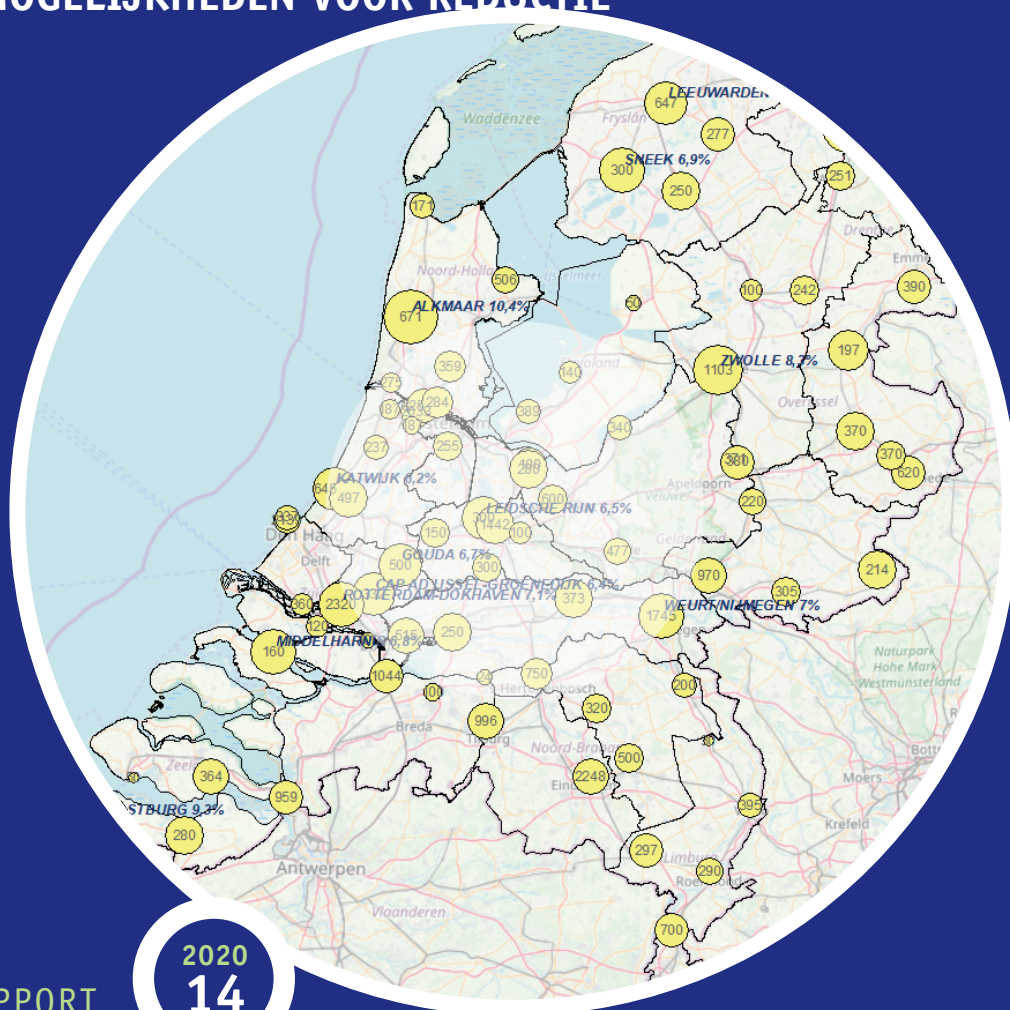


# BIJDRAGE VAN ZIEKENHUIS- AFVALWATER AAN DE EMISSIE VAN MEDICIJNRESTEN NAAR OPPERVLAKTEWATER RWZI'S, OVERSTORTEN, FOUTAANSLUITINGEN EN MOGELIJKHEDEN VOOR REDUCTIE



RAPPORT

2020  
14

BIJDRAGE VAN ZIEKENHUISAFVALWATER AAN DE EMISSIE  
VAN MEDICIJNRESTEN NAAR OPPERVLAKEWATER.  
RWZI'S, OVERSTORTEN, FOUTAANSLUITINGEN EN  
MOGELIJKHEDEN VOOR REDUCTIE

**RAPPORT**

2020

**14**

ISBN 978.90.5773.881.4



stowa@stowa.nl [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE      Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEUR      Marc Vissers, Rintje Stokje, Stefan Witteveen, Christa Morgenschweis, Amanda Vierwind

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Janneke Snijders, Waterschap Aa en Maas  
Gerard Rijs, Rijkswaterstaat  
Sigrid Haverkamp, Waterschap Zuiderzeeland  
Annemarie Kramer-Hoenderboom, Waterschap Rijn en IJssel  
Michael Bentvelsen, Unie van Waterschappen  
Olaf Duin, Waterschap Hollandse Delta  
Richard van Hoorn, Waterschap Vallei en Veluwe  
Bert Palsma, STOWA

DRUK      Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA      STOWA 2019-14  
ISBN      978.90.5773.881.4

Copyright      Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.  
Disclaimer      Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

**Het aandeel medicijnresten op een Nederlandse RWZI dat afkomstig is uit ziekenhuizen, bedraagt meestal minder dan 5 %. Slechts enkele ziekenhuizen dragen rond de 10 % bij aan de totale vracht. De bijdrage van overstorten en foutaansluitingen op het hemelwaterriool aan de directe emissie van restanten geneesmiddelen naar het oppervlaktewater is sterk afhankelijk van de lokale situatie. Deze routes kunnen in concrete gevallen van belang zijn voor de waterkwaliteit.**

In deze rapportage is de bijdrage van ziekenhuisafvalwater aan de totale emissie van restanten geneesmiddelen aan de hand van kentallen berekend volgens dezelfde aanpak als gebruikt bij de “hotspotanalyse”. In deze studie zijn de emissieroutes via de RWZI, de overstort en het hemelwaterriool (foutaansluitingen) beschouwd. De resultaten zijn een basis voor het gesprek over de verwijdering van medicijnresten bij ziekenhuizen, op de RWZI, of extra aandacht voor de lokale oppervlaktewaterkwaliteit. De reductie van ziekenhuisemissies zullen, gezien hun kleine aandeel, een beperkte invloed hebben op eventuele investeringen op de RWZI ten behoeve van nazuivering van medicijnresten en ander microverontreinigingen.

De studie beperkt zich tot de emissie van humane geneesmiddelen uit ziekenhuizen. Op hoofdlijnen worden op basis van bestaande kennis ook andere verontreinigingen beschouwd. Een van deze verontreinigingen zijn pathogenen en antibioticaresistentie in ziekenhuisafvalwater. Uit eerdere onderzoeken van STOWA blijkt dat bijvoorbeeld foutaansluitingen en riooloverstortingen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de concentratie antibioticaresistentie en pathogenen in oppervlaktewater. Of specifiek ziekenhuisafvalwater hierbij een rol speelt, is nog niet nader onderzocht. Momenteel worden onderzoeken gedaan naar de geschiktheid van het meten van het aanwezige coronavirus (Covid-19 /SARS-CoV2) in rioolwater als early warning systeem voor humane cases. Uit diverse studies blijkt dat het RNA van dit coronavirus aanwezig is, maar dat het onwaarschijnlijk is dat dit coronavirus in rioolwater nog infectieus is. De aanwezigheid van pathogenen (waaronder het coronavirus) is daarnaast niet voldoende om een infectie of ziekte op te lopen, er moet ook contact (blootstelling) met die pathogenen hebben.

Deze landelijke analyse vormt de basis startpunt voor een regionale invulling en afweging van maatregelen specifiek op het niveau van ziekenhuizen of juist end of pipe bij de RWZI. Daarnaast zijn de resultaten van belang voor het waterkwaliteitsbeheer en het (gemeentelijke) rioleringsbeheer.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA



# SAMENVATTING

## GEANALYSEERDE TRANSPORTROUTES VAN ZIEKENHUISAFVALWATER NAAR OPPERVLAKTEWATER

In de voorliggende studie is – aan de hand van bestaande gegevens - geïnventariseerd wat de invloed van de emissie van restanten geneesmiddelen in ziekenhuisafvalwater op de oppervlaktewaterkwaliteit is.

Ziekenhuisafvalwater kan via de volgende drie wegen in het oppervlaktewater terecht komen:

- Als RWZI-effluent, dus als gezuiverd afvalwater. Dit is de route waarlangs het meeste ziekenhuisafvalwater gezuiverd het oppervlaktewatersysteem bereikt (zie Figuur 1).
- Via een overstorting. Tijdens grote buien komt bij een gemengd stelsel door overstorting ongezuiverd afvalwater verdund met hemelwater op het oppervlaktewater terecht.
- Als gevolg van foutaansluitingen in gescheiden stelsels.

FIGUUR 1

GEANALYSEERDE TRANSPORTROUTES EN VRACHTEN



## DE EIGENSCHAPPEN VAN ZIEKENHUISAFVALWATER

De hoeveelheid geneesmiddelen in ziekenhuisafvalwater wordt uitgedrukt als vracht per bed per jaar. Het gemiddelde waterverbruik in ziekenhuizen is 400 liter per bed en dag, drie maal hoger dan per gemiddelde Nederlander. De vrachten voor BZV, N en P per bed zijn anderhalf keer de vracht per inwoner. In ziekenhuisafvalwater zitten dus lagere concentraties van deze parameters dan in huishoudelijk afvalwater. De geneesmiddelenvracht per bed is ruim 13 maal hoger dan per gemiddelde inwoner op basis van de in 2009-2011 gemeten vrachten in ziekenhuizen en woonwijken.

Er zijn zeer grote verschillen per geneesmiddelengroep: de vracht antibiotica is minimaal 300 maal hoger en de röntgencontrastmiddelen worden naar verwachting met een 25 maal hogere vracht (per bed) aangetroffen in ziekenhuisafvalwater. Van de meeste geneesmiddelen is de vracht per bed factor 4-5 hoger, wat grotendeels een effect van de leeftijd en gezondheid van ziekenhuispatiënten is. Over de hoeveelheid pathogenen en antibioticaresistentie is op dit moment nog te weinig data beschikbaar om verschillen met normaal huishoudelijk afvalwater te kunnen duiden.

Om eenvoudig omrekeningen te maken naar verschillende geneesmiddelentypen wordt de vracht geneesmiddelenresten per bed 10 maal hoger ingeschat dan per inwoner.

## VRACHT ZIEKENHUISAFVALWATER VIA RWZI'S

Verreweg het grootste deel van de geneesmiddelenvrachten in rwzi-influent komt vanuit de woonwijken. Gemiddeld is in Nederland op basis van de 10 keer hogere vracht per bed 3,6% van de medicijnvracht afkomstig uit ziekenhuizen. Een vergelijkbaar aandeel is afkomstig van de vele overige zorginstellingen (verpleeg- en verzorgingshuizen, ggz-instellingen en de gehandicaptenzorginstellingen) die geen onderwerp van deze studie zijn. Van de 107 algemene ziekenhuizen zijn er 27 die meer dan 5% van de geneesmiddelenvracht bijdragen aan 'hun' rwzi, zie onderstaande tabel, Tabel 1. Op een gemiddelde rwzi wordt ongeveer 65% van de totale geneesmiddelenvracht verwijderd.

Op dit moment zijn in Nederland 5 ziekenhuizen uitgerust met een pharmafilter. Vanuit die ziekenhuizen is de vracht geneesmiddelenresten naar het oppervlaktewater (rwzi's en overstorten) verwaarloosbaar klein geworden. Dit resulteert bij de rwzi in maximaal 5% reductie van de vracht geneesmiddelen.

TABEL 1 RWZI'S MET EEN RELATIEVE BIJDRAGE VAN AANGESLOTEN ZIEKENHUIZEN VOOR GENEESMIDDELENRESTEN DIE GROTER IS DAN 5%

| ID | RWZI                     | Aantal aangesloten inwoners | Aantal bedden | Bijdrage ziekenhuis op rwzi | Aantal ziekenhuizen |
|----|--------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------|
| 1  | HEUGEM (GRONSVELD)       | 50.544                      | 715           | 12,4%                       | 1                   |
| 2  | ALKMAAR                  | 57.618                      | 671           | 10,4%                       | 1                   |
| 3  | OOSTBURG                 | 11.080                      | 113           | 9,3%                        | 1                   |
| 4  | EELDE                    | 57.351                      | 560           | 8,9%                        | 1                   |
| 5  | ZWOLLE                   | 121.297                     | 1.103         | 8,3%                        | 1                   |
| 6  | ROTTERDAM-DOKHAVEN*      | 305.055                     | 2.320         | 2,9% (7,1%)                 | 4                   |
| 7  | WEURT/NIJMEGEN           | 230.288                     | 1.745         | 7,0%                        | 3                   |
| 8  | SNEEK                    | 40.384                      | 300           | 6,9%                        | 1                   |
| 9  | MIDDELHARNIS             | 22.048                      | 160           | 6,8%                        | 1                   |
| 10 | GOUDA                    | 69.385                      | 500           | 6,7%                        | 1                   |
| 11 | LEIDSCHE RIJN            | 42.820                      | 300           | 6,5%                        | 1                   |
| 12 | CAP AD IJSSEL-GROENEDIJK | 48.407                      | 332           | 6,4%                        | 1                   |
| 13 | LEEWARDEN                | 96.792                      | 647           | 6,3%                        | 1                   |
| 14 | KATWIJK                  | 97.207                      | 645           | 6,2%                        | 1                   |
| 15 | HARDENBERG               | 33.815                      | 197           | 5,5%                        | 1                   |
| 16 | UTRECHT                  | 257.851                     | 1.442         | 5,3%                        | 2                   |
| 17 | WINTERSWIJK              | 38.705                      | 214           | 5,2%                        | 1                   |
| 18 | ALMELO-SUMPEL            | 66.990                      | 370           | 5,2%                        | 1                   |
| 19 | LEIDEN-NOORD             | 90.427                      | 497           | 5,2%                        | 2                   |
| 20 | TIEL                     | 68.153                      | 373           | 5,2%                        | 1                   |

\* Pharmafilter aanwezig bij 2 van de 4 aangesloten ziekenhuizen, waardoor het percentage is verlaagd

## VRACHT VIA RIOOLOVERSTORTINGEN EN FOUTAANSLUITINGEN

Rioolstelsels hebben onvoldoende capaciteit ('berging') om al het afstromend hemelwater van grote buien in de buizen op te slaan en evenmin kunnen hevige piekbuien snel genoeg worden afgevoerd. Als gevolg daarvan bereikt bij een *gemengd stelsel* een deel van het afvalwater via *riooloverstortingen* het oppervlaktewater.

In een *gescheiden stelsel* wordt afvalwater via een aparte rioolbuis naar de rwzi afgevoerd en zorgen piekbuien alleen voor overstorting van het hemelwaterstelsel naar het oppervlaktewater. Alleen als in gescheiden stelsels foutaansluitingen voorkomen wordt afvalwater via het hemelwaterriool op oppervlaktewater geloosd. Uit berekeningen volgt dat foutaansluitingen in woonwijken niet voor significante bijdrage aan medicijnresten in oppervlaktewater kunnen

zorgen. Aangenomen wordt dat ziekenhuizen gezien hun afmeting correct zijn aangesloten op het vuilwaterriool, waardoor dit probleem niet speelt voor ziekenhuisafvalwater. Juist door de grotere vrachten blijft alertheid op foutaansluitingen wel van groot belang.

Van *gemengde* stelsels is berekend wat de bijdrage van overstortingen aan oppervlaktewater is en wat de extra bijdrage van ziekenhuisafvalwater is ten opzichte van referentie-overstortingen (gemiddelde overstortingen in stedelijke gebieden). Zo wordt een indicatie gegeven van de relatieve invloed van ziekenhuisafvalwater bij een overstorting. De kritische factoren die bepalen in welke mate ziekenhuiswater in overstortwater terecht komt zijn:

- Het aantal bedden;
- De positie van het ziekenhuis ten opzichte van de overstort;
- de in het rioolstelsel aanwezige berging;
- menging van ziekenhuisafvalwater met huishoudelijk afvalwater en hemelwater uit andere rioleringsgebieden;

Het deel geneesmiddelenvracht uit ziekenhuisafvalwater dat via riooloverstorten het oppervlaktewater bereikt is klein ten opzichte van vracht via de normale route via rwzi's en is uiteraard ook klein ten opzichte van de totale vracht geneesmiddelenresten die via overstorten het oppervlaktewater bereikt. Daarom zullen overstortingen met ziekenhuisafvalwater alleen in specifieke situaties tot extra verhoogd risico in oppervlaktewater kunnen leiden.

#### **EFFECT VAN ZIEKENHUISAFVALWATER OP OPPERVLAKTEWATER**

Het effect van ziekenhuisafvalwater op oppervlaktewater door overstortingen blijkt meestal gering. De verdunning met hemelwater die in rioolstelsels optreedt is dermate groot dat concentraties al veel lager zijn dan in normaal rwzi-effluent. De verwijdering van geneesmiddelen in rwzi's is met factor 3-4 namelijk beperkt ten opzichte van de verdunning in het stelsel (minimaal factor 20).

De invloed van ziekenhuisafvalwater op oppervlaktewater is het grootst bij buien die vaker voorkomen, omdat zeer grote buien ( $T=2 - T=10$ ) van zichzelf al dermate verdunnen dat overstortconcentraties zelfs lager zijn dan de gemiddelde landelijke achtergrondconcentratie van geneesmiddelen in oppervlaktewater.

De kritische factoren voor het effect op oppervlaktewater zijn de doorstroming en de grootte van het ontvangende waterlichaam in relatie tot de grootte van de kritische overstorting (de overstorting die relatief het minst verdund is). Overstortingen op watervolumes groter dan  $5.000 \text{ m}^3$  en op stromende systemen leveren voor geneesmiddelenresten in alle omstandigheden lage concentraties op in vergelijking met regionale achtergrondconcentratie in Nederland.

Binnen de scope van dit project (totaalgehalte geneesmiddelenresten) alleen in specifieke omstandigheden het risico van ziekenhuisafvalwater aanmerkelijk hoger zijn dan van gemiddelde overstorten van huishoudelijk afvalwater. De locatie van een overstort en het gebruik van het ontvangende water, of dat nu bij een ziekenhuis is of bij een woonwijk, zal belangrijker zijn dan de bron van het afvalwater.

#### **MOGELIJKE MAATREGELEN**

Als maatregel om de hoeveelheid geneesmiddelenresten afkomstig van ziekenhuisafvalwater op lokaal oppervlaktewater te reduceren wordt meestal gedacht aan het ter plaatse zuiveren. Dit is technisch mogelijk en ook haalbaar, zoals door al gerealiseerde installaties in Nederland wordt aangetoond. Ziekenhuizen willen graag iets tegen de verspreiding van

geneesmiddelen via het afvalwater doen en hebben daarom de Green Deal Zorg ondertekend. Zo bezien ligt het voor de hand dat in de toekomst meer lokale afvalwaterzuiveringsinstallaties zullen worden gebouwd in Nederland. De belangrijkste hobbel bij het realiseren van een lokale zuivering is het rondkrijgen van de financiële business case. Dit is een complex proces, waarbij veel stakeholders betrokken zijn.

Uit de inventarisatie van ziekenhuizen en rwzi's blijkt echter dat zuivering van ziekenhuisafvalwater over het algemeen maar enkele procenten vrachtverlaging bij de rwzi geeft. Dat zal bij de rwzi alleen voor specifiek aan ziekenhuisafvalwater gerelateerde stoffen aantoonbaar verschil opleveren. Bij overstortingen van ziekenhuisafvalwater zal zuivering wel effect kunnen hebben. Het is dan sterk afhankelijk van de omliggende overstorten en van het water waarop wordt geloosd of dit ook een (meetbaar) effect in het milieu heeft.

Als blijkt dat een overstort een grote invloed heeft dan kunnen ook maatregelen in het (riool)watersysteem worden genomen om overstortingen te beperken. Denk daarbij aan het vergroten van de berging van het rioleringsysteem, het verplaatsen van overstorten en aan het afkoppelen van hemelwater. Mochten specifieke parameters in ziekenhuisafvalwater voor significante risico's zorgen dan kunnen ook in het ziekenhuis zelf maatregelen worden genomen om de emissie van die specifieke stoffen te reduceren. Dit geldt ook voor specifieke stoffen in ziekenhuisafvalwater die slecht verwijderbaar zijn.

## AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt om met ziekenhuizen en gemeenten in het gebied in gesprek te gaan en van de actuele inzichten over dit onderwerp op de hoogte te brengen.

De volgende aanbevelingen worden gedaan om de problematiek per waterschap / ziekenhuis in kaart te brengen:

- Met bijhorende gemeentes in gesprek gaan over rioolstelsel, onder andere of het ziekenhuis loost op een gescheiden of gemengd stelsel.
- Indien sprake is van een gemengd stelsel, nader in gesprek gaan met de gemeente om de karakteristieken van de riolering en overstortlocaties in beeld te krijgen zodat het effect ten opzichte van de referentie-overstorten kan worden ingeschat.
- Indien sprake is van een gescheiden stelsel, ontwikkelingen stimuleren om een beeld te krijgen van de emissies van stofgroepen die specifiek en sterk verhoogd vanuit ziekenhuisafvalwater komen.
- Foutaansluitingen verdienen daarbij professionele aandacht

De volgende aanbevelingen voor nader onderzoek worden gedaan om kennis en inzicht in mogelijke effecten vanuit ziekenhuisafvalwater te vergroten:

- Nagaan of de sterk verhoogde stoffen, met name antibiotica, ook in het influent van rwzi's verhoogd worden aangetroffen als daar ziekenhuizen aanwezig zijn. De datasets van Rijn Oost en van de waterschappen in Utrecht kunnen een eerste aanwijzing daarvoor geven.
- Stoffenpakketten voor analyse-laboratoria ontwikkelen waarin ook specifiek in ziekenhuizen gebruikte antibiotica zijn opgenomen.
- Ziekenhuisafvalwater nader karakteriseren voor met name antibiotica, pathogenen en antibioticaresistente bacteriën. Voor de meeste overige parametergroepen zijn verschillen met huishoudelijk afvalwater klein en daardoor weinig relevant ten opzichte van huishoudelijk afvalwater.

