische analyse van het watergebruik. (Deel A = overkoepelend deel), stand: 18-03-05. Beschikbaar op [www.ikrs.org](http://www.ikrs.org)
- ICBR, 2008. Stroomgebiedbeheerplan van het internationaal stroomgebiedsdistrict Rijn. Internationaal gecoördineerd ontwerp. Stand: december 2008. Beschikbaar op [www.ikrs.org](http://www.ikrs.org).
- IMC, 2008. Internationaal Stroomgebiedsdistrict Maas. Ontwerp van het overkoepelend deel van het beheersplan voor het internationale stroomgebiedsdistrict van de Maas. Luik, 22 december 2008. Verkrijgbaar op [www.cipm-icbm.be](http://www.cipm-icbm.be)
- KNMI, 2009. Klimaatverandering in Nederland. Aanvullingen op de KNMI '06 klimaatscenario's. Brochure, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De Bilt.
- de Man., Heleen, Melanie Kuiper, Imke Leenen. 2009. Methodiek om gezondheidsrisico's van stedelijk water te beoordelen. Inclusief tips en trucs om potentiële verontreiniging te voorkomen. RWS Waterdienst en Grontmij rapport. 13/99095224/HdM, revisie D2.
- MNP, 2007. Nederland later. Tweede duurzaamheidsverkenning deel Fysieke leefomgeving Nederland.
- Morgenschweis, G., Strassen, G. en Schwanenberg, D., 2006. Langzeitbewirtschaftungsanalyse für das Talsperrensystem im Einzugsgebiet der Ruhr. WL | Delft Hydraulics und Ruhrverband Essen.
- PBL, 2008. Kwaliteit voor later. Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water. PBL publicatienummer 50014001/2008.
- Peñailillo en Driesprong, 2009. Regio actie diffuse bronnen. Deltares/Witteveen en Bos rapport.
- RIWA jaarrapport Maas, 2008. De kwaliteit van het Maaswater in 2008. Verkrijgbaar op [www.riwa.org](http://www.riwa.org).
- RIWA jaarrapport Rijn, 2008. Jaarrapport 2008 De Rijn. Verkrijgbaar op [www.riwa.org](http://www.riwa.org)
- Sommer, B. 2004. Bevölkerungsentwicklung in den Bundesländern bis 2050. Statistisches Bundesamt; Wirtschaft und Statistik 8/2004.
- Volz, J. 2009. Glyphosaat en AMPA in het stroomgebied van de Maas. Resultaten van een meetcampagne in het jaar 2008. Verkrijgbaar op [www.riwa.org](http://www.riwa.org).
- de Wit, 2008. Van regen tot Maas. Grensoverschrijdend waterbeheer in droge en natte tijden. ISBN-9789085712305. Veenvan Magazines, Diemen.



## A Bijlage 1

Gegevens uit database van de EmissieRegistratie (juli 2009). De cijfers geven de belasting op het oppervlaktewater in het Nederlandse stroomgebied van de Rijn en de Maas. Hierbij zijn alleen de cijfers van de belasting in de deelstroomgebieden zijn meegenomen, niet die van belasting op de Noordzee.