- De verschillen in 'vrachten/concentraties van pathogenen en antibioticaresistentie in ziekenhuisafvalwater en huishoudelijk afvalwater onderzoeken in relatie tot overstort-problematiek, foutaansluitingen en normale effluentlozingen van rwzi's. Op basis van deze gegevens en blootstellingsscenario's kunnen eventuele gezondheidsrisico's worden ingeschat.
- Bepalen of op basis van deze verschillen in effecten/vrachten/concentraties het maatschappelijk kosteneffectiever is een hoog rendement zuivering bij het ziekenhuis te plaatsen (weinig kuubs met hoge kosten per kuub) of dat een aanvullende zuiveringsstap bij de rwzi het effect in oppervlaktewater effectiever verlaagt.

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# BIJDRAGE VAN ZIEKENHUISAFVALWATER AAN DE EMISSIE VAN MEDICIJNRESTEN NAAR OPPERVLAKEWATER.

## RWZI'S, OVERSTORTEN, FOUTAAN- SLUITINGEN EN MOGELIJKHEDEN VOOR REDUCTIE

### INHOUD

TEN GELEIDE  
SAMENVATTING  
DE STOWA IN HET KORT

|     |                                                                       |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | INLEIDING                                                             | 1  |
| 1.1 | Achtergrond                                                           | 1  |
| 1.2 | Doelstelling en aanpak                                                | 2  |
| 1.3 | Afbakening van deze studie                                            | 2  |
| 1.4 | Leeswijzer                                                            | 3  |
| 2   | KARAKTERISERING VAN ZIEKENHUISAFVALWATER                              | 4  |
| 2.1 | Inleiding                                                             | 4  |
| 2.2 | Algemene karakterisering ziekenhuisafvalwater                         | 4  |
| 2.3 | Karakterisatie geneesmiddelen in ziekenhuisafvalwater                 | 6  |
| 2.4 | Vergelijking ziekenhuisafvalwater met afvalwater uit zorginstellingen | 8  |
| 2.5 | Samenvatting hoofdstuk 2                                              | 8  |
| 3   | ZIEKENHUISAFVALWATER IN EFFLUENTLOZINGEN VAN RWZI'S                   | 9  |
| 3.1 | Inleiding                                                             | 9  |
| 3.2 | Inventarisatie ziekenhuizen                                           | 9  |
| 3.3 | Inventarisatie rwzi's                                                 | 10 |
| 3.4 | Samenvatting hoofdstuk 3                                              | 10 |
| 4   | ZIEKENHUISAFVALWATER IN OVERSTORTEN                                   | 13 |
| 4.1 | Inleiding                                                             | 13 |
| 4.2 | Achtergrond eigenschappen en werking rioolstelsels in Nederland       | 13 |
| 4.3 | Ligging ziekenhuizen in relatie tot omliggende rioolstelsels          | 14 |
| 4.4 | Overstortingen van gescheiden stelsels door foutaansluitingen         | 14 |
| 4.5 | Overstortingen van gemengde stelsels                                  | 15 |
| 4.6 | Kritische factoren bij overstortingen                                 | 16 |
| 4.7 | Afhankelijkheid overstortkarakteristieken van berging in het stelsel  | 18 |
| 4.8 | Samenvatting hoofdstuk 4                                              | 19 |

|           |                                                                     |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5</b>  | <b>HET EFFECT VAN OVERSTORTEN OP OPPERVLAKEWATEREN</b>              | <b>20</b> |
| 5.1       | Inleiding                                                           | 20        |
| 5.2       | Berekeningsresultaten                                               | 21        |
| 5.3       | Samenvatting hoofdstuk 5                                            | 23        |
| <b>6</b>  | <b>PRAKTISCHE DOORKIJK NAAR MAATREGELEN</b>                         | <b>24</b> |
| 6.1       | Inleiding                                                           | 24        |
| 6.2       | Mogelijke maatregelen bij ziekenhuizen                              | 24        |
| 6.3       | Ziekenhuisafvalwaterbehandelingen in NL                             | 25        |
| 6.3.1     | Gerealiseerde ziekenhuisafvalwaterbehandelingsinstallaties in NL    | 25        |
| 6.3.2     | Overwegingen van ziekenhuizen in NL om een Pharmafilter te bouwen   | 26        |
| 6.3.3     | Mogelijke obstakels bij de realisatie van een Pharmafilter          | 26        |
| 6.4       | GreenDeal Zorg en Ketenaanpak Medicijnresten uit Water              | 27        |
| 6.5       | Samenvatting hoofdstuk 6                                            | 28        |
| BIJLAGE 1 | LIJST EN KAART ZIEKENHUIZEN EN RWZI'S                               | 29        |
| BIJLAGE 2 | UITWERKING VAN DE KRITISCHE FACTOREN OVERSTORTINGEN                 | 45        |
| BIJLAGE 3 | LOKAAL ZUIVEREN VAN ZIEKENHUISAFVALWATER – HET PHARMAFILTER-SYSTEEM | 51        |
| BIJLAGE 4 | OVERWEGINGEN IN ZWITSERLAND EN DUITSLAND                            | 54        |



# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

Ziekenhuizen lozen veel medicijnresten op rioleringsstelsels. Het medicijngebruik van 24 gram per bed per jaar is veel hoger dan het medicijngebruik in woonwijken van 1,8 gram per persoon per jaar (Stowa, 2010<sup>1</sup>). Bovendien hebben veel ziekenhuizen een groot aantal bedden als je het vergelijkt met het aantal personen in normale huishoudens. Dit leidt tot een hoge vracht en een hoge concentratie van medicijnresten in het afvalwater van ziekenhuisaansluitingen.

Een gevolg hiervan is verhoogde emissie van medicijnresten op oppervlaktewater. Dit kan via de volgende twee routes: (1) ziekenhuisafvalwater wordt samen met huishoudelijk afvalwater op een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) gezuiverd en als deel van het effluent op het ontvangend oppervlaktewater geloosd; (2) ziekenhuisafvalwater wordt tijdens heftige hemelwaterbuien verdund en via een overstort ongezuiverd geloosd op oppervlaktewater. Een mogelijk gevolg hiervan is dat er bij riooloverstorten in de buurt van ziekenhuizen relatief veel medicijnresten in het oppervlaktewater terecht komen. Hoge concentraties en vrachten ziekenhuisafvalwater kunnen zodoende bij riooloverstorten voor negatieve ecologische effecten zorgen, nog afgezien van andere risico's van dit ziekenhuisafvalwater<sup>2</sup>.

Het is nog onduidelijk of de emissie van medicijnresten via overstorten significant is en wat de lokale effecten daarvan kunnen zijn. Daarnaast is nog niet landelijk in beeld gebracht wat de invloed van ziekenhuisafvalwater als onderdeel van gezuiverd afvalwater is op het ontvangend oppervlaktewater van rwzi's.

#### HET BELANG VAN OVERSTORTINGEN

Niet al het geproduceerde afvalwater wordt door rwzi's gezuiverd. Tijdens piekbuien is de capaciteit van rioolstelsels onvoldoende en wordt, om overlast te voorkomen, het water overgestort. Welke invloed een overstort van afvalwater heeft op het oppervlaktewater hangt allereerst af van de hoeveelheid afvalwater die wordt overgestort en de frequentie waarmee dat gebeurt. Vervolgens treedt er in de overstort verdunning op met hemelwater en vaak ook met huishoudelijk afvalwater. Het volume van een overstorting is vele malen minder dan een effluentlozing van een rwzi. Ook is een overstorting een tijdelijk gebeuren, een effluentlozing echter een doorgaande lozing met beperkte verdunning en verwijdering.

1 STOWA, 2011-2, ZORG: Zoeken naar Oplossingen voor Reductie van Geneesmiddelenemissie uit zorginstellingen. Deel C. Eindrapportage

2 Ook verspreiding van resistentie, bacteriën en virussen in het milieu via dezelfde wegen.

### VOORBEELD REGIO GRONINGEN

In 2013 is door Sweco een studie uitgevoerd over medicijnresten in afvalwater in de regio Groningen. Er is destijds aan de hand van innamegegevens van ziekenhuizen berekend hoe hoog de medicijnvrachten in afvalwater zijn. Ook zijn de medicijnconcentraties in overstortvijvers berekend op basis van dezelfde gegevens, omdat bleek dat er overstorten dicht bij ziekenhuizen liggen. De aanname dat het overstortwater uit 100% ziekenhuisafvalwater bestaat kon echter met metingen weerlegd worden, de gemeten concentraties in de vijvers waren veel lager dan de berekende concentraties. Verder kon met de metingen aangetoond worden dat na een overstortgebeurtenis de concentraties van de gemeten medicijnresten hoger is dan voor dezelfde overstorting. De hoge concentraties antibiotica en röntgencontrastmiddelen wezen erop dat ziekenhuisafvalwater in de vijvers terecht was gekomen.

## 1.2 DOELSTELLING EN AANPAK

De waterschappen hebben behoefte aan een nadere inventarisatie van de invloed van ziekenhuisafvalwater op het ontvangend oppervlaktewater van rwzi's en overstorten. Daarnaast is inzicht gewenst in hoe op dit moment door waterschappen wordt omgegaan met de implementatie van lokale afvalwaterbehandeling bij ziekenhuizen en welke maatregelen relevant kunnen zijn.

Eerst worden de risico's van de lozing van ziekenhuisafvalwater op oppervlaktewater inzichtelijk gemaakt. Daarvoor stellen we eerst een overzicht van rwzi's en bijbehorende ziekenhuizen in heel Nederland op. Door te rekenen met kentallen komt aldus de relatieve bijdrage van ziekenhuizen aan de medicijnvracht via rwzi-effluent landelijk in beeld, zie Figuur 1.1.

Vervolgens brengen wij de route via overstorten in beeld. Voor elk deel van de keten bepalen we welke kritische factoren de risico's bepalen. De toegepaste methode en de indicatieve resultaten zijn bedoeld als eerste stap, die de waterschappen helpt om zelf verder te analyseren wat de invloed is van specifieke ziekenhuizen op hun eigen waterketen en watersysteem.

Het derde doel van de studie is om de argumenten helder te krijgen die spelen bij de afweging van waterschappen of ziekenhuiswater lokaal bij het ziekenhuis gezuiverd moet worden. Daaronder vallen ook de praktische overwegingen bij - en eerdere ervaringen met - het implementeren van maatregelen bij ziekenhuizen. Door deze aspecten inzichtelijk te hebben kunnen de waterschappen de dialoog met ziekenhuizen eenvoudiger en eenduidiger aangaan.

## 1.3 AFBAKENING VAN DEZE STUDIE

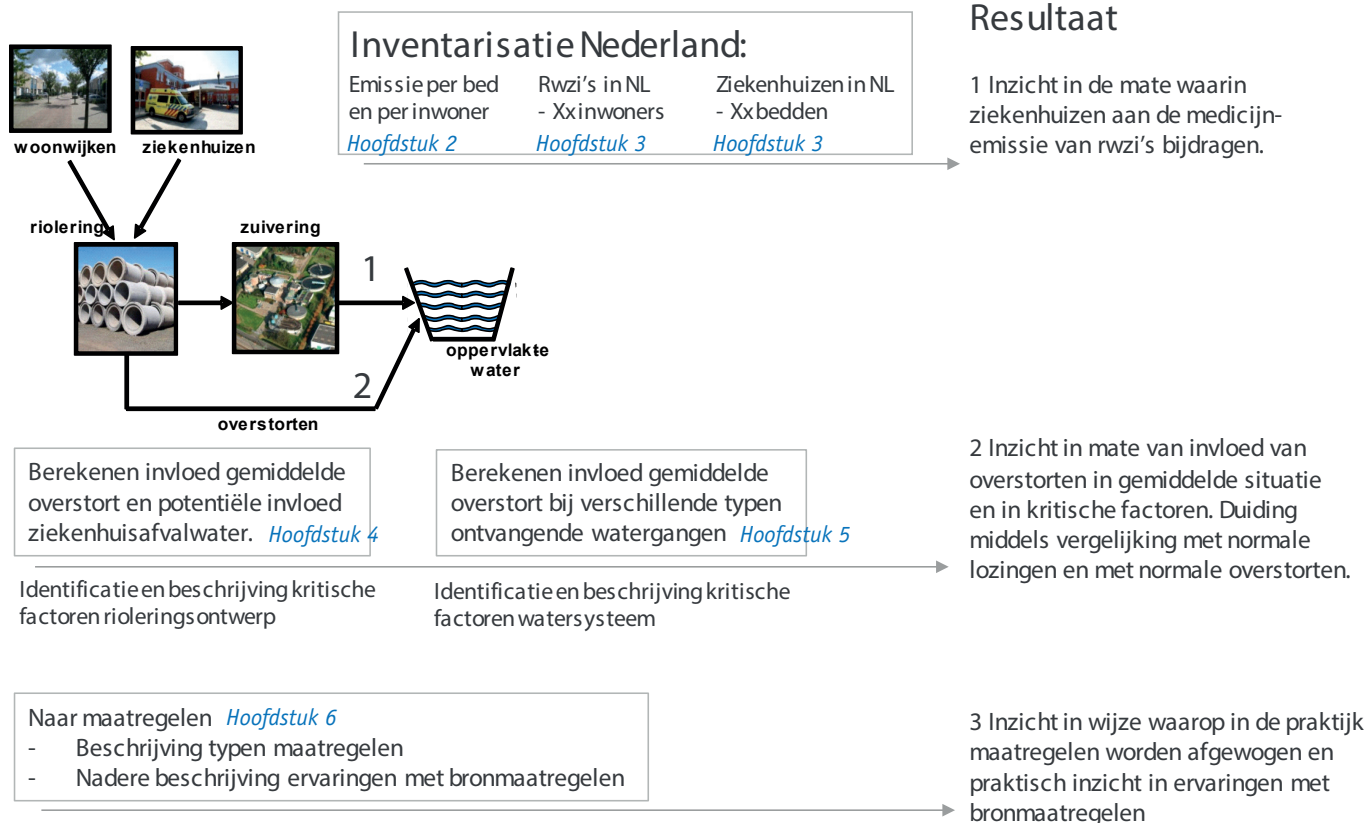
Deze studie richt zich op medicijnresten in ziekenhuisafvalwater. Ziekenhuisafvalwater bevat ook andere groepen verontreinigingen en verschilt ook voor die andere groepen van normaal (huishoudelijk) afvalwater. Denk daarbij aan ontsmettingsmiddelen, schoonmaakmiddelen, ziekteverwekkers (parasieten, virussen, bacteriën), resistentie en chemische stoffen. Die verschillen brengen we op hoofdlijnen en op basis van beschikbare kennis in kaart. Er wordt in deze studie geen oordeel gegeven over het risico van deze parametergroepen en ook wordt het risico van deze groepen niet onderling gewogen.

Deze studie richt zich op ziekenhuizen en specifiek op ziekenhuizen met bedden. Verontreinigingen afkomstig van andere typen zorginstellingen worden niet meegenomen in de berekeningen. Poliklinieken, dagbehandelingscentra en privéklinieken worden niet of

zijdelings meegenomen. Evenmin worden GGZ-instellingen, verpleeghuizen en gehandicapteninstellingen geïnventariseerd.

Er zijn diverse bronnen van medicijnresten in oppervlaktewater naast ziekenhuizen en woonwijken. Deze studie richt zich op de belangrijkste lozingen op het oppervlaktewater via rwzi-effluent en via overstorten. Er wordt kort op foute aansluitingen ingegaan en niet op andere bronnen als veterinair gebruik. Risico's worden gekwantificeerd op basis van de duur van blootstelling aan ziekenhuisafvalwater, de hoeveelheid water en de concentratie medicijnresten in het water.

FIGUUR 1.1 AANPAK OP HOOFDLIJNEN



Dit rapport richt zich niet op advies aan ziekenhuizen bij het overwegen van alternatieven voor afval- en afvalwaterbehandeling. Overwegingen voor ziekenhuizen worden alleen op hoofdlijnen genoemd, waarbij gerefereerd wordt aan de Green Deal Duurzame Zorg van VWS.

#### 1.4 LEESWIJZER

De karakteristieken van ziekenhuisafvalwater en de bijdrage van ziekenhuisafvalwater aan de verontreinigingsvracht in rwzi's worden beschreven in hoofdstuk 2 en 3, zie ook Figuur 1.1. Hoofdstuk 4 en 5 beschrijven de karakteristieken van overstorten en de effecten van overstorten op verschillende typen oppervlaktewater. Hoofdstuk 6 beschrijft de praktische ervaringen die tot nu toe zijn opgedaan met decentrale zuivering bij ziekenhuizen.

De samenvatting vooraan in dit rapport vormt de synthese waarin de belangrijkste bevindingen van deze studie worden geïntegreerd in conclusies en aanbevelingen.

# 2

## KARAKTERISERING VAN ZIEKENHUISAFVALWATER

### 2.1 INLEIDING

Ziekenhuisafvalwater heeft andere karakteristieken dan normaal huishoudelijk afvalwater. In dit hoofdstuk wordt de samenstelling van ziekenhuisafvalwater gekarakteriseerd en vergeleken met 'normaal' huishoudelijk afvalwater.

### 2.2 ALGEMENE KARAKTERISERING ZIEKENHUISAFVALWATER

Het afvalwater van ziekenhuizen is in grote mate vergelijkbaar met huishoudelijk afvalwater, omdat het grootste volume water van normale 'huishoudelijke activiteiten' afkomstig is. Afvalwater van ziekenhuizen wordt daarom in het algemeen niet als bedrijfsafvalwater beschouwd. Toch zijn er verschillen met 'normaal' huishoudelijk afvalwater.

Ziekenhuisafvalwater is een verzameling van afvalwater dat is ontstaan bij verschillende activiteiten in ziekenhuizen:

- Behandeling middels poliklinische activiteiten en op verpleegafdelingen (voornaamste qua volume en vracht): chemotherapie, anesthesiologie / verdoving, pijnstillers, desinfectie, antibiotica, geneesmiddelen, etc.
- Diagnostiek: Laboratoria, pathologie, medische beeldvorming, endoscopie, radiotherapie.
- Ondersteuning: Keuken, wasserij, onderwijs, schoonmaak, desinfectie.
- Gebruik van toiletten, douches en kranen.

Een belangrijk verschil is een relatief hoog waterverbruik per bed. Dat hoge verbruik per bed is deels te verklaren doordat ook het waterverbruik van het personeel en bezoek meetelt in het waterverbruik per bed: er zijn meer mensen in het ziekenhuis aanwezig dan alleen patiënten. Een andere oorzaak, die door de waterleidingbedrijven<sup>3</sup> wordt genoemd, is dat wassen vaker in de gootsteen gebeurt en dat dit minder efficiënt is dan een douche. Algemeen wordt voor ziekenhuizen uitgegaan van een waterverbruik van 400 liter per bed per dag (Tabel 2.1).

3 Via persoonlijk overleg

TABEL 2.1 AFVALWATERPRODUCTIE VAN ZIEKENHUIZEN UITGEDRUKT IN LITER PER BED PER DAG

| Bron*                                                                                                                                              | Afvalwaterproductie           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Water- en afvalwaterbeheer in ziekenhuizen - ESHER – 25 mei 2007                                                                                   | 400 liter per bed per dag     |
| Verg(h)ulde pillen, casestudie Antonius ziekenhuis Nieuwegein, 2009                                                                                | 1500 liter per bed per dag    |
| <a href="https://www.milieubarometer.nl/voorbeelden/ziekenhuis/">https://www.milieubarometer.nl/voorbeelden/ziekenhuis/</a>                        | 450 liter per bed per dag     |
| Frans infocentrum voor Water (CIEAU)                                                                                                               | 300-450 liter per bed per dag |
| Vito, 2003 (2003/IMS/R/082)                                                                                                                        | 400 liter per bed per dag     |
| Samenwerkende Drinkwaterbedrijven (2011), vervallen factsheet "Berekeningsgrondslagen gemiddeld waterverbruik per etmaal voor mens, dier en plant" | 300-700 liter per dag         |

\* Aangetekend wordt dat in deze referenties literatuurverwijzingen danwel methodebeschrijvingen ontbreken waardoor de herkomst van de getallen niet altijd helder is.

De concentraties van de afvalwaterparameters: BZV, CZV, N en P verschillen ook van 'normaal' huishoudelijk afvalwater. Als resultante van het ruim drie maal hogere waterverbruik en van het niet meerekenen van personeel en bezoek is de concentratie van deze stoffen ongeveer de helft van normaal afvalwater.

Het tweede verschil van ziekenhuisafvalwater met normaal afvalwater uit woonwijken is dat patiënten een hoog medicijnverbruik hebben. Per bed is dit ruim 13 maal hoger<sup>4</sup> gemeten dan de normale emissie per inwoner. De concentratie geneesmiddelen is daardoor hoger dan in huishoudelijk afvalwater. De vracht geneesmiddelen wordt in paragraaf 2.3 verder beschreven en uitgesplitst naar type medicijn.

Specifieke afvalwaterstromen uit bijvoorbeeld laboratoria worden afgevoerd of lokaal gezuiverd op basis van normen die aan lozing op het riool worden gesteld, bijvoorbeeld voor bacteriïden en metalen. Dit kan voor ziekenhuizen mede een argument zijn om voor eigen zuivering van al het afvalwater te kiezen: dit maakt verschillende werkprocessen in het ziekenhuis eenvoudiger, veiliger en goedkoper.

Daarnaast zijn ontsmettingsmiddelen in hoge mate aanwezig in ziekenhuisafvalwater, in huishoudelijk afvalwater zijn deze middelen nauwelijks te vinden. De vracht ontsmettingsmiddelen in ziekenhuisafvalwater is veel groter dan de vracht medicijnresten. Ontsmettingsmiddelen worden geraamd op dagelijks 4000 mg/bed of 10 mg/l in ziekenhuisafvalwater. Veel desinfectiemiddelen zijn niet ecotoxisch of worden snel afgebroken. Deze middelen zijn niet verder beschouwd.

In ziekenhuisafvalwater zijn tot slot nog microbiële pathogenen aanwezig: Bacteriën, virussen, protozoa, wormen. Gevolgen voor verspreiding van en besmetting met pathogenen kunnen een risico vormen. Hier is echter weinig over bekend en onderzocht. Ook is bekend dat onderzochte ziektekiemen een hogere resistentie hebben tegen antibiotica dan micro-organismen in huishoudelijk afvalwater. Ziekenhuisafvalwater kan worden gezien als een hotspot voor antibioticaresistente bacteriën<sup>5</sup>.

4 STOWA, 2011-2, ZORG: Zoeken naar Oplossingen voor Reductie van Geneesmiddelenemissie uit zorginstellingen. Deel C. Eindrapportage

5 Project PILLS, eindrapport 2012, Pharmaceutical input and elimination from local sources. Report of the European cooperation project PILLS

### 2.3 KARAKTERISATIE GENEESMIDDELEN IN ZIEKENHUISAFVALWATER

In Tabel 2.2 zijn de geneesmiddelenvrachten per persoon en jaar van ziekenhuizen, woonwijken, rwzi in- en effluent vergeleken<sup>4</sup>. Deze gegevens komen uit de ZORG-studie. In die studie is in 2010 het afvalwater in enkele woonwijken en in drie ziekenhuizen in Nederland bemonsterd. Op basis van de metingen zijn de vrachten berekend in gram per persoon en jaar. Voor de emissie vanuit ziekenhuizen is het kental (uit studie ZORG en Ver(g)hulde Pillen) 24,2 gram per bed en jaar. De medicijnenvracht per persoon vanuit ziekenhuizen is ruim 13 keer hoger is dan uit woonwijken (verschil 24,2 en 1,8). Dit is exclusief metformine (want niet gemeten) en exclusief röntgencontrastmiddelen.

In het PILLS-eindrapport<sup>5</sup> wordt beschreven dat de vrachten van de bemonsterde ziekenhuizen erg verschillen. Een kental is daarom niet berekend. Helaas zijn er verder geen metingen openbaar beschikbaar op dit moment. Er is daarom uitgegaan van de getallen in Tabel 2.2, afkomstig uit de studie ZORG.

Er zijn zeer grote verschillen per medicijngroep: de vracht antibiotica is minimaal 300 maal hoger en röntgencontrastmiddelen worden naar verwachting met een 25 maal hogere vracht (per bed) aangetroffen in ziekenhuisafvalwater (indien de helft van de vracht thuis wordt uitgescheiden). De vracht overige medicijnen per bed ligt factor 4-5 hoger, wat grotendeels een effect van de leeftijd en gezondheid van ziekenhuispatiënten zal zijn. Over de hoeveelheid pathogenen en antibioticaresistentie is op dit moment nog weinig data beschikbaar om verschillen met huishoudelijk afvalwater te kunnen duiden.

**TABEL 2.2** GENEESMIDDELEN IN AFVALWATER IN GRAM PER INWONER/BED EN JAAR, OP BASIS VAN PROJECT VERG(H)ULDE PILLEN (STOWA, 2009-06, W-01, W-02, W-03) EN ZORG (STOWA 2011-02).

| Type geneesmiddel onderverdeeld naar ACT hoofdgroep <sup>#</sup> | Ziekenhuizen     | Woonwijken | Influent rwzi | Effluent rwzi | Verpleeg/verzorg-huizen | Gehandicaptenzorg | GGZ-instellingen |
|------------------------------------------------------------------|------------------|------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| A – Spijsvertering (metformine)                                  | *                | 5          | 6,7           | 0,5           | 26,6                    | 6,1               | 17,6             |
| B – Bloed- en bloedvormende organen                              | -                | 0,2        | 0,3           | 0,01          | 1,1                     | 0,6               | 0,2              |
| C – Hart- en vaatmiddelen                                        | 2,3              | 0,3        | 0,6           | 0,4           | 1,8                     | 0,7               | 0,7              |
| J – Antibiotica                                                  | 15,2             | 0          | 0,05          | 0,03          | 0,2                     | 0,4               | 0,3              |
| M – Spier- en skeletstelsel                                      | 4,8              | 1          | 1,2           | 0,07          | 0,9                     | 1,5               | 2,5              |
| N – Zenuwstelsel                                                 | 0,2              | 0,3        | 1             | 0,5           | 3,8                     | 8,4               | 7,6              |
| V – Röntgencontrastmiddelen                                      | 507 <sup>^</sup> | -          | -             | -             | -                       | -                 | -                |
| Totaal                                                           | 531,2            | 6,8        | 9,7           | 1,5           | 34,5                    | 17,6              | 28,9             |
| Totaal min R.c.m. en metformine                                  | 24,2*            | 1,8        | 3             | 1             | 7,9                     | 11,5              | 11,3             |

\*In de ziekenhuizen is metformine niet meegenomen in het analysepakket.

<sup>^</sup>Ingeschat wordt dat de helft van de röntgencontrastmiddelen thuis wordt uitgescheiden. Op basis van metingen bij 2 woonwijken (STOWA, 2011-02) zou werd berekend dat een kwart via woonwijken in rwzi-effluent terechtkomt.

<sup>#</sup>Er zijn geen stoffen in rapporteerbare gehalten uit de groepen G en H, de (geslachts) hormonen, aangetroffen. Dit zijn stoffen waarvan bekend is dat zij hormoonverstorende effecten veroorzaken in het aquatisch milieu.

4 STOWA, 2011-2, ZORG: Zoeken naar Oplossingen voor Reductie van Geneesmiddelenemissie uit zorginstellingen. Deel C. Eindrapportage

5 Project PILLS, eindrapport 2012, Pharmaceutical input and elimination from local sources. Report of the European cooperation project PILLS

### GENEESMIDDELENVRACHT IN HUISHOUDELIJK AFVALWATER

Voor de vracht geneesmiddelen in afvalwater van huishoudens zijn op dit moment geen kentallen vastgesteld. Deze zijn alleen voor gemiddeld effluent (na zuivering door rwzi's) vastgesteld in STOWA 2017-42. Daarom is onderstaand een kental vastgesteld:

- De twee geneesmiddelen met de grootste vracht in afvalwater breken zeer goed af en worden daardoor zeer variabel in afvalwater aangetroffen. Deze geneesmiddelen (metformine en paracetamol) maken meer dan 90% van de medicijnvracht in afvalwater uit maar worden 95-100% verwijderd (Sweco, 2018<sup>6</sup>). Deze stoffen worden daarom niet beschouwd.
- Ook de concentraties van röntgencontrastmiddelen worden niet meegerekend. Het beperkte aantal gemeten concentraties is zeer variabel in concentratie en samenstelling, waardoor geen getal is af te leiden.
- Voor het met de in ZORG gemeten stoffenpakket is in de WATSON-database een gemiddelde totaalconcentratie in influent (maw huishoudelijk afvalwater) van 2,1 gpppj afgeleid, vrijwel gelijk aan de in ZORG afgeleide 1,8 gpppj. De WATSON-getallen en ZORG-getallen zijn dus onderling vergelijkbaar.
- Metformine is eerder wel meegeteld in het kental van de Landelijke Hotspotanalyse van 2 gpppj, waar het ongeveer een kwart van de vracht uitmaakt. Het kental exclusief metformine is dus 1,5 gpppj voor effluent. Voor influent wordt met de gegevens uit de WATSON-database een emissie van ruim 2,8 gpppj voor influent berekend.

Op basis hiervan is een kental voor huishoudelijk afvalwater van 3 gram per persoon per jaar vastgesteld. Verdund met 120 liter (gemiddeld waterverbruik per persoon) levert dat een concentratie van 68,5 µg/l op, wat na zuivering 34 µg/l oplevert. Bij een DWA van 200 liter per persoon per dag levert dat in droge perioden gemiddeld 20 µg/l medicijnresten op in rioolwaterinfluent.

### GENEESMIDDELENVRACHT IN AFVALWATER VAN ZIEKENHUIZEN

Het kental van de vracht medicijnresten in ziekenhuisafvalwater is als volgt vastgesteld:

- De concentraties van paracetamol, metformine en röntgencontrastmiddelen worden niet meegerekend, conform de metingen uitgevoerd in het project ZORG.
- Om eenvoudig omrekeningen te maken naar verschillende geneesmiddelentypen wordt een factor 10 verschil aangehouden, wat wil zeggen dat de vracht medicijnresten per bed 10 maal hoger wordt aangenomen dan de vracht per inwoner in een woonwijk.
- Op basis van een waterverbruik van 400 liter per persoon per dag en de 10 keer hogere vracht per persoon per jaar (30 gram) wordt in ziekenhuisafvalwater een concentratie van 205 µg/l berekend.

Berekeningen waarin bovengenoemde kentallen zijn gebruikt kunnen worden omgerekend naar de betreffende ACT-hoofdgroepen. Voor groep J (antibiotica) zullen ziekenhuizen factor 30 keer meer bijdragen. Voor bijvoorbeeld groepen C en M zal de bijdrage van ziekenhuizen ongeveer factor 2 kleiner zijn dan berekend op basis van de berekening met factor 10.

6 Sweco, 2018, Interpretatie metingen influent en effluent rwzi's, meetronde geneesmiddelen rwzi's en regionaal water provincie Utrecht 2017, PN356608 (<https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/verwijdering-van-geneesmiddelen-door-rwzi-s-in-de-provincie-utrecht>)

## 2.4 VERGELIJKING ZIEKENHUISAFVALWATER MET AFVALWATER UIT ZORGINSTELLINGEN

Er zijn tussen de verschillende bronnen niet alleen verschillen in de totaalvracht geneesmiddelen in het afvalwater, maar ook in de typen dominante geneesmiddelen en de individuele geneesmiddelen. Wanneer bijvoorbeeld het huishoudelijk afvalwater wordt vergeleken met afvalwater uit overige zorginstellingen wordt duidelijk dat het geneesmiddel metformine (medicatie bij diabetes mellitus) veel meer voorkomt in verpleeg- en verzorgingshuizen en GGZ-instellingen. De medische verontreinigingen uit ziekenhuisafvalwater die de grootste bijdrage aan de totale medicijnvracht in een rwzi leveren zijn contrastmiddelvloeistoffen en antibiotica, zie tabel 2.2. Dit werd ook bevestigd in het Europese project PILLS.

De overige zorginstellingen zijn relevant in hun bijdrage aan de farmaceutische vracht aan een rwzi. In het project ZORG is voor verpleeg- en verzorgingstehuizen, instellingen voor gehandicapten en GGZ-instellingen een vracht van ongeveer 10 gppp afgeleid exclusief metformine. De bijdrage van zorginstellingen is in de meeste zuiveringskringen iets groter dan die van ziekenhuizen, maar ook veel sterker gefragmenteerd<sup>7</sup>. Ook nu de zorgsector nog altijd sterk in beweging is, waarbij zorginstellingen steeds kleiner en decentraler werken, zullen de grote zorginstellingen nog altijd vergelijkbare emissies kunnen hebben als ziekenhuizen.

## 2.5 SAMENVATTING HOOFDSTUK 2

De karakterisatie van ziekenhuisafvalwater leunt op dit moment op een klein aantal metingen uit 2011. Helaas zijn er geen recente gegevens beschikbaar. De volgende kentallen worden aangehouden voor huishoudelijk afvalwater:

- 120 liter water per inwoner en dag
- 450 mg BZV per liter huishoudelijk afvalwater
- 3 gram medicijnresten per inwoner en jaar

De volgende kentallen worden aangehouden voor ziekenhuisafvalwater:

- 400 liter water per bed en dag
- 225 mg BZV per liter ziekenhuisafvalwater
- 30 gram medicijnresten per bed en jaar

Er is gerekend is met een factor 10 (verschil in medicijnvracht huishoudelijk afvalwater en ziekenhuisafvalwater). Afhankelijk van het type medicijn (ACT-hoofdgroep) dragen ziekenhuizen veel meer (antibiotica, rontgencontrastmiddelen) of minder bij dan deze factor 10.

<sup>7</sup> In de provincie Gelderland (Grontmij, 2014, QuickScan geneesmiddelen provincie Gelderland, PN337445) zijn 17 ziekenhuizen, 348 verpleeg- en verzorgingshuizen, 232 instellingen voor gehandicapten en 9 GGZ-instellingen geïnventariseerd.



# 3

## ZIEKENHUISAFVALWATER IN EFFLUENTLOZINGEN VAN RWZI'S

### 3.1 INLEIDING

Een beperkt deel van de 314 rwzi's<sup>8</sup> ontvangt ziekenhuisafvalwater. Om overzicht te krijgen welke rwzi's ziekenhuisafvalwater ontvangen en hoe groot de invloed daarvan is, worden in dit hoofdstuk eerst de ziekenhuizen en de aantal bedden geïnventariseerd en vervolgens de rwzi's waarop deze ziekenhuizen hun afvalwater lozen. Daarna wordt een overzicht gemaakt van de relatieve bijdrage van ziekenhuizen aan het influent van de betreffende rwzi's voor wat betreft de medicijnresten.

### 3.2 INVENTARISATIE ZIEKENHUIZEN

Door verschillende ontwikkelingen laat de ziekenhuissector grote dynamiek zien, bijvoorbeeld door nieuwbouw, fusies, faillissementen en door centralisatie van activiteiten. Daardoor is niet altijd actuele informatie over het aantal bedden en de activiteiten op verschillende locaties beschikbaar. Om toch een zo goed mogelijke schatting van de actuele emissie van medicijnresten te kunnen maken, hebben we de volgende stappen ondernomen.

Het RIVM heeft in 2018 een actuele lijst van algemene en academische ziekenhuizen opgesteld<sup>9</sup>. Het bestand ziekenhuizen2018\_rivm2.xlsx is gedownload en vervolgens is uit de lijst van 254 "algemene en academische ziekenhuizen" de categorie "buitenpolikliniek" verwijderd, omdat daar alleen dagbehandelingen plaatsvinden. Er is zodoende een lijst van 120 ziekenhuizen verkregen. Van deze lijst zijn coördinaatgegevens gegenereerd om de gegevens op kaart te kunnen presenteren.

Vervolgens is op basis van verschillende internetbronnen (o.a. overzicht Wikipedia en website BRV<sup>10</sup> met situatie aantal bedden in 2011) gestart met de inventarisatie van het aantal bedden en is tegelijk nagegaan of het ziekenhuis nog actief is. Verder is van alle ziekenhuizen via internet het aantal bedden opgezocht (beperkt beschikbaar) en bovendien is telefonisch en per email navraag gedaan naar de actuele stand van zaken. Het resultaat is een lijst met 107 ziekenhuizen met in totaal 41.746 bedden. Dit zijn gemiddeld 390 bedden per ziekenhuis. De top 6 ziekenhuizen hebben meer dan 2 maal zoveel bedden als het gemiddelde. Dit zijn de academische ziekenhuizen van Groningen, Nijmegen, Utrecht, Amsterdam en Rotterdam en de Isala klinieken in Zwolle.

<sup>8</sup> Dit aantal rwzi's is afgeleid tijdens de landelijke hotspotanalyse STOWA 2017-42. Het beschrijft de situatie inclusief de toen voor de komende jaren reeds vastgestelde veranderingen.

<sup>9</sup> <https://www.volksgezondheidenzorg.info/onderwerp/ziekenhuiszorg/regionaal-internationaal/locaties#node-algemene-en-academische-ziekenhuizen>

<sup>10</sup> <https://brvnederland.nl/overzicht-ziekenhuizen/>

### 3.3 INVENTARISATIE RWZI'S

Om na te gaan welke van de rwzi's door welk ziekenhuis worden belast is uitgegaan van de lijst rwzi's zoals afgeleid tijdens de landelijke hotspotanalyse (STOWA 2017-42). Deze lijst wordt geacht representatief te zijn voor de nabije toekomst omdat alle plannen daarin waren verwerkt. Ook is van deze lijst voor elke rwzi het aantal aangesloten inwoners bekend.

De lozingspunten van rwzi's zijn samen met de locatie van de ziekenhuizen op een kaart weergegeven. De kaarten zijn per waterschap (voor elk waterschap gemiddeld 5 ziekenhuizen) gepresenteerd en voorzien van een tabel met daarin een voorzet voor welke rwzi bij welk ziekenhuis hoort. Dit resultaat is vervolgens ter verificatie voorgelegd aan de waterschappen (contactpersonen landelijke hotspotanalyse). Op basis van de verkregen reacties is een volledige lijst gegenereerd en zijn kaarten gegenereerd waarin de routes zijn aangegeven (zie bijlage 1).

Tijdens deze verificatieronde hebben diverse waterschappen aangegeven al ervaringen te hebben met het onderwerp lokale zuivering bij ziekenhuizen. Dergelijke ervaringen zijn verwerkt in hoofdstuk 6. Daarnaast is op basis van de verificatieronde nog één ontbrekend ziekenhuis toegevoegd aan de lijst. Het betreft het de Sint Maartenskliniek in Ubbergen (Nijmegen), dat gespecialiseerd is in het bewegingsapparaat. Dit ziekenhuis voert ook behandelingen uit in Woerden en telt in totaal 222 bedden. De informatievrage over de verdeling van bedden over deze locaties staat al enige tijd uit en kon in verband met verbouwingen niet eenvoudig worden beantwoord.

De tabellen van ziekenhuizen en rwzi's zijn opgenomen in bijlage 1. In dezelfde bijlage zijn kaarten opgenomen waarop de informatie per waterschap of per gebied wordt weergegeven.

### 3.4 SAMENVATTING HOOFDSTUK 3

Met de verkregen informatie is een overzicht gemaakt van de invloed van de ziekenhuizen op de concentratie geneesmiddelen in het afvalwater dat de rwzi bereikt. Dit overzicht is aan de database van de Landelijke Hotspotanalyse toegevoegd. In dit overzicht is geen rekening gehouden met de eventuele aanwezigheid van lokale zuiveringen op ziekenhuisterreinen. Er is dus uitgegaan van volledige lozing op de rwzi. In hoofdstuk 6 wordt een niet-uitputtend overzicht gegeven van de huidige stand van zaken met betrekking tot lokale zuiveringen bij ziekenhuizen.

Er zijn in totaal zijn 107 algemene en academische ziekenhuizen aangesloten op 84 rwzi's. De relatieve bijdrage van ziekenhuizen aan de vracht medicijnresten naar een rwzi is berekend op gemiddeld 3,6%. Maximaal is deze 12,4%. Dit gaat om de belasting van het academische ziekenhuis van Maastricht op RWZI Heugem.

De 20 rwzi's met de grootste relatieve bijdrage van ziekenhuisafvalwater aan de vracht geneesmiddelen is gegeven in onderstaande tabel 3.1. Er zijn 5 rwzi's met een bijdrage van ziekenhuizen aan de medicijnvracht boven de 7,5% (rode getallen in tabel). In totaal hebben 9 rwzi's een belasting tussen 5,6% en 7,5% (oranje getallen). En zijn er nog 6 rwzi's, die een bijdrage groter dan 5% ontvangen (zwarte getallen). Een volledig overzicht van alle ziekenhuizen en rwzi's van de rode en oranje categorie is in figuur 3.1 weergegeven.

TABEL 3.1

RWZI'S MET EEN RELATIEVE BIJDRAGE VAN AANGESLOTEN ZIEKENHUIZEN VOOR MEDICIJNRESTEN DIE GROTER IS DAN 5%

| ID | RWZI                     | Aantal aan-<br>gesloten inwoners | Aantal bedden | Bijdrage zieken-<br>huis op rwzi | Aantal zieken-<br>huizen |
|----|--------------------------|----------------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1  | HEUGEM (GRONSVELD)       | 50.544                           | 715           | 12,4%                            | 1                        |
| 2  | ALKMAAR                  | 57.618                           | 671           | 10,4%                            | 1                        |
| 3  | OOSTBURG                 | 11.080                           | 113           | 9,3%                             | 1                        |
| 4  | EELDE                    | 57.351                           | 560           | 8,9%                             | 1                        |
| 5  | ZWOLLE                   | 121.297                          | 1.103         | 8,3%                             | 1                        |
| 6  | ROTTERDAM-DOKHAVEN*      | 305.055                          | 2.320         | 2,9% (7,1%)                      | 4                        |
| 7  | WEURT/NIJMEGEN           | 230.288                          | 1.745         | 7,0%                             | 3                        |
| 8  | SNEEK                    | 40.384                           | 300           | 6,9%                             | 1                        |
| 9  | MIDDELHARNIS             | 22.048                           | 160           | 6,8%                             | 1                        |
| 10 | GOUDA                    | 69.385                           | 500           | 6,7%                             | 1                        |
| 11 | LEIDSCHER RIJN           | 42.820                           | 300           | 6,5%                             | 1                        |
| 12 | CAP AD IJSSEL-GROENEDIJK | 48.407                           | 332           | 6,4%                             | 1                        |
| 13 | LEEUWARDEN               | 96.792                           | 647           | 6,3%                             | 1                        |
| 14 | KATWIJK                  | 97.207                           | 645           | 6,2%                             | 1                        |
| 15 | HARDENBERG               | 33.815                           | 197           | 5,5%                             | 1                        |
| 16 | UTRECHT                  | 257.851                          | 1.442         | 5,3%                             | 2                        |
| 17 | WINTERSWIJK              | 38.705                           | 214           | 5,2%                             | 1                        |
| 18 | ALMELO-SUMPEL            | 66.990                           | 370           | 5,2%                             | 1                        |
| 19 | LEIDEN-NOORD             | 90.427                           | 497           | 5,2%                             | 2                        |
| 20 | TIEL                     | 68.153                           | 373           | 5,2%                             | 1                        |

\*Pharmafilter aanwezig bij 2 van de 4 aangesloten ziekenhuizen, waardoor het percentage is verlaagd

FIGUUR 3.1

KAART ZIEKENHUIZEN (GELE CIRKELS) MET HET AANTAL BEDDEN, WAARBIJ HOE GROTER DE CIRKEL, HOE GROTER DE RELATIEVE BIJDRAGE VAN ZIEKENHUIZEN AAN DE MEDICIJNLAST (ZONDER REKENING TE HOUDEN MET EVENTUELE LOKALE ZUIVERING BIJ ZIEKENHUIZEN). DE 14 RWZI'S MET DE GROOTSTE RELATIEVE BIJDRAGE (BOVEN 5,6%) ZIJN GELABELD



## 4

## ZIEKENHUISAFVALWATER IN OVERSTORTEN

## 4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de kritische factoren voor het bepalen van de invloed die een ziekenhuis kan hebben binnen een overstort beschreven. Op basis van die factoren is een methode (in bijlage 2) gemaakt die het relatieve belang van een ziekenhuis in beeld kan brengen ten opzichte van een referentie-overstort.