<b>N-totaal (kg)</b>					
<b>Rijn</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	1.304.273	948.991	667.575	327.222	266.518
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	31.231.830	26.487.940	21.469.680	16.430.091	14.594.942
stedelijke bronnen	32.538.093	27.438.926	22.139.255	16.759.318	14.863.466
overige bronnen	68.805.556	70.944.868	72.459.833	44.926.608	44.733.784
totaal	101.343.649	98.383.794	94.599.088	61.685.926	59.597.250
stedelijke bronnen (N)	32%	28%	23%	27%	25%
<b>P-totaal(kg)</b>					
<b>Rijn</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	198.304	151.163	114.582	56.353	44.455
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	4.763.410	2.571.931	2.034.085	1.815.502	1.754.460
stedelijke bronnen	4.963.704	2.725.089	2.148.667	1.873.860	1.800.921
overige bronnen	12.853.032	6.126.139	5.108.894	2.735.108	2.606.862
totaal	17.816.736	8.851.228	7.259.561	4.608.968	4.407.783
stedelijke bronnen (N)	28%	31%	30%	41%	41%
<b>Cu (kg)</b>					
<b>Rijn</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	2.152	1.485	1.019	499	407
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	34.322	22.999	21.053	19.019	17.702
stedelijke bronnen	36.475	24.484	22.072	19.518	18.109
overige bronnen	104.690	105.443	102.709	52.125	52.884
totaal	141.165	129.927	124.781	71.643	70.993
stedelijke bronnen (N)	26%	19%	18%	27%	26%
<b>Zn (kg)</b>					
<b>Rijn</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	2.577	3.411	1.489	786	640
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	131.865	114.330	96.866	79.108	72.637
stedelijke bronnen	134.442	117.741	98.355	79.894	73.278
overige bronnen	289.081	233.720	212.905	191.742	191.575
totaal	423.523	351.461	311.260	271.636	264.852
stedelijke bronnen (N)	32%	34%	32%	29%	28%
<b>PAK (kg)</b>					
<b>Rijn</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	10	4	5	5	1
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	3.532	2.233	1.237	1.237	1.081
stedelijke bronnen	3.541	2.237	1.242	1.242	1.083
overige bronnen	9.590	6.332	2.685	2.674	1.845
totaal	13.132	8.570	3.926	3.916	2.928
stedelijke bronnen (N)	27%	26%	32%	32%	37%

<b>N-totaal(kg)</b>					
<b>Maas</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	268.900	195.535	136.668	60.066	49.063
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	7.828.770	8.058.490	6.026.650	4.455.330	3.749.810
stedelijke bronnen	8.097.670	8.254.025	6.163.318	4.515.396	3.798.873
overige bronnen	13.928.630	30.071.275	22.777.382	12.676.704	11.135.927
totaal	22.026.300	38.325.300	28.940.700	17.192.100	14.934.800
stedelijke bronnen (N)	37%	22%	21%	26%	25%
<b>P-totaal (kg)</b>					
<b>Maas</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	40.884	31.146	23.458	10.325	8.164
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	1.314.720	794.352	671.522	665.692	642.528
stedelijke bronnen	1.355.604	825.498	694.980	676.017	650.692
overige bronnen	515.564	938.418	785.647	500.396	446.420
totaal	1.871.168	1.763.916	1.480.626	1.176.412	1.097.111
stedelijke bronnen (P)	72%	47%	47%	57%	59%
<b>koper (kg)</b>					
<b>Maas</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	444	306	209	92	75
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	11.193	10.304	9.150	5.327	4.125
stedelijke bronnen	11.637	10.610	9.359	5.418	4.200
overige bronnen	12.868	14.328	13.686	5.906	5.195
totaal	24.505	24.938	23.045	11.324	9.395
stedelijke bronnen (Cu)	47%	43%	41%	48%	45%
<b>zink (kg)</b>					
<b>Maas</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	531	703	305	144	118
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	41.642	33.433	27.923	27.823	25.070
stedelijke bronnen	42.173	34.135	28.228	27.968	25.188
overige bronnen	55.852	42.393	35.792	31.981	32.692
totaal	98.026	76.528	64.020	59.949	57.880
stedelijke bronnen (Zn)	43%	45%	44%	47%	44%
<b>glyfosaat (kg)</b>					
<b>Maas</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	34	139	1726	4158	3835
landbouw				4	4
stedelijke bronnen	34	139	1.726	4.162	3.839
overige bronnen	0	0	0	0	0
totaal	34	139	1.726	4.162	3.839
stedelijke bronnen	100%	100%	100%	100%	100%
<b>PAK's (6van Borneff)</b>					
<b>Maas</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Consumenten	2	1	1	0	0
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	648	471	229	193	181
stedelijke bronnen	650	472	230	193	181
overige bronnen	1.385	1.038	454	337	298
totaal	2.036	1.510	684	530	479
stedelijke bronnen	32%	31%	34%	36%	38%