## 4.2 ACHTERGROND EIGENSCHAPPEN EN WERKING RIOOLSTELSELS IN NEDERLAND

In Nederland bestaat ruim 60% van de rioolstelsels uit een gemengd rioolstelsel<sup>11</sup>. Dit zijn stelsels waarbij afval- en hemelwater door één rioolbuis wordt afgevoerd naar een rioolwater-zuiveringsinstallatie (rwzi). Deze zijn vanaf circa 1940 aangelegd.

Ieder gemengd rioolstelsel heeft één of meerdere riooloverstorten, waar tijdens hevige neerslag overtollig water kan uitstromen naar het oppervlaktewater. Deze overstorten zijn nodig omdat rioolstelsels met een grotere berging in normale omstandigheden slechter functioneren en kostbaar zijn.

Sinds de jaren '70 in de twintigste eeuw zijn de meeste rioolstelsels gebaseerd op het idee om huishoudelijk afvalwater en hemelwater gescheiden af te voeren. Vuil water voert via een apart leidingstelsel af naar de rwzi en hemelwater vloeit via een apart stelsel naar het oppervlaktewater. Dit voorkomt dat relatief schoon hemelwater moet worden afgevoerd naar een rwzi om daar behandeld te worden. Gescheiden rioolstelsels zijn gemeengoed in Nederland. In totaal is 32% van de totale lengte aan riool onderdeel van een gescheiden stelsel. In deze categorie valt ook het 'verbeterd gescheiden stelsel', waarin het eerste deel van het regenwater ("first flush") met de afvalwaterstroom wordt afgevoerd.

Een klein deel van de woningen (7%) is aangesloten op zogeheten mechanische riolering. Dit betreft vooral woningen die buiten de bebouwde kom liggen. Bij dit type riolering wordt het huishoudelijk afvalwater onder druk of vacuümgestuurd, via leiding met een kleine diameter naar de bebouwde kom getransporteerd. Hemelwater wordt daarbij op het eigen perceel verwerkt.

<sup>11</sup> Bron: Het nut van stedelijk waterbeheer, monitor gemeentelijke watertaken 2016; Stichting Rioned, 2016

### 4.3 LIGGING ZIEKENHUIZEN IN RELATIE TOT OMLIGGENDE RIOOLSTELSELS

Het gros van de ziekenhuizen is gebouwd in de naoorlogse periode tussen 1940 en 1965<sup>12</sup>. Dit betekent dat veel ziekenhuizen zullen zijn aangesloten op gemengde rioolstelsels. Van de meeste ziekenhuizen die zijn aangesloten op een gemengd rioolstelsel, zal naar verwachting afvalwater via riooloverstorten in het oppervlaktewater terecht kunnen komen. Alleen van de ziekenhuizen die op zeer korte afstand van een rwzi zijn gebouwd mag worden aangenomen dat deze zich buiten de invloedssfeer van een riooloverstort bevinden, omdat de riooloverstorten zich veelal meer bovenstrooms in het stelsel bevinden.

Ziekenhuizen van latere datum (globaal na 1975) kunnen zijn aangesloten op een gescheiden rioolstelsel. Als dat het geval is, speelt het risico voor het overstorten van ziekenhuisafvalwater niet.

### 4.4 OVERSTORTINGEN VAN GESCHIEDEN STELSELS DOOR FOUTAANSLUITINGEN

Uit de praktijk blijkt dat gescheiden stelsels gevoelig zijn voor foutieve aansluitingen. Vooral bij uitbreidingen van stelsels op een perceel worden verkeerde aansluitingen gemaakt. Uit landelijke kentallen blijkt dat er ca. 2% foutieve aansluitingen (2% van het afvalwater) zijn waarbij vuilwaterleidingen zijn gekoppeld op hemelwaterleidingen<sup>13</sup>. Om te weten of deze foutaansluitingen tot verhoogde concentraties in gescheiden stelsels kunnen leiden is een berekening uitgevoerd. De berekening op basis van kentallen<sup>14</sup> is gegeven in onderstaand kader en laat zien dat deze invloed normaliter verwaarloosbaar is.

#### KADER PERCENTAGE HUISHOUDELIJK AFVALWATER IN HEMELWATEROVERSTORTEN ALS GEVOLG VAN FOUTAANSLUITINGEN

- Aantal hemelwateruitlaten: 40.000 stuks ('hemelwateroverstorten')
- Percentage (gescheiden) hemelwaterstelsels ten opzichte van het totaal: 32%
- Afvoerend oppervlak: 48.500 ha (32% van in totaal 153.000 ha afvoerend oppervlak in Nederland)
- Daaruit volgt: aangesloten oppervlak per uitlaat: (afgerond) 1 ha
- Gemiddeld afvoerend oppervlak per inwoner: 91 m<sup>2</sup>
- Daaruit volgt: aantal inwoners op één uitlaat: 110 inwoners

Overige kenmerken<sup>15</sup> zijn als volgt:

- Bergingsvolume hemelwaterstelsel: 4 mm
- Afvalwaterproductie per inwoner: 0,012 m<sup>3</sup>/h (RWA)

Op basis de kentallen kan de berekening worden gemaakt van gemiddelde hoeveelheden per hemelwateruitlaat:

- Huishoudelijk afvalwater: 110 inw. x 0,012 m<sup>3</sup>/h = 1,32 m<sup>3</sup>/h
- Foutief aangesloten: 2% x 1,32 m<sup>3</sup>/h = 0,026 m<sup>3</sup>/h
- Bergingsvolume stelsel: 4 mm x 1 ha x 10 = 40 m<sup>3</sup>
- Daaruit volgt: 0,026 / 40 = 0,07% huishoudelijk afvalwater in gescheiden stelsels tijdens een overstorting als gevolg van foutaansluitingen

12 Bron: Ziekenhuizen, Categorieaal onderzoek wederopbouw 1940-1965, januari 2006

13 Bron: Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen: Rioned reeks 15, 2010

14 Bron: Het nut van stedelijk waterbeheer, monitor gemeentelijke watertaken 2016; Stichting Rioned, 2016

15 Bron: Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies?; Stichting Rioned, 2009



De verdunning van foutaansluitingen bij hemelwateruitlaten is zo groot (>1000 keer) dat voor bijna alle afvalwatergerelateerde stoffen geen stijging te detecteren zal zijn. Enkel zal een verhoogde bacteriologische verontreiniging herkenbaar zijn als gevolg van foutaansluitingen (zie hoofdstuk 2).

Wanneer een ziekenhuis zelf verkeerd is aangesloten is er uiteraard wel een probleem, ook omdat hemelwaterstelsels relatief vaker en meer overstorten. Besloten is dat dit dermate onwaarschijnlijk is dat met dat scenario geen rekening gehouden hoeft te worden.

#### 4.5 OVERSTORTINGEN VAN GEMENGDE STELSELS

Vanuit gemengde stelsels wordt tijdens hevige neerslagsituaties hemelwater dat is vermengd met afvalwater geloosd op het oppervlaktewater<sup>14</sup>. Ook ziekenhuisafvalwater kan via zo'n overstort in het oppervlaktewater terecht komen.

Op basis van landelijke kentallen kan worden gesteld dat een riooloverstort ongeveer 5-6 keer per jaar in werking treedt<sup>15</sup>. De duur van een overstorting is uiteraard afhankelijk van de bui die valt, maar gemiddeld kan dit worden berekend op 100 minuten (1,7 uur, vastgesteld op basis van de referentiegegevens<sup>15</sup>). Gemiddeld zijn overstorten aldus 10 uur per jaar (8766 uur) actief. Slechts een klein deel van het afvalwater komt dus via overstorten in oppervlaktewater.

De vervolgvraag is dan met welke verdunning afvalwater tijdens een overstorting wordt meegevoerd naar het oppervlaktewater. Onderstaand een globale berekening op basis van kentallen. Een gemiddelde overstorting bestaat dus op basis van de volumeverhoudingen uit circa 1,4% huishoudelijk afvalwater, met andere woorden is huishoudelijk afvalwater ruim 72 maal verdund.

##### KADER PERCENTAGE AFVALWATER IN GEMENGDE STELSELS GEDURENDE OVERSTORTING

- Aantal riooloverstorten in gemengde stelsels: 13.000 stuks
- Percentage gemengde rioolstelsels ten opzichte van het totaal: 61%
- Afvoerend oppervlak: 93.300 ha (61% van in totaal 153.000 ha)
- Daaruit volgt: aangesloten oppervlak per riooloverstort: (afgerond) 7 ha
- Gemiddeld afvoerend oppervlak per inwoner: 91 m<sup>2</sup>
- Daaruit volgt: aantal inwoners op één overstort: 769 inwoners

Overige kenmerken zijn als volgt:

- Bergingsvolume gemengd stelsel: 7 mm
- Afvalwaterproductie per inwoner: 0,012 m<sup>3</sup>/h
- Maximale afstand tot rioolgemaal: 500 m. (De afstand is een aanname aan de hand van de grootte van het referentiegebied, het normale afschot van leidingen en een rioolgemeel van 3,5 m diep).
- Stroomsnelheid afvalwater (tijdens DWA-omstandigheden): 0,1 m/s. In natte omstandigheden treden veel hogere snelheden op.
- Daaruit volgt een gemiddelde verblijftijd van afvalwater in riool van 45 minuten in normale omstandigheden.

14 Bron: Het nut van stedelijk waterbeheer, monitor gemeentelijke watertaken 2016; Stichting Rioned, 2016

15 Bron: Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies?; Stichting Rioned, 2009

Op basis de kentallen kan de berekening worden gemaakt van de hoeveelheden huishoudelijk afvalwater bij overstorting:

- Huishoudelijk afvalwater:  $769 \text{ inw.} \times 0,005 \text{ m}^3/\text{h} = 3,85 \text{ m}^3/\text{h}$
- Reeds in het stelsel geborgen afvalwater:  $0,75 \text{ h} \times 3,85 \text{ m}^3/\text{h} = 2,9 \text{ m}^3$
- Bergingsvolume stelsel:  $7 \text{ mm} \times 7 \text{ ha} \times 10 = 490 \text{ m}^3$
- Daaruit volgt:  $6,75 / 490 = 1,4\%$  huishoudelijk afvalwater in gemengde stelsels in een overstorting van 1 uur

Op basis de kentallen kan de berekening worden gemaakt van de hoeveelheden ziekenhuisafvalwater bij overstorting:

- Totaal aantal geïnventariseerde ziekenhuizen: 107 stuks
- Totaal aantal ziekenhuisbedden : 37.753 stuks (deze inventarisatie: 41.746 bedden)
- Daaruit volgt: gemiddeld ongeveer 360 bedden per ziekenhuis
- Afvalwaterproductie per bed:  $0,017 \text{ m}^3/\text{h}$  (Tabel 2.1)
- Ziekenhuisafvalwater:  $360 \text{ bedden} \times 0,017 \text{ m}^3/\text{h} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$  binnen het referentiegebied
- Reeds in het stelsel geborgen afvalwater:  $0,75 \text{ h} \times 6 \text{ m}^3/\text{h} = 4,5 \text{ m}^3$
- Daaruit volgt:  $10,5 / 490 = 2,1 \%$  ziekenhuisafvalwater in gemengde stelsels in een overstorting van 1 uur.

Gezien de gemiddelde karakteristieken van een rioleringsgebied kan de relatieve bijdrage van een ziekenhuis aan de medicijnvracht in overstortwater sterk verschillen en zal afhankelijk van de locatie van de overstort tussen de 0 en 100% liggen. Gemiddeld is deze 3,6% uitgaande van de in Nederland aanwezige 41.746 bedden op rwzi's waarop totaal 11.049.132 inwoners zijn aangesloten en uitgaande van een 10 maal hogere emissie van medicijnresten per bed. Zie Hoofdstuk 3.

Een gemiddeld ziekenhuis met 360 bedden zal met een tien keer hogere medicijnvracht per bed een ongeveer 5 maal hogere vracht geneesmiddelen bevatten dan een gemiddeld rioleringsgebied met 770 inwoners. Bij een groot ziekenhuis (770 bedden) is de vracht 10 keer hoger. Zelfs dan zullen overstortconcentraties lager zijn dan effluentconcentraties van rwzi's die slechts factor 3 lager zijn dan van huishoudelijk afvalwater, zie paragraaf 4.6.

Bij een gemiddelde overstort zullen dan meestal, behalve het ziekenhuis, ook huishoudens aangesloten zijn. Grote ziekenhuizen zijn qua oppervlak (7 ha) al vergelijkbaar met het afwateringsgebied van een een gemiddelde overstort en zullen dus een 'eigen' overstort hebben. De grens van een 'groot' ziekenhuis ligt grofweg bij 500 bedden. Dit is berekend op basis van een aantal oppervlaktebepalingen van ziekenhuizen (bron: Google maps), in relatie tot het aantal ziekenhuisbedden.

#### 4.6 KRITISCHE FACTOREN BIJ OVERSTORTINGEN

Om de kritische factoren voor de hoeveelheid overstortend afvalwater vanuit een gemengd rioolstelsel te bepalen is onderstaand een aantal berekeningen uitgevoerd. Daarvoor is voor een aantal gestandaardiseerde buien (Kennisbank stichting Rioned) het overstortvolume bepaald met daarbinnen het percentage afvalwater.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma Sobek waarin een rioolstelsel is gemodelleerd met de kenmerken van het eerder genoemde referentiegebied. Het programma berekent bij elke bui de overstortduur en het overstortvolume. De percentages aan afvalwater



zijn daaraan afgeleid (Tabel 4.1). Er is uitgegaan van volledige menging van huishoudelijk afvalwater met hemelwater voor de overstort.

**TABEL 4.1** BEREKENINGSRESULTAAT OVERSTORTKARAKTERISTIEKEN REFERENTIEOVERSTORT HUISHOUELIJK AFVALWATER BIJ VERSCHILLENDE BUIEN

| Bunummer    | Neerslag<br>(mm) | Instroom-<br>volume <sup>1)</sup><br>(m <sup>3</sup> ) | Overst.<br>volume<br>(m <sup>3</sup> ) | Overst.<br>duur<br>(min.) | Huishoudelijk<br>afvalwater<br>(m <sup>3</sup> ) | Huishoudelijk<br>afvalwater<br>(%) | HH overstort<br>afvalwater<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-------------|------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 01 (T=0,25) | 10,5             | 662                                                    | 77                                     | 32                        | 4,9                                              | 0,8                                | 0,5                                             |
| 04 (T=0,5)  | 14,4             | 907                                                    | 343                                    | 35                        | 5,1                                              | 0,6                                | 1,4                                             |
| 06 (T=1)    | 16,8             | 1058                                                   | 504                                    | 37                        | 5,3                                              | 0,5                                | 1,7                                             |
| 08 (T=2)    | 19,8             | 1247                                                   | 714                                    | 39                        | 5,4                                              | 0,4                                | 2,0                                             |
| 09 (T=5)    | 29,4             | 1852                                                   | 1379                                   | 50                        | 6,1                                              | 0,3                                | 2,6                                             |
| 10 (T=10)   | 35,7             | 2249                                                   | 1820                                   | 55                        | 6,4                                              | 0,3                                | 2,9                                             |

<sup>1)</sup> minus verdamping, infiltratie en afstromingsverliezen, gemiddeld 10%

De kleinste bui waarbij overstorting optreedt is bepalend voor de maximale concentraties in overstortwater, de grootste bui voor de hoeveelheid.

Uit de berekeningen valt op te maken dat (eenmalige) piekbuien tot relatief korte overstortduren leiden van gemiddeld 45 minuten, terwijl het jaarlijkse gemiddelde op 100 minuten wordt berekend. De oorzaak voor dit verschil is dat de referentiebuien kortdurende buien zijn die voor de water-op-straat berekeningen representatief zijn.

De resultaten worden vergeleken met de berekening van twee uiterste scenario's voor een overstorting van ziekenhuisafvalwater. Eén waarbij de riooloverstort direct bij een ziekenhuis is gesitueerd en waarbij er vanuit wordt gegaan dat al het ziekenhuisafvalwater tijdens neerslag naar de riooloverstort wordt gestuwd. Bij het tweede scenario bevindt de overstort op een aanzienlijke afstand van het ziekenhuis waardoor volledige menging met hemelwater kan optreden.

**TABEL 4.2** BEREKENINGSRESULTATEN OVERSTORTKARAKTERISTIEKEN ZIEKENHUISAFVALWATER (360 BEDDEN) MET OVERSTORT VLAKBIJ EN VERDER WEG

| Bunummer    | Neerslag<br>(mm) | Instroom<br>volume <sup>1)</sup><br>(m <sup>3</sup> ) | Overst.<br>Volume<br>(m <sup>3</sup> ) | Overstort<br>duur<br>(min) | Ziekenhuisafvalwater            |                   |                                 |                   |                                 |
|-------------|------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
|             |                  |                                                       |                                        |                            | Overstort vlakbij               |                   | Overstort ver weg               |                   |                                 |
|             |                  |                                                       |                                        |                            | (m <sup>3</sup> ) <sup>2)</sup> | (%)               | (m <sup>3</sup> ) <sup>3)</sup> | (%)               | (m <sup>3</sup> ) <sup>4)</sup> |
| 01 (T=0,25) | 10,5             | 662                                                   | 77                                     | 32                         | 3,2                             | 4,2 <sup>2)</sup> | 7,7                             | 1,2 <sup>3)</sup> | 0,9                             |
| 04 (T=0,5)  | 14,4             | 907                                                   | 343                                    | 35                         | 3,5                             | 1,0               | 8,0                             | 0,9               | 3,0                             |
| 06 (T=1)    | 16,8             | 1058                                                  | 504                                    | 37                         | 3,7                             | 0,7               | 8,2                             | 0,8               | 3,9                             |
| 08 (T=2)    | 19,8             | 1247                                                  | 714                                    | 39                         | 3,9                             | 0,5               | 8,4                             | 0,7               | 4,8                             |
| 09 (T=5)    | 29,4             | 1852                                                  | 1379                                   | 50                         | 5,0                             | 0,4               | 9,5                             | 0,5               | 7,1                             |
| 10 (T=10)   | 35,7             | 2249                                                  | 1820                                   | 55                         | 5,5                             | 0,3               | 10,0                            | 0,4               | 8,1                             |

<sup>1)</sup> minus verdamping, infiltratie en afstromingsverliezen, gemiddeld 10%

<sup>2)</sup> Al het geproduceerde afvalwater zal overstorten, met andere woorden 3,2 m<sup>3</sup> afvalwater in 77 m<sup>3</sup> overstortvolume.

<sup>3)</sup> Er treedt volledige menging op in het rioolstelsel, met andere woorden van het mengsel van 7,7 m<sup>3</sup> afvalwater en 662 m<sup>3</sup> rioolwater stort 77 m<sup>3</sup> over.

<sup>4)</sup> Dit is het volume afvalwater dat met de overstorting het oppervlaktewater bereikt

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat een overstort nabij een ziekenhuis een vier keer hogere vracht kan opleveren ten opzichte van een riooloverstort dat verder bij het ziekenhuis vandaan ligt. Een gemiddeld ziekenhuis van 360 bedden produceert iets meer afvalwater dan 770 inwoners, waardoor het percentage afvalwater bij menging iets hoger is berekend (1,2% vs 0,8% in Tabel 4.1).

In de tabel is ook zichtbaar dat de hoeveelheid ziekenhuisafvalwater die wordt overgestort afhankelijk van de positie van de overstort in het rioleringsstelsel. Tot slot wordt opgemerkt dat het belang van een ziekenhuis ook op andere manieren kan toe- of afnemen, bijvoorbeeld als sprake is van een 'verzameloverstort' waarin meerdere rioleringsgebieden samenkomen. Het belang van de bijdrage van ziekenhuisafvalwater neemt dan af.

#### 4.7 AFHANKELIJKHEID OVERSTORTKARAKTERISTIEKEN VAN BERGING IN HET STELSEL

Om verdere bandbreedtes te bepalen is, naast de berekening op basis van het referentiegebied -dat gemiddeld in Nederland mag worden verwacht-, tevens een vergelijking gemaakt met een klein en een relatief groot rioolstelsel in termen van berging.

Rioolstelsels worden ontworpen op een neerslagsituatie waarbij er geen water op straat mag optreden. Over het algemeen is dat bui 8 uit de tabellen. Een stelsel met 5 mm is dan een ondergrens waarbij geen water op straat voorkomt bij zeer grote buien. Voor het grotere rioolstelsel is een stelsel genomen met een berging van 12 mm. Deze grootte is eveneens realistisch, aangezien er landelijk op steeds meer plekken bestaande verharding van het rioolstelsel wordt afgekoppeld zodat relatief schoon hemelwater rechtstreeks kan worden afgevoerd naar het oppervlaktewater. Door het afkoppelen ontstaat er meer berging in het rioolstelsel.

In de berekening is een verhard oppervlak van 10 ha en 4 ha gehanteerd, waarvoor de berging in het referentiestelsel respectievelijk 5 mm en 12 mm is. De berekening is gedaan voor de situatie waarin de overstort vlakbij het ziekenhuis ligt, m.a.w. wanneer geen menging in het stelsel optreedt.

TABEL 4.3 BEREKENINGSRISULTATEN OVERSTORTKARAKTERISTIEKEN ZIEKENHUISAFVALWATER IN EEN RIOOLSTELSEL MET WEINIG BERGING

| Buimnummer  | Neerslag (mm) | Instroom-volume <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> ) | Overst. volume (m <sup>3</sup> ) | Overstort-duur (min.) | Ziekenhuis-afvalwater (m <sup>3</sup> ) | Ziekenhuis-afvalwater (%) | HH overstort afvalwater (m <sup>3</sup> ) |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| 01 (T=0,25) | 10,5          | 945                                             | 340                              | 49                    | 4,9                                     | 1,4                       | 2,5                                       |
| 04 (T=0,5)  | 14,4          | 1296                                            | 720                              | 43                    | 4,3                                     | 0,6                       | 3,1                                       |
| 06 (T=1)    | 16,8          | 1512                                            | 950                              | 43                    | 4,3                                     | 0,5                       | 3,4                                       |
| 08 (T=2)    | 19,8          | 1782                                            | 1250                             | 46                    | 4,6                                     | 0,4                       | 3,8                                       |
| 09 (T=5)    | 29,4          | 2646                                            | 2190                             | 63                    | 6,3                                     | 0,3                       | 4,9                                       |
| 10 (T=10)   | 35,7          | 3213                                            | 2810                             | 78                    | 7,8                                     | 0,3                       | 5,7                                       |

<sup>1)</sup> minus verdamping, infiltratie en afstromingsverliezen, gemiddeld 10%

TABEL 4.4 BEREKENINGSRISULTATEN OVERSTORTKARAKTERISTIEKEN ZIEKENHUISAFVALWATER IN EEN RIOOLSTELSEL MET VEEL BERGING

| Buimnummer  | Neerslag (mm) | Instroom-volume <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> ) | Overst. volume (m <sup>3</sup> ) | Overstort-duur (min.) | Ziekenhuis-afvalwater (m <sup>3</sup> ) | Ziekenhuis-afvalwater (%) | HH overstort afvalwater (m <sup>3</sup> ) |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| 01 (T=0,25) | 10,5          | 378                                             | 0                                | 0                     | 0,0                                     | 0,0                       | 0,0                                       |
| 04 (T=0,5)  | 14,4          | 518                                             | 0                                | 0                     | 0,0                                     | 0,0                       | 0,0                                       |
| 06 (T=1)    | 16,8          | 605                                             | 60                               | 22                    | 2,2                                     | 3,7                       | 0,6                                       |
| 08 (T=2)    | 19,8          | 713                                             | 180                              | 28                    | 2,8                                     | 1,6                       | 1,5                                       |
| 09 (T=5)    | 29,4          | 1058                                            | 548                              | 47                    | 4,7                                     | 0,9                       | 3,1                                       |
| 10 (T=10)   | 35,7          | 1285                                            | 808                              | 50                    | 5,0                                     | 0,6                       | 3,7                                       |

<sup>1)</sup> buivolume minus verdamping, infiltratie en afstromingsverliezen, gemiddeld 10%

Uit de vergelijking van de aanvullende berekeningen blijkt dat in een klein stelsel, een kleinere vaker voorkomende bui tot een overstorting zal leiden. In een groot stelsel treedt overstorting pas op bij de grotere buien (ongeveer vanaf 16 mm neerslag). De percentages afvalwater zijn nog altijd het meest kritisch voor buien die net overstorten. Die kritische buien komen afhankelijk van de berging dus vaker of minder vaak voor.

#### 4.8 SAMENVATTING HOOFDSTUK 4

De kritische factoren die bepalen in welke mate afvalwater in overstorten terecht komt, en hun samenspel, zijn in beeld gebracht:

- Alleen overstortingen van gemengde stelsels blijken relevant te kunnen zijn.
- Vooral bij grote ziekenhuizen kan de vracht medicijnresten in overstorten groot zijn als gevolg van de grotere vracht. Maximaal is deze 10 keer hoger en de vracht is 5 keer hoger bij gemiddelde ziekenhuizen (360 bedden).
- De positie van een ziekenhuis ten opzichte van de overstort bepaalt in hoeverre menging in het rioolstelsel optreedt waardoor de kritische overstorten meer of minder verdund zullen zijn.
- De frequentie waarmee wordt overgestort is een functie van de in het rioolstelsel aanwezige berging cq. het aangekoppelde oppervlak.

Voor een kwantificering van de bijdrage van ziekenhuisafvalwater in overstortingen wordt een formule op basis van kentallen geformuleerd. Deze de methode voor kwantificering is opgenomen in Bijlage 2. Met de resultaten van deze formule wordt een indicatie gegeven van de relatieve invloed van een ziekenhuis in een overstort ten opzichte van een referentie-overstort waarin alleen huishoudelijk afvalwater zit.

# 5

## HET EFFECT VAN OVERSTORTEN OP OPPERVLAKTEWATEREN

### 5.1 INLEIDING

Er is uitgegaan van de standaard “TEWOR” methodiek voor het bepalen van het effect van overstorten op oppervlaktewateren. Daarbij zijn echter niet de standaard in TEWOR gebruikte buien en overstortkarakteristieken gebruikt. Ten eerste zijn ook de kleine, kritische overstortingen ( $T=0.25$  en  $T=0.5$ , zie hoofdstuk 4) doorgerekend die niet in TEWOR zitten. Deze buien zijn voor de zuurstofdip minder maatgevend maar zoals uit Hoofdstuk 4 blijkt zijn deze buien kritisch voor de concentratie en vracht medicijnresten. Daarnaast zijn voor alle buien de in het vorige hoofdstuk berekende overstortkarakteristieken gebruikt in plaats van de gestandaardiseerde karakteristieken die in TEWOR zitten, waardoor het resultaat iets anders zal zijn.

In de berekening zijn de volgende processen meegenomen:

- Verdunning van waterstromen in de overstortleiding (zie ook vorige hoofdstuk).
- Verdunning met het volume water in het ontvangende waterlichaam.
- Afvoer met het debiet van het waterlichaam (stromende wateren).
- Afvoer en verdunning door het neerslagoverschot (1 liter per seconde per hectare).
- Voor zuurstof: diffusie door het wateroppervlak.
- Afvoer van overtollig regenwater via een (langzame) afvoerfunctie.

De dimensies van het ontvangende water en eventuele aan- en afvoer in het systeem bepalen de mate van verdunning in het oppervlaktewater en het ‘herstel’ van concentraties naar de achtergrondconcentratie. Om het effect direct af te kunnen meten aan de gemiddelde achtergrondconcentratie in Nederland is aangenomen dat de referentieconcentratie in het ontvangende water  $2 \mu\text{g/l}$  bedraagt, de gemiddelde concentratie geneesmiddelen in regionale oppervlaktewateren.

Voor de bepaling van het risico is ook gekeken naar de zuurstofhuishouding. Organisch belast water heeft zuurstof nodig om de afbraak te verzorgen. Bij een overstorting ontstaat in het ontvangende water een zuurstofdip door deze afbraak. Hoe ver deze dip reikt en hoe lang dit duurt bepaald de mate van het effect van de overstort.

## 5.2 BEREKENINGSRESULTATEN

Om het BZV en de concentratie medicijnresten uit te rekenen is gebruik gemaakt van onderstaande gegevens (Tabel 5.1), afkomstig uit tabellen 4.1 en 4.2 voor een gemiddeld rioleringsgebied en een gemiddeld ziekenhuis vlakbij een overstort.

TABEL 5.1 KENMERKEN OVERSTORTING VOOR ANALYSE EFFECT OP OPPERVLAKTEWATER

| Bunummer    | Intensiteit | Volume Bui<br>(m <sup>3</sup> ) | Overstort-volume<br>(m <sup>3</sup> ) | Overstort-duur<br>(min) | Huishoudelijk afvalwater<br>(m <sup>3</sup> ) | Ziekenhuis afvalwater<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 06 (T=0,25) | 10,5        | 662                             | 77                                    | 32                      | 0,5                                           | 3,2                                        |
| 08 (T=0,50) | 14,4        | 907                             | 343                                   | 35                      | 1,4                                           | 3,5                                        |
| 09 (T=1)    | 16,8        | 1058                            | 504                                   | 37                      | 1,7                                           | 3,7                                        |
| 10 (T=2)    | 19,8        | 1247                            | 714                                   | 39                      | 2,0                                           | 3,9                                        |

In de eerste stap is een analyse gemaakt van de mate van verdunning in het rioolstelsel. Het ziekenhuiswater mengt daar met regenwater en een deel huishoudelijk afvalwater. Bij de berekening is uitgegaan van een concentratie BZV in ziekenhuiswater van 225 mg/l en 450 mg/l in huishoudelijk afvalwater. Voor medicijnresten is uitgegaan van 205 µg/l medicijnresten in ziekenhuisafvalwater en 68,5 µg/l in huishoudelijk afvalwater (zie hoofdstuk 2). Uit de berekeningsresultaten in Tabel 5.2 blijkt dat het gehalte medicijnen in de buisituaties T=1 en T=2 kleiner is dan in het ontvangende water (referentie van 2 µg/l). Dat betekent dat 'gemiddeld regionaal water' schoner wordt gemaakt bij een overstorting.

TABEL 5.2 KWALITEIT OVERSTORTWATER NA MENGING IN RIOLERING

| Bunummer    | BZV<br>(mg/l) | Concentratie medicijnen (µg/l) | Volume overstorting<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| 06 (T=0,25) | 12,27         | 8,96                           | 77                                       |
| 08 (T=0,50) | 4,13          | 2,37                           | 343                                      |
| 09 (T=1)    | 3,17          | 1,73                           | 504                                      |
| 10 (T=2)    | 2,49          | 1,31                           | 714                                      |

### BEREKENING VERDUNNING IN KLEINE OPPERVLAKTEWATERLICHAMEN

In Figuur 5.1 is het effect van overstortingen in een kleine vijver of kopsloot gepresenteerd. Zij zullen ook bij een kleine overstorting volledig uit overstortwater bestaan, zie tabel 5.2. Dit is de minimale grootte van stadsvijvers waarvan bekend is dat er overstortingen op kunnen zijn aangesloten. Een overstorting leidt in die typen wateren tot forse stijgingen van de waterstand en zijn vaak problematisch voor de waterkwaliteit.

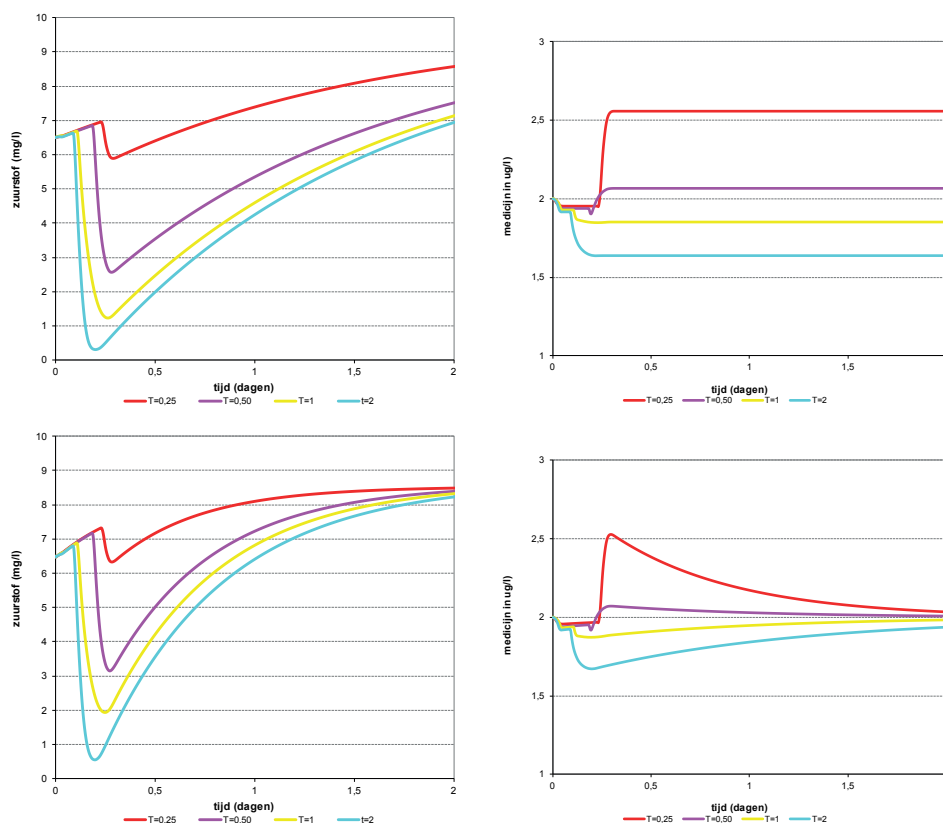
Bij doorstromend water (afhankelijk van doorvoerdebiet) zal de concentratie medicijnresten na enige tijd weer herstellen tot de referentiesituatie (2 µg/l). In de figuur is te zien dat een klein volume een relatief forse doorspoeling (1 m<sup>3</sup>/minuut) nodig heeft wil het binnen 2 dagen na overstorting weer terug zijn op de referentie. Voor zuurstof helpt doorspoeling bij het herstel na de zuurstofdip die in ondiepe wateren vooral door diffusie door het wateroppervlak herstelt.

Wanneer het watervolume wordt vergroot tot 5000 m<sup>3</sup> wordt het zuurstofprobleem een stuk kleiner. In de T=2 komt de zuurstofdip nog even onder de 3 mg O<sub>2</sub>/l. Het gehalte aan medicijnresten neemt nog zeer beperkt toe ten opzichte van de referentie, berekend is een gehalte van net boven de 2,5 µg/l (T=0,25) (Figuur 5.2). Bij grote buien zijn de concentraties lager dan de Nederlandse achtergrondconcentratie.

Wanneer de waterdiepte wordt gehalveerd (en daarmee het volume) is te zien dat de overstorting leidt tot een grotere zuurstofdip (Figuur 5.3). Door de kleinere waterdiepte heeft reaeratie in de watergang sneller invloed en zorgt daarmee voor een sneller zuurstofherstel. De medicijnresten zorgen alleen in de  $T=0,25$  voor een toename in het gehalte. De verschillen bij de andere buien zijn eveneens minimaal.

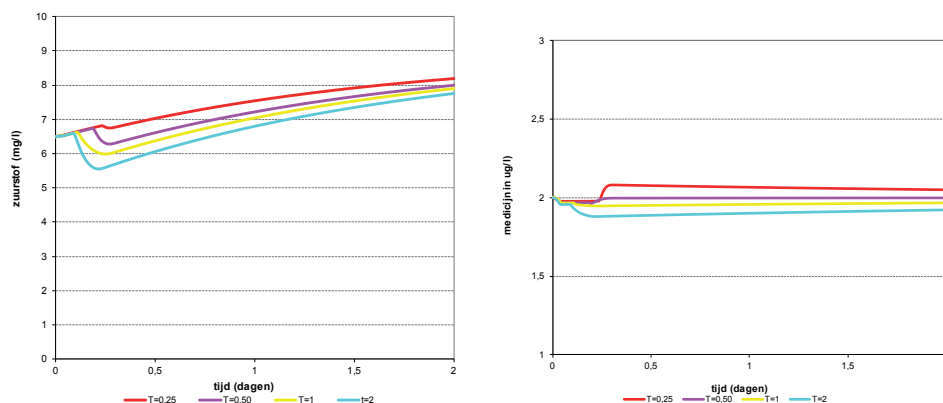
FIGUUR 5.1

VERLOOP ZUURSTOF EN VERLOOP CONCENTRATIE MEDICIJNRESTEN BIJ VERSCHILLENDE TYPEN BUIEN ZONDER (BOVEN) EN MET (ONDER) DOORSTROMING VAN 1 M<sup>3</sup>/MINUUT IN EEN VIJVER VAN 0,5 METER DIEP EN 1600 M<sup>2</sup> GROOT



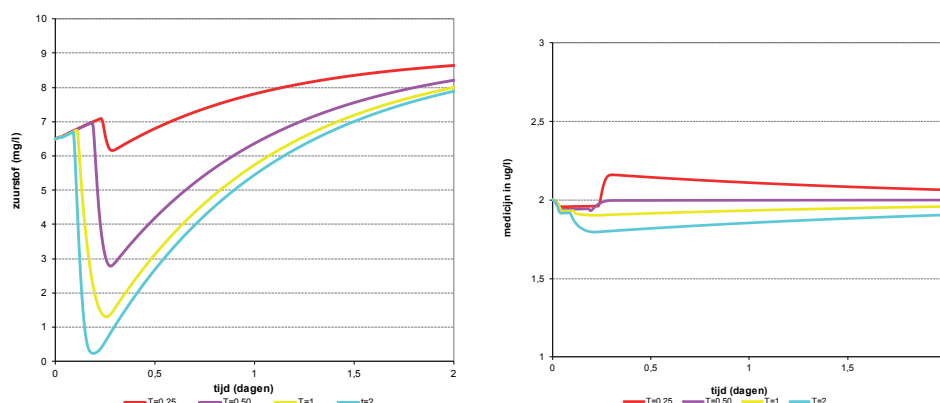
FIGUUR 5.2

VERLOOP ZUURSTOF EN VERLOOP CONCENTRATIE MEDICIJNRESTEN BIJ VERSCHILLENDE TYPEN BUIEN IN EEN VIJVER VAN 1 METER DIEP EN 5.000 M<sup>2</sup> GROOT ZONDER AANVOER/DOORSPOEING.



FIGUUR 5.3

VERLOOP ZUURSTOF EN VERLOOP CONCENTRATIE MEDICIJNRESTEN BIJ VERSCHILLENDE TYPEN BUIEN IN EEN VIJVER VAN 0,5 METER DIEP EN 5.000 M<sup>2</sup> GROOT ZONDER AANVOER/DOORSPOELING



### 5.3 SAMENVATTING HOOFDSTUK 5

Op basis van deze berekeningen concluderen wij dat de kleinere overstortingen, die meerdere malen per jaar voor kunnen komen in stilstaand water leiden tot een verhoging van de concentratie medicijnresten. De buien die minder vaak voorkomen hebben in het overstortwater een concentratie medicijnresten die over het algemeen kleiner is dan de gemiddelde regionale achtergrondconcentratie die als gevolg van effluentlozingen van rwzi's in het Nederlandse oppervlaktewater aanwezig is.

Als er doorstroming in het oppervlaktewater aanwezig is, zal afhankelijk van de mate van doorstroming de referentiesituatie binnen enkele dagen terugkeren in het watersysteem.

Aandachtspunt blijft dat de concentratie pathogenen als gevolg van overstortingen wel fors zal kunnen toenemen in ontvangende oppervlaktewateren van overstorten. Dit geldt voor zowel overstortingen met huishoudelijk afvalwater als voor overstortingen met ziekenhuisafvalwater. Gemiddeld bevat huishoudelijk afvalwater factor 300 meer *E. coli*<sup>16</sup> dan rwzi-effluent.

16 RIVM, 2017, Bronnen van antibioticaresistentie in het milieu en mogelijke maatregelen, Rapport 2017-0058

# 6

## PRAKTISCHE DOORKIJK NAAR MAATREGELEN

### 6.1 INLEIDING

De laatste jaren is er veel aandacht voor de verwijdering van microverontreinigingen bij rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). Eerdere studies<sup>17</sup> hebben laten zien dat maximaal 10% van de medicijnenvracht op de rwzi vanuit de ziekenhuizen komt. Op basis van dit getal is het niet efficiënt het ziekhuisafvalwater lokaal bij ziekenhuizen te zuiveren. Echter, dit rapport laat zien dat bij bepaalde overstorten wel een risico kan ontstaan van vervuiling van het oppervlaktewater. Ook de recente discussie over antibioticaresistentie (AR) en de vorming ervan in oppervlaktewater door lage concentraties aan antibiotica-resten in het water (door b.v. overstortingen uit het riool) speelt een grote rol bij de afweging of het wellicht toch zinvol is om bij ziekenhuizen afvalwater te zuiveren.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag in welke situaties het zinvol kan zijn om maatregelen bij de ziekenhuizen zelf te treffen en welke maatregelen dit zijn. In relatie tot de overstortproblematiek worden ook alternatieve maatregelen in het watersysteem samengevat. Dit hoofdstuk vormt een handvat voor waterschappen om met ziekenhuizen en gemeentes in gesprek te gaan.

### 6.2 MOGELIJKE MAATREGELEN BIJ ZIEKENHUIZEN

Om de negatieve effecten van ziekenhuisafvalwater in overstortwater op stedelijk oppervlaktewater te voorkomen zijn verschillende decentrale maatregelen mogelijk. Deze maatregelen zijn onder te verdelen naar maatregelen in het rioleringsstelsel (riolering of overstort, zie hiervoor hoofdstuk 4) en naar maatregelen bij het ziekenhuis (dit hoofdstuk).

Decentrale maatregelen bij een ziekenhuis kunnen zijn:

- Opvangen van afvalwater met hoge concentratie medicijnen, b.v. plaszakken voor opvangen van röntgencontrastmiddel;
- Afvangen van medicijnen en verwijderen uit de afvalwaterstroom middels een rooster, b.v. dosering van adsorberend materiaal in ziekenhuistoiletten<sup>18</sup>;
- Afkoppelen van hemelwater op het terrein van het ziekenhuis, dus minder kans op overstorten met hoge concentraties medicijnresten;
- Scheiden van ziekenhuisafvalwaterstromen en niet alle stromen op het riool lozen, dus hoog geconcentreerde stromen anders zuiveren / vernietigen (b.v. met ziekenhuisafval verbranden);
- Decentraal zuiveren van één of meerdere afvalwaterstromen bij het ziekenhuis;

<sup>17</sup> STOWA 2011-02 & STOWA 2017-42

<sup>18</sup> CatchAmed <https://www.tkiwatertechnologie.nl/affiniteits-adsorptie-catchamed-bindt-medicijnen-in-het-toilet/>



- Integraal zuiveren van alle afval(water)stromen van het ziekenhuis, b.v. met een Pharmafilter. (Het Pharmafilter-systeem wordt in paragraaf 6.3 en in bijlage 3 uitgebreid besproken.)