## B Bijlage 2

Internationale data, voor Rijn en Maasstroomgebied

**Rijn** Data is afkomstig uit IRC publicatie 'Bestandaufnahme der emissionen PS 2000' (erscheinungsdatum mai 2003). De data over N komen terug in het internationaal deel van het concept stroomgebiedbeheersplan (ICBR, 2008 pag. 53), voor N zijn op een aantal punten aanpassingen op de cijfers uitgevoerd. Voor Nederland zijn de 2000 cijfers aangepast aan de EmissieRegistratie zodat het geheel consistent is met de gepresenteerde data in bijlage 1. Natuurlijke achtergrond belasting is hier niet opgenomen.

Rijn		Zwitserland	Frankrijk	Duitsland	Nederland
totaal-N	rwzi's	12.300.000	15.132.000	63.348.789	
	communale diffuse bronnen	891.000	3.290.000	8.650.000	
	stedelijke bronnen	13.191.000	18.422.000	71.998.789	22.139.255
	alle antropogene bronnen	26.889.000	46.673.000	201.980.648	94.599.088
	%stedelijke bronnen	49%	39%	36%	23%
Rijn		Zwitserland	Frankrijk	Duitsland	Nederland
totaal-P	rwzi's	900.000	2.774.000	4.243.368	
	communale diffuse bronnen	172.000	677.000	1.342.000	
	stedelijke bronnen	1.072.000	3.451.000	5.585.368	2.148.667
	alle antropogene bronnen	1.369.000	4.837.400	11.128.683	7.259.561
	%stedelijke bronnen	78%	71%	50%	30%
Rijn		Zwitserland	Frankrijk	Duitsland	Nederland
koper	rwzi's	8.100	7.270	32.573	
	communale diffuse bronnen	7.097	7.888	69.437	
	stedelijke bronnen	15.197	15.158	102.010	22.072
	alle antropogene bronnen	24.020	39.266	185.219	124.781
	%stedelijke bronnen	63%	39%	55%	18%
Rijn		Zwitserland	Frankrijk	Duitsland	Nederland
zink	rwzi's	55400	24400	205279	
	communale diffuse bronnen	30469	35344	440480	
	stedelijke bronnen	85.869	59.744	645.759	98.355
	alle antropogene bronnen	150.795	149.673	975.578	311.260
	%stedelijke bronnen	57%	40%	66%	32%

**Maas** De cijfers zijn afkomstig uit bijlage 11 van het internationaal stroomgebiedbeheersplan, zoals in december 2008 als concept gepubliceerd door de IMC (IMC, 2008) . Ook hier zijn de cijfers voor Nederland gelijk geschakeld met die van de EmissieRegistratie zoals gebruikt in bijlage 1 van deze studie, de verschillen tussen beide zijn minimaal.

Maas		Frankrijk	Luxemburg	Wallonië	Vlaanderen	Nederland	Duitsland
totaal-N	rwzi's	230.032	62.477	1.343.251	584.903		1.686.451
	communale diffuse bronnen	1.048.603	3.808	5.643.565	216.165		1.076.527
	stedelijke bronnen	1.278.635	66.285	6.986.816	801.068	6.163.318	2.762.978
	alle antropogene bronnen	16.020.240	66.285	17.154.335	3.804.048	28.940.700	7.365.535
	%stedelijke bronnen	8%	100%	41%	21%	21%	38%
	inwoners	671000	43000	2189000	411000	3500000	1994000
totaal-P	rwzi's	204.550	9.469	134.360	66.748		81.624
	communale diffuse bronnen	533.110	628	1.237.628	36.748		190.282
	stedelijke bronnen	737.660	10.097	1.371.988	103.496	694.980	271.906
	alle antropogene bronnen	1.309.625	17.097	2.182.172	348.269	1.480.626	355.123
	%stedelijke bronnen	56%	59%	63%	30%	47%	77%