Van deze maatregelen zijn er tot nu toe maar twee toegepast, namelijk het afkoppelen van hemelwater (ook al wordt dit tot nu toe niet specifiek ingezet ten behoeve van de waterkwaliteit) en het lokaal zuiveren van ziekenhuisafvalwater (dit wordt hieronder verder besproken).

### 6.3 ZIEKENHUISAFVALWATERBEHANDELINGEN IN NL

In Nederland zijn tot nu toe de volgende afvalwaterzuiveringssystemen bij ziekenhuizen geïmplementeerd en getest:

- Pharmafilter
- MBR + GAK-filter + ozon
- Ozon + UV (pilotinstallatie)

Alleen de Pharmafilter-installaties zijn al full-scale toegepast. De andere twee technieken zijn als demonstratie-installaties gebouwd voor een beperkte testperiode.

#### 6.3.1 GEREALISEERDE ZIEKENHUISAFVALWATERBEHANDELINGSINSTALLATIES IN NL

Diverse algemene en academische ziekenhuizen zijn geïnteresseerd in decentrale afvalwaterbehandeling.

Bij Isala klinieken in **Zwolle** is in 2009 een pilotinstallatie gebouwd (projectnaam SLIK), die 240 m<sup>3</sup> afvalwater per dag kan zuiveren. Hier zijn destijds een MBR toegepast en een GAK-filter, met de mogelijkheid om het gezuiverde water nog te oxideren met ozon of met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. De pilotinstallatie was onderdeel van het EU-project PILLS, en is na afloop van het project uit bedrijf genomen.

Bij het Antonius ziekenhuis in **Sneek** is door Wetsus een testlocatie gebouwd, waar technologieleveranciers met verschillende afvalwaterstromen van het ziekenhuis hun eigen technologie kunnen testen. Er worden echter weinig testen uitgevoerd.

Bij het ziekenhuis in **Winterswijk** loopt in 2019 een testinstallatie met ozon en UV. Dit project is geïnitieerd door het waterschap. Het ziekenhuis faciliteert alleen het onderzoek. Resultaten zijn tijdens het schrijven van dit rapport nog niet bekend.

De Pharmafilter technologie is geïmplementeerd bij vijf ziekenhuizen (d.d. augustus 2019):

- Reinier de Graaf Gasthuis te Delft
- Zorgsaam ziekenhuis te Terneuzen
- Sint Franciscus Gasthuis te Rotterdam
- Erasmus Medisch Centrum te Rotterdam
- Zaans Medisch Centrum te Zaandam<sup>19</sup>

Daarnaast is op dit moment één Pharmafilter-installatie in aanbouw, bij Sint Maartenskliniek in Nijmegen. De Pharmafilter installatie zal in Q1 2020 opgeleverd worden. Verder zijn meerdere initiatieven in het land lopende.

<sup>19</sup> In de periode tussen 2015 en 2019 is een pharmafilter actief geweest. Deze is nu gestopt als gevolg van verstoppingsproblemen in de leidingen in het ziekenhuis.

### 6.3.2 OVERWEGINGEN VAN ZIEKENHUIZEN IN NL OM EEN PHARMAFILTER TE BOUWEN

Algemene en academische ziekenhuizen hebben verschillende redenen om een Pharmafilter toe te passen, zie ook de motieven die in Bijlage 3 zijn beschreven.

ZorgSaam ziekenhuis Terneuzen is trots dat het met de implementatie van het Pharmafilter-systeem voorop loopt met duurzaam ondernemen in de zorg. Het Franciscus Gasthuis in Rotterdam heeft concrete doelstellingen opgesteld op het gebied van energie, water, afval en transportbewegingen. Het motief is om zorg en duurzaamheid bij elkaar te brengen en met het Pharmafilter een bijdrage te leveren aan vermindering van vervuiling van het oppervlaktewater. Kortom, een belangrijk motief voor ziekenhuizen om over te gaan op een Pharmafilter-systeem is het bijdragen aan duurzaamheid<sup>20</sup>. Als kanttekening is hier wel te benoemen, dat de wegwerp bedpannen etc. uit bioplastic worden gemaakt en na het gebruik vernalen en vergist worden. Bij inachtnaam van de hele productieketen van het bioplastic zou de overall duurzaamheid van het Pharmafilter nog achteruit kunnen gaan.

Voor het Reinier de Graaf Gasthuis in Delft is het idee voor een Pharmafilter installatie ontstaan in 2008. Het idee ontstond door de lange wachttijd bij de liften in het ziekenhuis, die werd gecreëerd door de beweging van mens en goederen tussen de afdelingen. Het elimineren van een belangrijke logistieke stroom, namelijk die van afvalcontainers, zou uitkomst bieden. Uiteindelijk kwam het ziekenhuis uit bij een Pharmafilter-systeem als passende oplossing. Het systeem is in Delft op volledige schaal gerealiseerd en beproefd in de periode 2010-2012. Sindsdien is bij meerdere ziekenhuizen het systeem geïmplementeerd. De resultaten tonen grote voordelen op het gebied van efficiënter werken en een beter milieu, zoals schoner water, minder afval transporten en dus minder kosten<sup>21</sup>.

Samenvattend wordt een Pharmafilter overwogen voor een verbeterde interne logistiek, het groene imago, verbeterde hygiëne binnen het ziekenhuis, kostenbesparing bij afvoer ziekenhuisafval en het nemen van verantwoordelijkheid van de vervuilende instantie. Een punt dat we niet hebben gehoord, maar wellicht in de toekomst aan deze lijst zal kunnen worden toegevoegd is de vermindering van verspreiding van antibioticaresistente bacteriën.

### 6.3.3 MOGELIJKE OBSTAKELS BIJ DE REALISATIE VAN EEN PHARMAFILTER

Er is een groot aantal initiatieven in Nederland om ziekenhuisafvalwater direct bij het ziekenhuis te zuiveren. Behalve de al gerealiseerde en in aanbouw zijnde Pharmafilters (zoals in het voorgaande hoofdstuk vermeld), is er een veeltal initiatieven dat stuk loopt.

Als onderdeel van de voorliggende studie zijn interviews gevoerd met de waterschappen die bij Pharmafilter-initiatieven betrokken zijn en waren. De volgende punten zijn vaak de oorzaak waarom een lokale afvalwaterzuivering bij een ziekenhuis niet gerealiseerd wordt:

- Een wettelijk kader ontbreekt, op grond waarvan de vervuiler eraan gehouden wordt om daadwerkelijk actie te ondernemen (volgens het principe van de 'vervuiler betaalt'). Uitstel tot actie is daardoor nog mogelijk.
- Het ziekenhuis krijgt de financiering (investeringskosten maar ook bedrijfsvoeringskosten) niet rond, omdat er geen ondersteuning is van waterschap en/of andere overheden (gemeente, provincie, rijk). Landelijk zijn er tot nu toe ook nog niet veel ervaringen met het systeem bij bestaande bouw wat van invloed is op het nemen van een dergelijk investeringsbesluit.

<sup>20</sup> <https://www.zorgvisie.nl/zorgsaam-gaat-ziekenhuisafval-efficiënter-verwerken-1219778w/>  
<https://www.franciscus.nl/over-franciscus/duurzaam>

<sup>21</sup> <https://www.erasmusmc.nl/nl-nl/patientenzorg/artikelen/pharmafilter-in-gebruik>  
<https://reinierdegraaf.nl/algemeen/over-reinier-de-graaf/duurzaam-ziekenhuis/pharmafilter/>  
<https://www.reinierhaga.nl/jaarverslag/reinierdegraaf/duurzaamheid/pharmafilter/>

- Het waterschap wil toch dat schoon water op riool wordt geloosd, dus geen afvalwaterheffing maar wel rioolheffing.
- Geen synergie bij ziekenhuis met andere verbouwing – aanpak interne riolering in het ziekenhuis is financieel niet haalbaar (alleen een zuivering plaatsen is een mogelijke oplossing).
- Afvalwater zuiveren is voor ziekenhuis niet de hoofdtaak, valt daardoor vaak tussen wal en schip. Wie doet het beheer en onderhoud van een dergelijke installatie (in samenspraak met Waterschap wellicht mogelijkheden).
- Problemen met vergunning van plaatsing Pharmafilter, b.v. biogasreactor mag niet op ziekenhuisterrein worden geïnstalleerd.
- Langdurig beslissingsproces, veel verschillende stakeholders, enkele haken af voordat besluit is genomen, waardoor financiering niet meer mogelijk is.
- Principes van ziekenhuis zijn belangrijker, b.v. het scheiden van afval (dus niet alles bij elkaar vermalen).
- De business case komt niet uit, omdat het ziekenhuis te klein is / er te weinig bedden zijn.
- Voor veel ziekenhuizen is de invoering van een Pharmafilter-systeem vooralsnog te kostbaar. Groningen (OZG) liet in 2017 bijvoorbeeld weten voorlopig af te zien van de aanschaf van het systeem. Het was niet gelukt om subsidie te krijgen voor de aanschaf van het filter dat voor het Groningse ziekenhuis in totaal drie miljoen euro zou kosten<sup>22</sup>.

#### 6.4 GREENDEAL ZORG EN KETENAANPAK MEDICIJNRESTEN UIT WATER

De eerste Green Deal Zorg ‘Op weg naar duurzame zorg’ startte in oktober 2015. Het stond in het teken van het stimuleren van bewustwording en meekrijgen van bestuurders van instellingen met het werken aan duurzaamheid. De zorg wordt namelijk niet alleen geconfronteerd met de effecten van klimaatverandering en milieuvervuiling op de gezondheid van hun patiënten en cliënten, ze is er ook veroorzaker van.

De Green Deal ‘Op weg naar duurzame zorg’ is gesteund door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. In 2018 is het vervolg op de Green Deal verkend. Het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport faciliteert deze vervolgdeal ‘Green Deal Duurzame zorg voor een Gezonde toekomst’, ook wel Green Deal Zorg 2.0 genoemd<sup>23</sup>. Het verhogen van de kwaliteit, toegankelijkheid, beschikbaarheid en betaalbaarheid van de zorg en tegelijk het verlagen van de footprint van de zorgverlening vanuit de lange termijn impact op ‘people, planet en prosperity’ is de algemene insteek van de Green Deal Zorg. Dit wordt bereikt door in vier pijlers te werken aan de volgende ambities:

- 49% CO<sub>2</sub> reductie in 2030;
- Circulaire bedrijfsvoering;
- Medicijnresten uit afvalwater;
- Gezond makende leefomgeving en milieu.

Binnen de derde pijler zet de zorgsector zich dus onder andere in voor het verminderen van medicijnresten in water. Deze pijler sluit aan bij de afspraken die gemaakt zijn in het regeerakkoord ‘Vertrouwen in de toekomst’ en die een plek hebben gekregen in de ‘Ketenaanpak medicijnresten uit water’ van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat<sup>24</sup>. In de

<sup>22</sup> <https://www.vereniginginnovatievegeneesmiddelen.nl/nieuwsberichten/2017/02/website/pharmafilter-voor-ziekenhuizen-te-kostbaar>

<sup>23</sup> <https://milieuplatformzorg.nl/green-deal/>

<sup>24</sup> ‘Uitvoeringsprogramma Ketenaanpak Medicijnresten’  
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2019/02/12/ketenaanpak-medicijnresten-uit-water>

Ketenaanpak Medicijnresten uit Water werken de Rijksoverheid, waterschappen, drinkwatermaatschappijen, gemeenten, de farmaceutische industrie en veel partijen uit de zorgsector samen om humane medicijnresten in oppervlakte- en grondwater terug te dringen. De Ketenaanpak Medicijnresten uit Water is richtinggevend en zet in op een samenhangende set van doelstellingen en maatregelen in de gehele geneesmiddelenketen: van ontwikkeling & toelating, voorschrijven & gebruik tot afvalinzameling & zuivering. Alleen door een gezamenlijke aanpak kan het probleem worden opgelost.

## 6.5 SAMENVATTING HOOFDSTUK 6

Er zijn mogelijkheden om ziekenhuisafvalwater lokaal bij de ziekenhuizen te zuiveren. Technisch is dit ook haalbaar. De belangrijkste hobbel is het rondkrijgen van de financiële business case. Dit is een complex proces, waarbij veel stakeholders betrokken zijn.

In Zwitserland en Duitsland - de koplopers inzake verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater - wordt niet of nauwelijks lokaal bij ziekenhuizen gezuiverd.

Omdat de discussie inmiddels vanuit een ander perspectief wordt gevoerd, namelijk vanuit de veiligheid (thema's als antibioticaresistentie, ziektekiemen, schoon stadswater ook met klimaatverandering), zou dit nog in de komende jaren kunnen veranderen. Er lopen al onderzoeken naar microverontreinigingen in overstortwater bij o.a. de EAWAG (Zwitserland).

Dat lokaal zuiveren van ziekenhuisafvalwater haalbaar is kan aangetoond worden door de al gerealiseerde installaties in Nederland.

## BIJLAGE 1

## LIJST EN KAART ZIEKENHUIZEN EN RWZI'S

TABEL B1.1 LIJST ZIEKENHUIZEN, AANTAL BEDDEN, LIGGING EN RWZI WAAROP WORDT GELOOSED

| ID | NAAM ZIEKENHUISLOCATIE                       | SRT   | BEDDEN | X      | Y      | LIGGING ZH  | LOOST OP rwzi                       |
|----|----------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|-------------|-------------------------------------|
| 1  | Maasziekenhuis Pantein                       | ALG   | 200    | 193239 | 408340 | Aa en Maas  | Aa en Maas LAND VAN CUIJK (HAPS)    |
| 2  | Elkerliek Ziekenhuis Helmond                 | ALG   | 500    | 172735 | 388172 | Aa en Maas  | Aa en Maas AARLE RIXTEL             |
| 3  | Jeroen Bosch Ziekenhuis 's-Hertogenbosch     | ALG   | 750    | 147395 | 410665 | Aa en Maas  | Aa en Maas S HERTOGENBOSCH          |
| 4  | Ziekenhuis Bernhoven Uden                    | ALG   | 320    | 170104 | 409466 | Aa en Maas  | Aa en Maas DINTHER                  |
| 5  | Bravis Ziekenhuis Roosendaal                 | ALG   | 385    | 89087  | 393760 | Brab. Delta | Brab. Delta BATH                    |
| 6  | Amphia Ziekenhuis Breda Molengracht          | ALG   | 572    | 114115 | 399380 | Brab. Delta | Brab. Delta NIEUWVEER (BRED A)      |
| 7  | Amphia Ziekenhuis Breda Langendijk           | ALG   | 472    | 111737 | 398450 | Brab. Delta | Brab. Delta NIEUWVEER (BRED A)      |
| 8  | Amphia Ziekenhuis Oosterhout                 | ALG   | 100    | 119240 | 406688 | Brab. Delta | Brab. Delta DONGEMOND (OOSTERHOUT)  |
| 9  | Bravis Ziekenhuis Bergen op Zoom             | ALG   | 574    | 80476  | 389198 | Brab. Delta | Brab. Delta BATH                    |
| 10 | ETZ Waalwijk                                 | ALG   | 24     | 131841 | 410872 | Brab. Delta | Brab. Delta WAALWIJK                |
| 11 | St. Antonius Ziekenhuis Nieuwegein           | ALG   | 300    | 133955 | 448494 | HDSR        | HDSR NIEUWEGEIN                     |
| 12 | Universitair Medisch Centrum Utrecht         | Acad. | 1042   | 140771 | 455327 | HDSR        | HDSR UTRECHT                        |
| 13 | Diakonessenhuis Utrecht                      | ALG   | 400    | 137936 | 454839 | HDSR        | HDSR UTRECHT                        |
| 14 | St. Antonius Ziekenhuis Utrecht              | ALG   | 300    | 132391 | 457327 | HDSR        | HDSR LEIDSCHE RIJN                  |
| 15 | St. Antonius Ziekenhuis Woerden              | ALG   | 150    | 121042 | 454740 | HDSR        | HDSR WOERDEN                        |
| 16 | Diakonessenhuis Zeist                        | ALG   | 100    | 146430 | 455939 | HDSR        | HDSR ZEIST                          |
| 17 | Academisch Medisch Centrum                   | Acad. | 1000   | 125714 | 478643 | Waternet    | Waternet AMSTERDAM-WEST             |
| 18 | Ziekenhuis Amstelland                        | ALG   | 255    | 119944 | 478513 | Waternet    | Waternet AMSTELVEEN                 |
| 19 | VU Medisch Centrum                           | Acad. | 733    | 119055 | 483096 | Waternet    | Waternet AMSTERDAM-WEST             |
| 20 | Onze Lieve Vrouwe Gasthuis locatie Oost      | ALG   | 300    | 122963 | 485715 | Waternet    | Waternet AMSTERDAM-WEST             |
| 21 | Onze Lieve Vrouwe Gasthuis locatie West      | ALG   | 300    | 117679 | 487184 | Waternet    | Waternet WESTPOORT                  |
| 22 | Antoni van Leeuwenhoek                       | ALG   | 212    | 116792 | 484921 | Waternet    | Waternet WESTPOORT                  |
| 23 | Tergooiziekenhuizen Blaricum                 | ALG   | 100    | 142745 | 475530 | Waternet    | Waternet BLARICUM GOOIERGRACHT      |
| 24 | Tergooiziekenhuizen Hilversum                | ALG   | 280    | 142312 | 469886 | Waternet    | Waternet HILVERSUM-OOST             |
| 25 | Noordwest Ziekenhuisgroep locatie Alkmaar    | ALG   | 671    | 110987 | 515818 | HHNK        | HHNK ALKMAAR                        |
| 26 | BovenIJ Ziekenhuis                           | ALG   | 313    | 123357 | 490838 | HHNK        | Waternet WESTPOORT                  |
| 27 | Rode Kruis Ziekenhuis Beverwijk              | ALG   | 275    | 104978 | 499315 | HHNK        | HHNK BEVERWIJK                      |
| 28 | Noordwest Ziekenhuisgroep locatie Den Helder | ALG   | 171    | 111818 | 552518 | HHNK        | HHNK DEN HELDER                     |
| 29 | Dijklander Ziekenhuis - Hoorn                | ALG   | 506    | 132459 | 517795 | HHNK        | HHNK WERVERSHOOF                    |
| 30 | Waterlandziekenhuis                          | ALG   | 359    | 126172 | 501528 | HHNK        | HHNK BEEMSTER (ZO-BEEMSTER)         |
| 31 | Zaans Medisch Centrum*                       | ALG   | 284    | 116821 | 496325 | HHNK        | HHNK ZAANDAM-OOST                   |
| 32 | Groene Hart Ziekenhuis Bleulandlocatie       | ALG   | 500    | 108226 | 448270 | Rijnland    | Rijnland GOUDA                      |
| 33 | Spaarne Gasthuis locatie Haarlem-Zuid        | ALG   | 187    | 104916 | 486750 | Rijnland    | Rijnland ZWANENBURG                 |
| 34 | Spaarne Gasthuis locatie Haarlem-Noord       | ALG   | 187    | 104854 | 493020 | Rijnland    | Rijnland HAARLEM-WAARDERPOLDER      |
| 35 | Spaarne Gasthuis Hoofddorp                   | ALG   | 237    | 105056 | 481906 | Rijnland    | Rijnland ZWAANSHOEK                 |
| 36 | Leids Universitair Medisch Centrum           | Acad. | 645    | 92864  | 464622 | Rijnland    | Rijnland KATWIJK                    |
| 37 | Alrijne Leiden                               | ALG   | 166    | 93130  | 465483 | Rijnland    | Rijnland LEIDEN-NOORD               |
| 38 | Alrijne Ziekenhuis Leiderdorp                | ALG   | 331    | 97082  | 463488 | Rijnland    | Rijnland LEIDEN-NOORD               |
| 39 | HMC Antoniushove                             | ALG   | 141    | 86209  | 456548 | Rijnland    | Delfland HARNASCHPOLDER             |
| 40 | LangeLand Ziekenhuis                         | ALG   | 220    | 94145  | 453775 | Rijnland    | Delfland HARNASCHPOLDER             |
| 41 | Reinier de Graaf Gasthuis*                   | ALG   | 481    | 83036  | 446036 | Delfland    | Delfland HARNASCHPOLDER             |
| 42 | Franciscus Vlietland Schiedam                | ALG   | 360    | 85712  | 437594 | Delfland    | Delfland GROOTE LUCHT (VLAARDINGEN) |

| ID | NAAM ZIEKENHUISLOCATIE                    | SRT   | BEDDEN | X      | Y      | LIGGING ZH      | LOOST OP rwzi                    |
|----|-------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|-----------------|----------------------------------|
| 43 | HagaZiekenhuis Leyweg                     | ALG   | 599    | 77931  | 452519 | Delfland        | Delfland_HARNASCHPOLDER          |
| 44 | HMC Westeinde                             | ALG   | 337    | 80469  | 454511 | Delfland        | Delfland_HOUTRUST                |
| 45 | HMC Bronovo                               | ALG   | 217    | 81744  | 457585 | Delfland        | Delfland_HARNASCHPOLDER          |
| 46 | Reinier de Graaf Diaconessenhuis Voorburg | ALG   | 481    | 83967  | 453037 | Delfland        | Delfland_HARNASCHPOLDER          |
| 47 | IJsselland Ziekenhuis                     | ALG   | 332    | 98305  | 439238 | HHSK            | HHSK_CAP AD IJSSEL-GROENEDIJK    |
| 48 | Erasmus Medisch Centrum*                  | Acad. | 950    | 91757  | 436227 | HHSK            | WSHD_ROTTERDAM-DOKHAVEN          |
| 49 | Franciscus Gasthuis*                      | ALG   | 420    | 91370  | 439616 | HHSK            | WSHD_ROTTERDAM-DOKHAVEN          |
| 50 | Meander Medisch Centrum Amersfoort        | ALG   | 600    | 153855 | 464770 | Vallei & Veluwe | Vallei & Veluwe_AMERSFOORT       |
| 51 | Gelre Ziekenhuizen Apeldoorn              | ALG   | 371    | 193314 | 466067 | Vallei & Veluwe | Vallei & Veluwe_APELDOORN        |
| 52 | Ziekenhuis De Gelderse Vallei Ede         | ALG   | 477    | 172733 | 448264 | Vallei & Veluwe | Vallei & Veluwe_EDE              |
| 53 | Ziekenhuis St. Jansdal                    | ALG   | 340    | 170598 | 483812 | Vallei & Veluwe | Vallei & Veluwe_HARDERWIJK       |
| 54 | Ziekenhuisgroep Twente Locatie Almelo     | ALG   | 370    | 240436 | 483987 | Vechtstromen    | Vechtstromen_ALMELO-SUMPEL       |
| 55 | Ziekenhuislocatie Scheper Emmen           | ALG   | 390    | 257945 | 534228 | Vechtstromen    | Vechtstromen_EMMEN               |
| 56 | Medisch Spectrum Twente Koningsplein      | ALG   | 620    | 257790 | 470852 | Vechtstromen    | Vechtstromen_ENSCHEDE-WEST       |
| 57 | Saxenburgh Groep Ziekenhuis Röpcke Zweers | ALG   | 197    | 239402 | 510092 | Vechtstromen    | Vechtstromen_HARDENBERG          |
| 58 | Ziekenhuisgroep Twente Locatie Hengelo    | ALG   | 370    | 249398 | 475982 | Vechtstromen    | Vechtstromen_HENGELO             |
| 59 | Máxima Medisch Centrum Veldhoven          | ALG   | 614    | 157209 | 379518 | De Dommel       | De Dommel_EINDHOVEN              |
| 60 | Catharina Ziekenhuis                      | ALG   | 700    | 160803 | 386284 | De Dommel       | De Dommel_EINDHOVEN              |
| 61 | Máxima Medisch Centrum Eindhoven          | ALG   | 614    | 161997 | 385075 | De Dommel       | De Dommel_EINDHOVEN              |
| 62 | St. Anna Ziekenhuis Geldrop               | ALG   | 320    | 166919 | 381206 | De Dommel       | De Dommel_EINDHOVEN              |
| 63 | ETZ Tilburg                               | ALG   | 303    | 132364 | 398749 | De Dommel       | De Dommel_TILBURG-NOORD          |
| 64 | ETZ Elisabeth                             | ALG   | 693    | 135308 | 394602 | De Dommel       | De Dommel_TILBURG-NOORD          |
| 65 | Deventer Ziekenhuisgroep                  | ALG   | 380    | 209948 | 475144 | WDOD            | WDODelta_DEVENTER                |
| 66 | Ziekenhuislocatie Bethesda Hoogeveen      | ALG   | 242    | 227491 | 527140 | WDOD            | WDODelta_ECHTEN (DR)             |
| 67 | Isala Diaconessenhuis Meppel              | ALG   | 100    | 211131 | 522935 | WDOD            | WDODelta_MEPPEL                  |
| 68 | Isala Zwolle                              | ALG   | 1103   | 205000 | 503113 | WDOD            | WDODelta_ZWOLLE                  |
| 69 | Het Van Weel-Bethesda Dirksland           | ALG   | 160    | 66254  | 418749 | WSHD            | WSHD_MIDDELHARNIS                |
| 70 | Albert Schweitzer Ziekenhuis Dordwijk     | ALG   | 515    | 106376 | 422829 | WSHD            | WSHD_DORDRECHT                   |
| 71 | Ikazia Ziekenhuis                         | ALG   | 350    | 93467  | 433469 | WSHD            | WSHD_ROTTERDAM-DOKHAVEN          |
| 72 | Maasstad Ziekenhuis                       | ALG   | 600    | 96327  | 432726 | WSHD            | WSHD_ROTTERDAM-DOKHAVEN          |
| 73 | Spijkenisse Medisch Centrum               | ALG   | 120    | 82612  | 429211 | WSHD            | WSHD_SPIJKENISSE-ALLEMANSPOELDER |
| 74 | Albert Schweitzer Ziekenhuis Zwijndrecht  | ALG   | 100    | 102772 | 426776 | WSHD            | WSHD_ZWIJNDRECHT                 |
| 75 | Wilhelmina Ziekenhuis Assen               | ALG   | 251    | 234070 | 555831 | Hunze en Aa's   | Hunze en Aa's_ASSEN              |
| 76 | Ziekenhuislocatie Refaja Stadskanaal      | ALG   | 200    | 258955 | 558335 | Hunze en Aa's   | Hunze en Aa's_STADSKANAAL        |
| 77 | Ommelander Ziekenhuis Groep locatie Lucas | ALG   | 223    | 265360 | 574528 | Hunze en Aa's   | Hunze en Aa's_SCHEEMDA           |
| 78 | Zuyderland Medisch Centrum Heerlen        | ALG   | 421    | 196513 | 320039 | Limburg         | Limburg_HOENSBROEK               |
| 79 | Maastricht UMC+                           | Acad. | 715    | 177964 | 316200 | Limburg         | Limburg_HEUGEM (GRONSVELD)       |
| 80 | Laurentius Ziekenhuis                     | ALG   | 290    | 197758 | 356003 | Limburg         | Limburg_ROERMOND                 |
| 81 | Zuyderland Medisch Centrum Sittard-Geleen | ALG   | 700    | 187120 | 332714 | Limburg         | Limburg_SUSTEREN                 |
| 82 | VieCuri Medisch Centrum Venlo             | ALG   | 395    | 208412 | 374453 | Limburg         | Limburg_VENLO                    |
| 83 | VieCuri Medisch Centrum Venray            | ALG   | 30     | 194713 | 393292 | Limburg         | Limburg_VENRAY                   |
| 84 | St. Jans Gasthuis                         | ALG   | 297    | 177732 | 362830 | Limburg         | Limburg_WEERT                    |
| 85 | Universitair Medisch Centrum Groningen    | Acad. | 1339   | 234474 | 582257 | Noorderzijlvest | Noorderzijlvest_GARMERWOLDE      |
| 86 | Martini Ziekenhuis van Swieten            | ALG   | 560    | 232835 | 578963 | Noorderzijlvest | Noorderzijlvest_EELDE            |
| 87 | Rijnstate Ziekenhuis                      | ALG   | 750    | 190865 | 445932 | Rijn en IJssel  | Rijn en IJssel_NIEUWGRAAF        |
| 88 | Slingeland Ziekenhuis                     | ALG   | 305    | 216725 | 443502 | Rijn en IJssel  | Rijn en IJssel_ETTEN             |
| 89 | Streekziekenhuis Koningin Beatrix         | ALG   | 214    | 245307 | 444163 | Rijn en IJssel  | Rijn en IJssel_WINTERSWIJK       |
| 90 | Rijnstate Ziekenhuis Zevenaar             | ALG   | 220    | 201859 | 439498 | Rijn en IJssel  | Rijn en IJssel_NIEUWGRAAF        |
| 91 | Gelre Ziekenhuizen Zutphen                | ALG   | 220    | 211868 | 459734 | Rijn en IJssel  | Rijn en IJssel_ZUTPHEN           |
| 92 | Rivas Zorggroep Beatrixziekenhuis         | ALG   | 250    | 125398 | 427871 | Rivierenland    | WSRL_SCHELLUINEN                 |
| 93 | Universitair Medisch Centrum St. Radboud  | Acad. | 1065   | 187583 | 426217 | Rivierenland    | WSRL_WEURT/NIJMEGEN              |

| ID              | NAAM ZIEKENHUISLOCATIE                      | SRT | BEDDEN | X      | Y      | LIGGING ZH     | LOOST OP rwzi                    |
|-----------------|---------------------------------------------|-----|--------|--------|--------|----------------|----------------------------------|
| 94              | Canisius-Wilhelmina Ziekenhuis              | ALG | 458    | 185615 | 425504 | Rivierenland   | WSRL_WEURT/NIJMEGEN              |
| 95              | Sint Maartenskliniek                        | ALG | 222    | 190332 | 427233 | Rivierenland   | WSRL_WEURT/NIJMEGEN              |
| 96              | Ziekenhuis Rivierenland                     | ALG | 373    | 156921 | 433444 | Rivierenland   | WSRL_TIEL                        |
| 97              | Admiraal De Ruyter Ziekenhuis Goes          | ALG | 364    | 52198  | 389454 | Scheldestromen | Scheldestromen_WILLEM ANNAPOLDER |
| 98              | Zorgsaam Zeeuw-Vlaanderen Locatie Antonius  | ALG | 113    | 22195  | 372384 | Scheldestromen | Scheldestromen_OOSTBURG          |
| 99              | Zorgsaam Zeeuw-Vlaanderen Locatie De Honte* | ALG | 280    | 48611  | 369967 | Scheldestromen | Scheldestromen_TERNEUZEN         |
| 100             | Admiraal De Ruyter Ziekenhuis Vlissingen    | ALG | 50     | 28389  | 386274 | Scheldestromen | Scheldestromen_WALCHEREN         |
| 101             | Flevoziekenhuis                             | ALG | 389    | 143839 | 486828 | ZZL            | ZZL_ALMERE                       |
| 102             | Antonius Ziekenhuis Emmeloord               | ALG | 50     | 178442 | 524085 | ZZL            | ZZL_NOORDOOSTPOLDER (TOLLEBEEK)  |
| 103             | Ziekenhuis St Jansdal Lelystad              | ALG | 140    | 161096 | 501847 | ZZL            | ZZL_LELYSTAD                     |
| 104             | Nij Smellinghe                              | ALG | 277    | 203471 | 568291 | Fryslân        | Fryslân_DRACHTEN                 |
| 105             | De Tjongerschans Heerenveen                 | ALG | 250    | 190642 | 553368 | Fryslân        | Fryslân_HEERENVEEN-NOORD         |
| 106             | Medisch Centrum Leeuwarden                  | ALG | 647    | 183027 | 578110 | Fryslân        | Fryslân_LEEUWARDEN               |
| 107             | Antonius Ziekenhuis Sneek                   | ALG | 300    | 172150 | 560895 | Fryslân        | Fryslân_SNEEK                    |
| Totaal inwoners |                                             |     | 41.746 |        |        |                | 11.049.132                       |

\*Pharmafilter

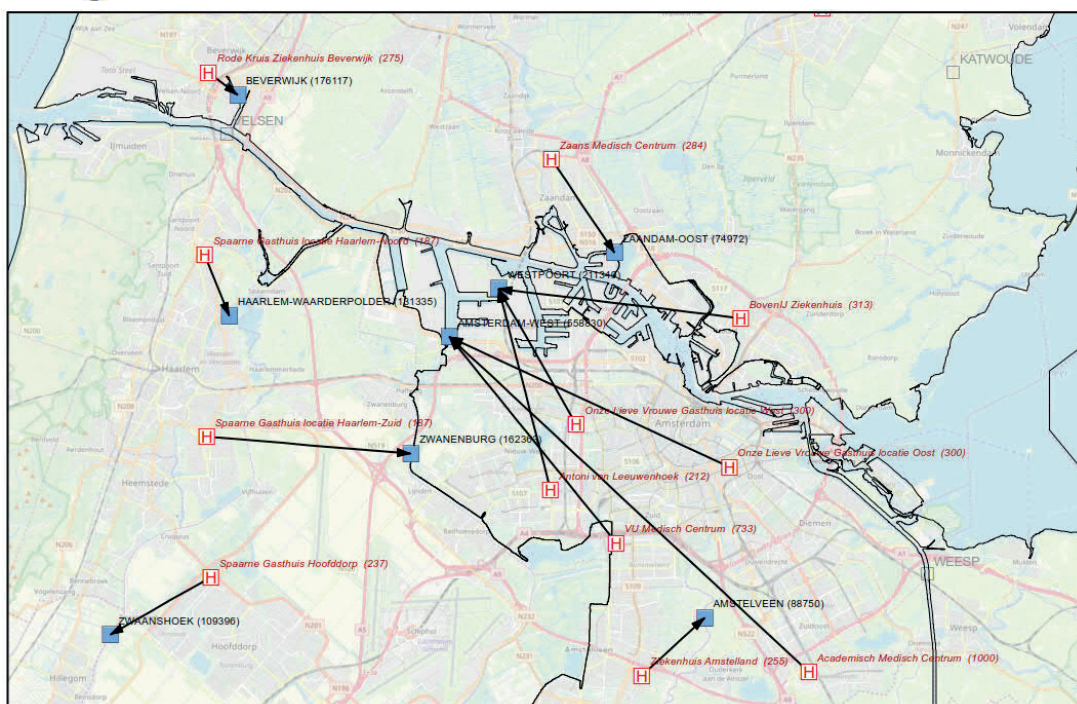
TABEL B1.2 TABEL RWZI'S MET AANTALLEN ZIEKENHUIZEN, INWONERS EN TOTAAL AANTAL BEDDEN VAN DE ZIEKENHUIZEN GEGROEPEERD PER RWZI

| ID | rwzi                     | INW    | BED  | X      | Y      | PERCZIEKENH  | Aantal ZH |
|----|--------------------------|--------|------|--------|--------|--------------|-----------|
| 1  | HEUGEM (GRONSVELD)       | 50544  | 715  | 177958 | 314043 | 12,4%        | 1         |
| 2  | ALKMAAR                  | 57618  | 671  | 111500 | 517500 | 10,4%        | 1         |
| 3  | OOSTBURG                 | 11080  | 113  | 23400  | 373100 | 9,3%         | 1         |
| 4  | EELDE                    | 57351  | 560  | 236600 | 571900 | 8,9%         | 1         |
| 5  | ZWOLLE                   | 121297 | 1103 | 199600 | 502200 | 8,3%         | 1         |
| 6  | ROTTERDAM-DOKHAVEN*      | 305055 | 2320 | 91528  | 434862 | 7,1% (2,9%)* | 4         |
| 7  | WEURT/NIJMEGEN           | 230288 | 1745 | 183500 | 431800 | 7,0%         | 3         |
| 8  | SNEEK                    | 40384  | 300  | 172000 | 559700 | 6,9%         | 1         |
| 9  | MIDDELHARNIS             | 22048  | 160  | 72200  | 421500 | 6,8%         | 1         |
| 10 | GOUDA                    | 69385  | 500  | 108473 | 446287 | 6,7%         | 1         |
| 11 | LEIDSCHER RIJN           | 42820  | 300  | 132346 | 459741 | 6,5%         | 1         |
| 12 | CAP AD IJSSEL-GROENEDIJK | 48407  | 332  | 100900 | 437900 | 6,4%         | 1         |
| 13 | LEEUWARDEN               | 96792  | 647  | 184840 | 578840 | 6,3%         | 1         |
| 14 | KATWIJK                  | 97207  | 645  | 89490  | 468226 | 6,2%         | 1         |
| 15 | HARDENBERG               | 33815  | 197  | 237125 | 507721 | 5,5%         | 1         |
| 16 | UTRECHT                  | 257851 | 1442 | 135730 | 457860 | 5,3%         | 2         |
| 17 | WINTERSWIJK              | 38705  | 214  | 245492 | 445038 | 5,2%         | 1         |
| 18 | ALMELO-SUMPEL            | 66990  | 370  | 239210 | 484615 | 5,2%         | 1         |
| 19 | LEIDEN-NOORD             | 90427  | 497  | 93777  | 465387 | 5,2%         | 2         |
| 20 | TIEL                     | 68153  | 373  | 158253 | 436742 | 5,2%         | 1         |
| 21 | HILVERSUM-OOST           | 51570  | 280  | 145199 | 473863 | 5,1%         | 1         |
| 22 | HEERENVEEN-NOORD         | 46137  | 250  | 188900 | 553700 | 5,1%         | 1         |
| 23 | SCHELLUINEN              | 47407  | 250  | 123346 | 426896 | 5,0%         | 1         |
| 24 | TERNEUZEN*               | 53500  | 280  | 46562  | 368640 | 5,0% (0%)*   | 1         |
| 25 | EINDHOVEN                | 444742 | 2248 | 163090 | 385603 | 4,8%         | 4         |
| 26 | GARMERWOLDE              | 266861 | 1339 | 240960 | 585345 | 4,8%         | 1         |
| 27 | WILLEM ANNAPOLDER        | 73260  | 364  | 54037  | 385523 | 4,7%         | 1         |
| 28 | NIEUWGRAAF               | 197540 | 970  | 197000 | 443300 | 4,7%         | 2         |
| 29 | SCHEEMDA                 | 45833  | 223  | 263410 | 576370 | 4,6%         | 1         |
| 30 | TILBURG-NOORD            | 211648 | 996  | 133000 | 401622 | 4,5%         | 2         |
| 31 | STADSKANAAL              | 42513  | 200  | 260340 | 559530 | 4,5%         | 1         |
| 32 | DORDRECHT                | 115304 | 515  | 110152 | 425894 | 4,3%         | 1         |
| 33 | WEERT                    | 67084  | 297  | 179221 | 364367 | 4,2%         | 1         |
| 34 | DEVENTER                 | 90000  | 380  | 205300 | 475900 | 4,1%         | 1         |
| 35 | SUSTEREN                 | 169794 | 700  | 186380 | 341620 | 4,0%         | 1         |
| 36 | DRACHTEN                 | 67230  | 277  | 199780 | 569750 | 4,0%         | 1         |
| 37 | ENSCHDEDE-WEST           | 151329 | 620  | 254280 | 472630 | 3,9%         | 1         |
| 38 | BLARICUM GOOIERGRACHT    | 24430  | 100  | 145740 | 475155 | 3,9%         | 1         |
| 39 | EMMEN                    | 96083  | 390  | 255993 | 526191 | 3,9%         | 1         |
| 40 | NIEUWVEER (BREDAS)       | 257595 | 1044 | 104400 | 414400 | 3,9%         | 2         |
| 41 | BATH                     | 241700 | 959  | 75629  | 379539 | 3,8%         | 2         |
| 42 | WESTPOORT                | 211340 | 825  | 113300 | 490200 | 3,8%         | 3         |
| 43 | ZAANDAM-OOST*            | 74972  | 284  | 119000 | 493100 | 3,6% (0%)*   | 1         |
| 44 | S HERTOGENBOSCH          | 200000 | 750  | 147500 | 415000 | 3,6%         | 1         |
| 45 | AMSTERDAM-WEST           | 558830 | 2033 | 113300 | 490200 | 3,5%         | 3         |
| 46 | BEEMSTER (ZO-BEEMSTER)   | 105293 | 359  | 122800 | 503100 | 3,3%         | 1         |
| 47 | ECHTEN (DR)              | 73960  | 242  | 224580 | 525140 | 3,2%         | 1         |
| 48 | NIEUWEGEIN               | 95865  | 300  | 133473 | 445542 | 3,0%         | 1         |
| 49 | ETTEN                    | 97795  | 305  | 219310 | 438770 | 3,0%         | 1         |

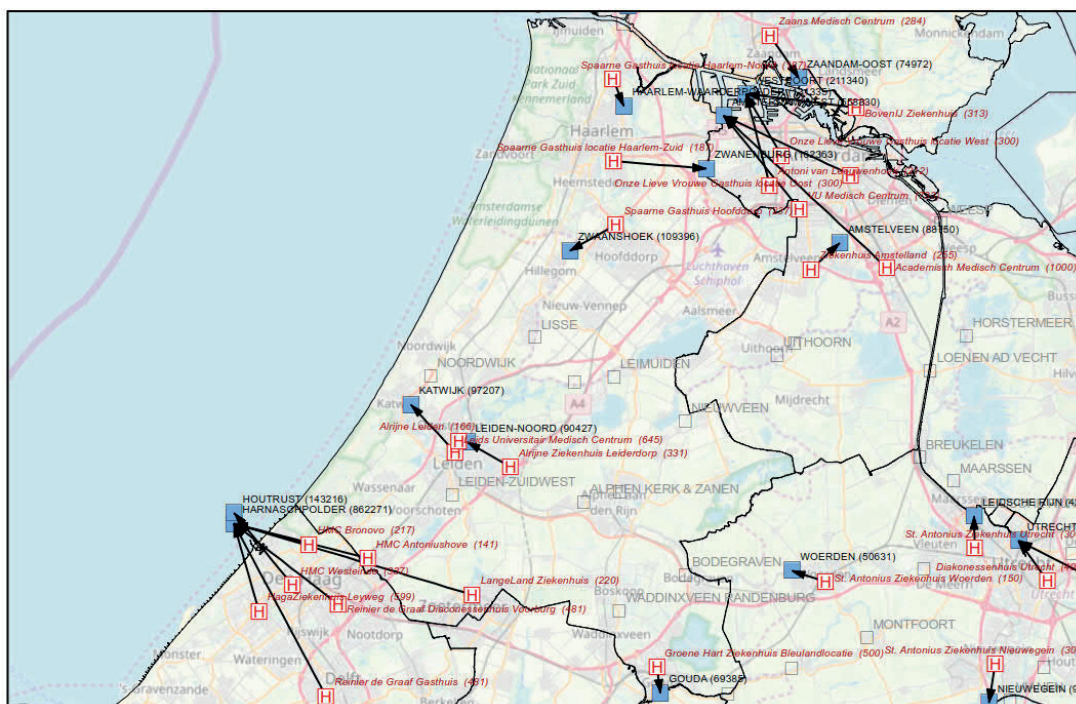


| ID | rwzi                        | INW    | BED  | X      | Y      | PERCZIEKENH  | Aantal ZH |
|----|-----------------------------|--------|------|--------|--------|--------------|-----------|
| 50 | AARLE RIXTEL                | 161000 | 500  | 174000 | 390800 | 3,0%         | 1         |
| 51 | DINTHER                     | 104000 | 320  | 164800 | 405300 | 3,0%         | 1         |
| 52 | HENGEL                      | 122358 | 370  | 249260 | 477880 | 2,9%         | 1         |
| 53 | WOERDEN                     | 50631  | 150  | 118500 | 455600 | 2,9%         | 1         |
| 54 | ASSEN                       | 85123  | 251  | 234800 | 557800 | 2,9%         | 1         |
| 55 | AMERSFOORT                  | 204654 | 600  | 152390 | 465280 | 2,8%         | 1         |
| 56 | AMSTELVEEN                  | 88750  | 255  | 122120 | 480510 | 2,8%         | 1         |
| 57 | ZUTPHEN                     | 79050  | 220  | 209727 | 464325 | 2,7%         | 1         |
| 58 | WERVERSHOOF                 | 182669 | 506  | 138800 | 528100 | 2,7%         | 1         |
| 59 | HARNASCHPOLDER*             | 862271 | 2139 | 76046  | 459173 | 2,4% (1,9%)* | 6         |
| 60 | EDE                         | 194880 | 477  | 170930 | 450219 | 2,4%         | 1         |
| 61 | ROERMOND                    | 120025 | 290  | 197215 | 358478 | 2,4%         | 1         |
| 62 | HOUTRUST                    | 143216 | 337  | 76046  | 460000 | 2,3%         | 1         |
| 63 | DEN HELDER                  | 75963  | 171  | 114710 | 549200 | 2,2%         | 1         |
| 64 | LAND VAN CUIJK (HAPS)       | 91000  | 200  | 190000 | 411800 | 2,2%         | 1         |
| 65 | ZWAANSHOEK                  | 109396 | 237  | 101582 | 479923 | 2,1%         | 1         |
| 66 | APELDOORN                   | 174756 | 371  | 204512 | 476756 | 2,1%         | 1         |
| 67 | HARDERWIJK                  | 165000 | 340  | 171499 | 485626 | 2,0%         | 1         |
| 68 | ALMERE                      | 190078 | 389  | 145340 | 490170 | 2,0%         | 1         |
| 69 | VENLO                       | 195833 | 395  | 208939 | 377405 | 2,0%         | 1         |
| 70 | LELYSTAD                    | 78316  | 140  | 157310 | 501660 | 1,8%         | 1         |
| 71 | MEPPEL                      | 57213  | 100  | 209300 | 525000 | 1,7%         | 1         |
| 72 | GROOTE LUCHT (VLAARDINGEN)  | 206834 | 360  | 80400  | 434900 | 1,7%         | 1         |
| 73 | ZEIST                       | 61641  | 100  | 143020 | 455390 | 1,6%         | 1         |
| 74 | SPIJKENISSE-ALLEMANSPOEDER  | 74686  | 120  | 84632  | 428833 | 1,6%         | 1         |
| 75 | HOENSBROEK                  | 262823 | 421  | 192140 | 325010 | 1,6%         | 1         |
| 76 | BEVERWIJK                   | 176117 | 275  | 105990 | 498533 | 1,5%         | 1         |
| 77 | HAARLEM-WAARDERPOLDER       | 131335 | 187  | 105690 | 490925 | 1,4%         | 1         |
| 78 | ZWANENBURG                  | 162363 | 187  | 111975 | 486175 | 1,1%         | 1         |
| 79 | DONGEMOND (OOSTERHOUT)      | 88710  | 100  | 117675 | 409670 | 1,1%         | 1         |
| 80 | NOORDOOSTPOLDER (TOLLEBEEK) | 52820  | 50   | 175600 | 521600 | 0,9%         | 1         |
| 81 | ZWIJNDRECHT                 | 108410 | 100  | 99315  | 424806 | 0,9%         | 1         |
| 82 | WAALWIJK                    | 29205  | 24   | 132800 | 414000 | 0,8%         | 1         |
| 83 | VENRAY                      | 57894  | 30   | 196833 | 396039 | 0,5%         | 1         |
| 84 | WALCHEREN                   | 114280 | 50   | 31920  | 385355 | 0,4%         | 1         |

\*Pharmafilter aanwezig, percentages met (tussen haakjes) en zonder pharmafilter aangegeven





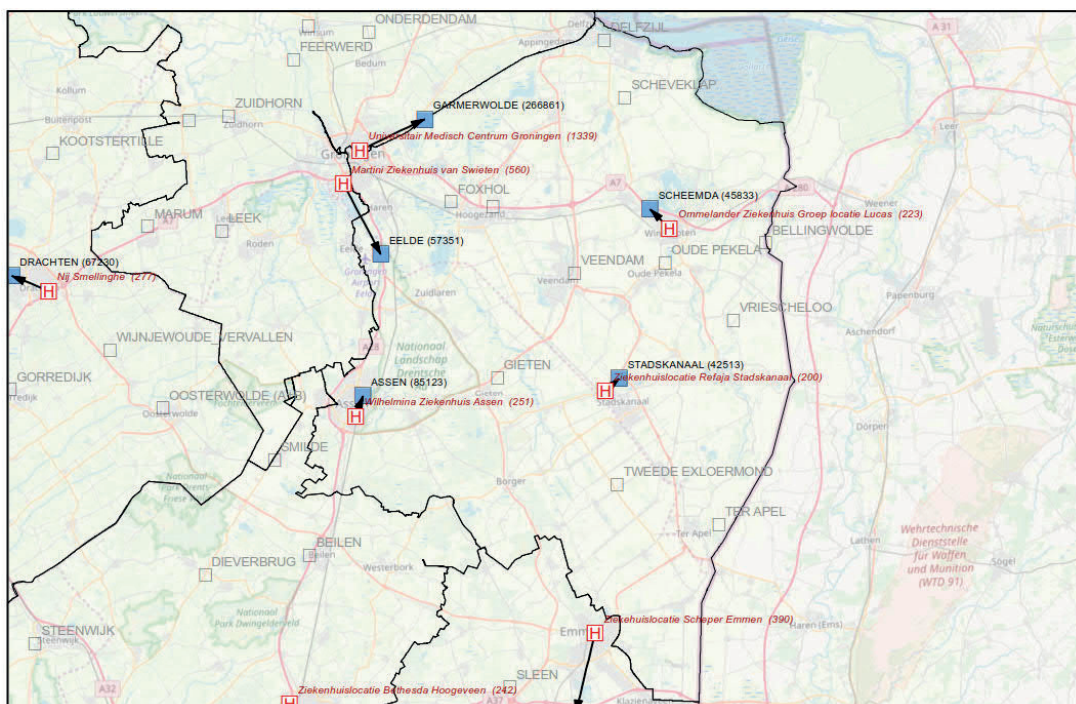








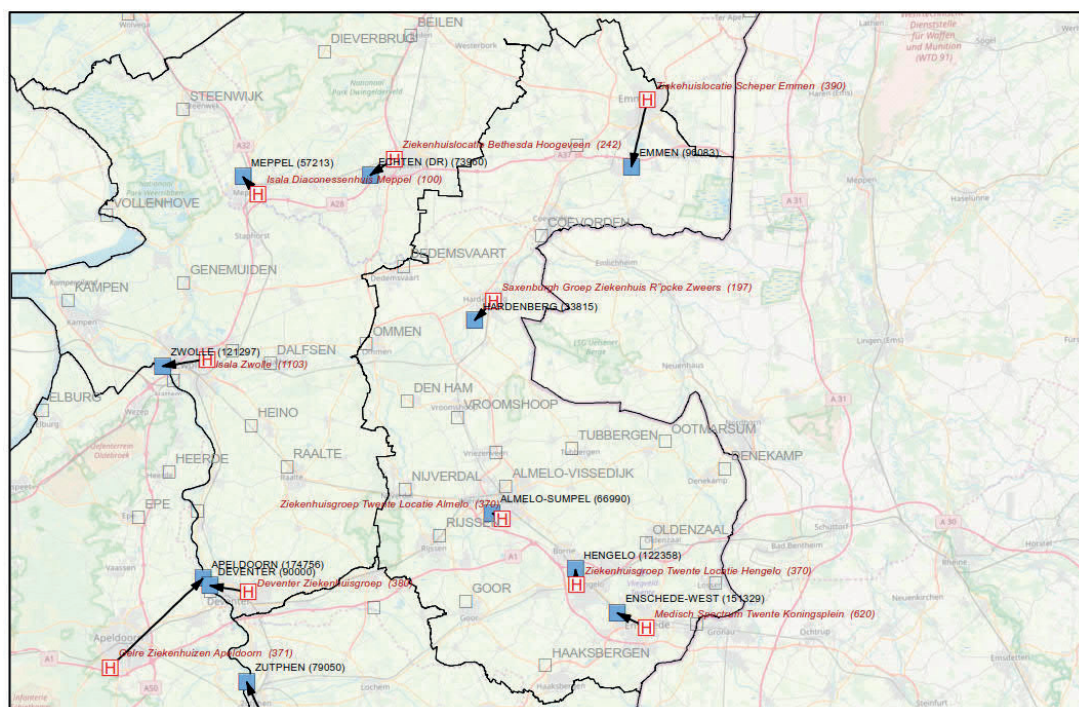
## Waterschap Hunze en Aa's



## Waterschap Noorderzijlvest

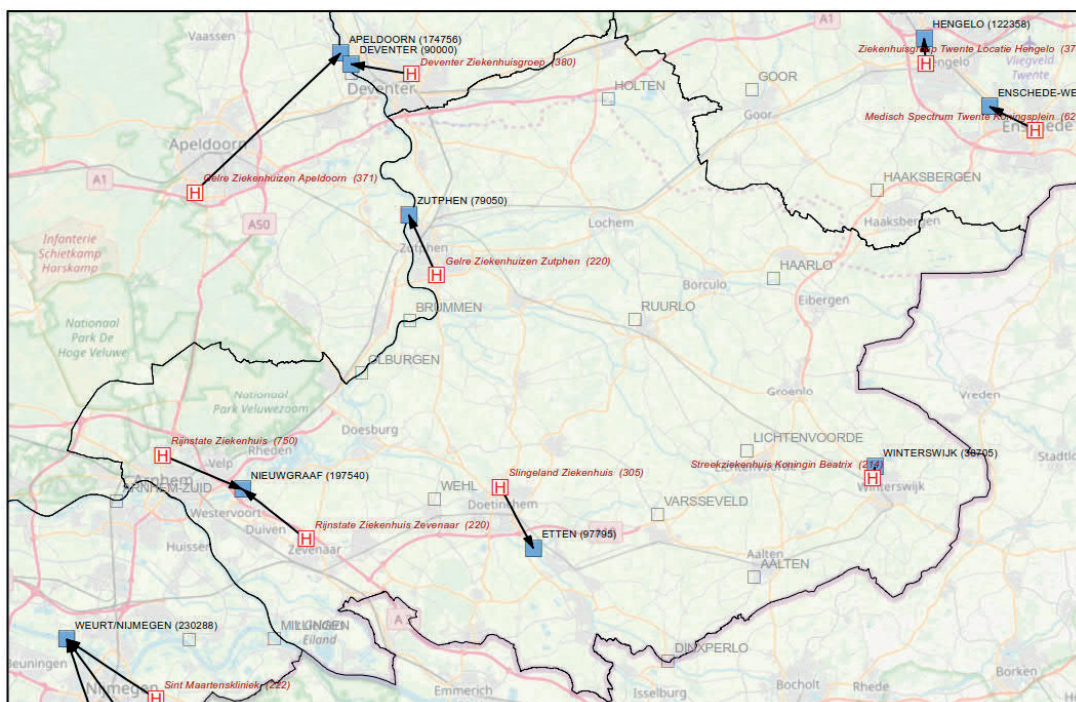




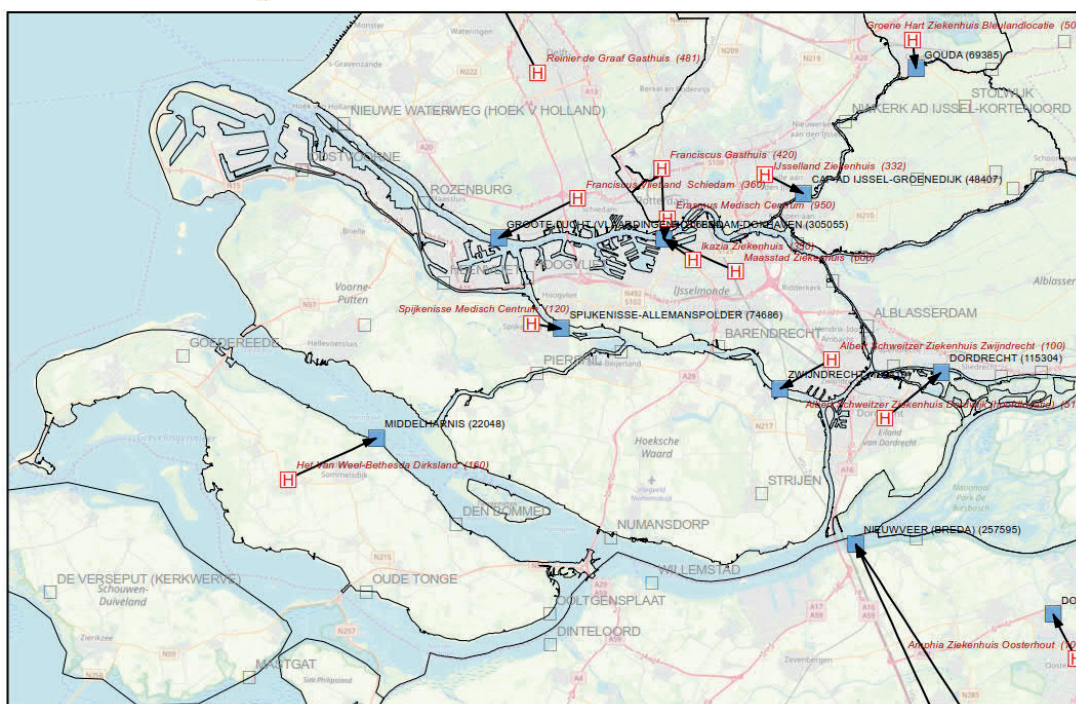




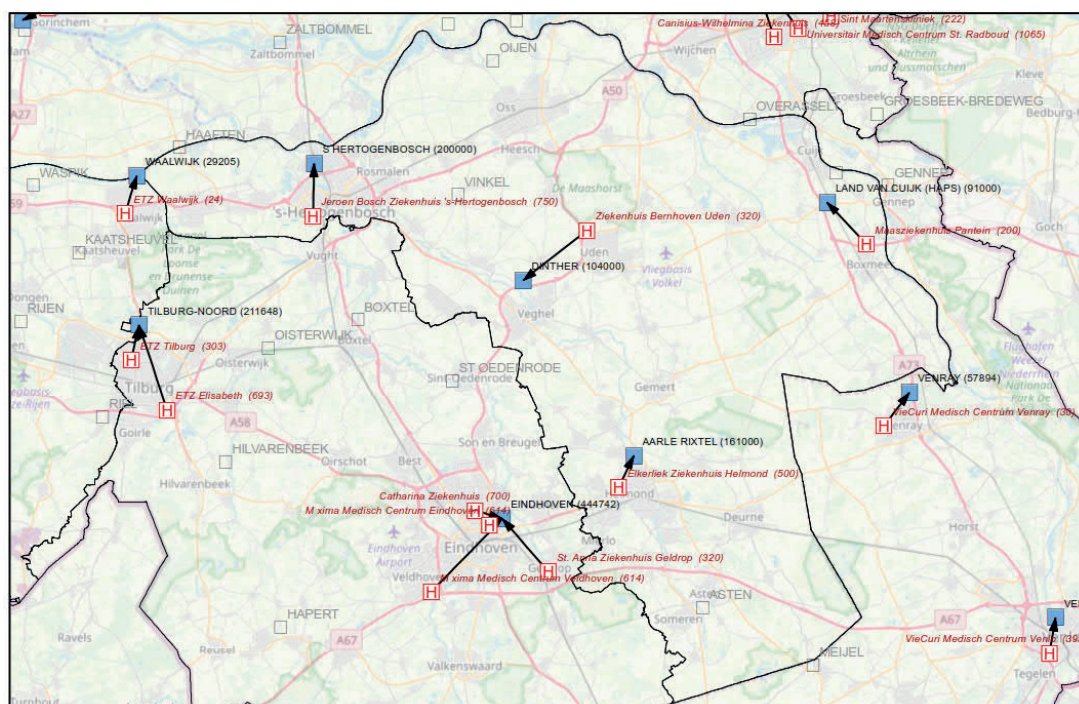
## Waterschap Rijn en IJssel



## Waterschap Hollandse Delta

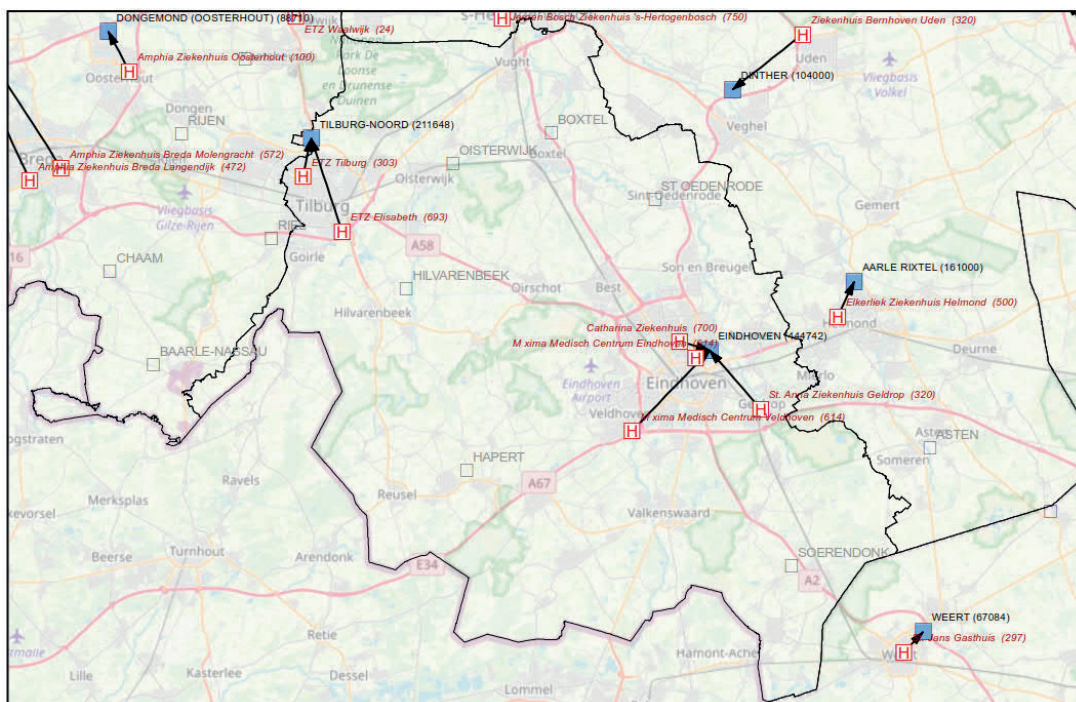








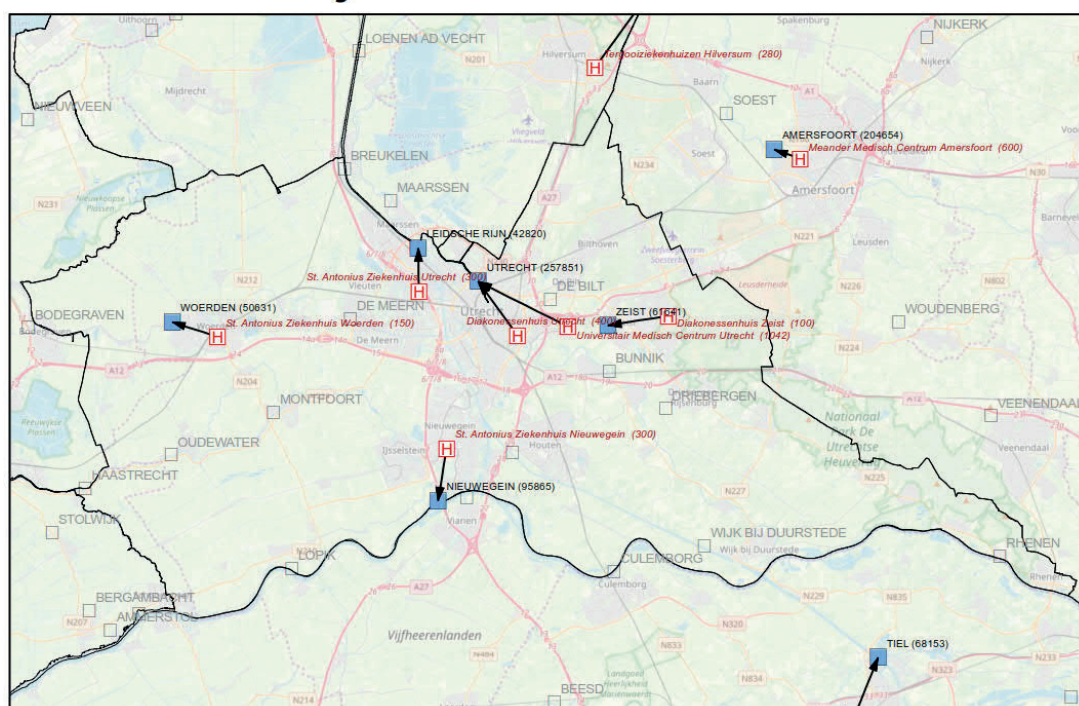
## Waterschap De Dommel



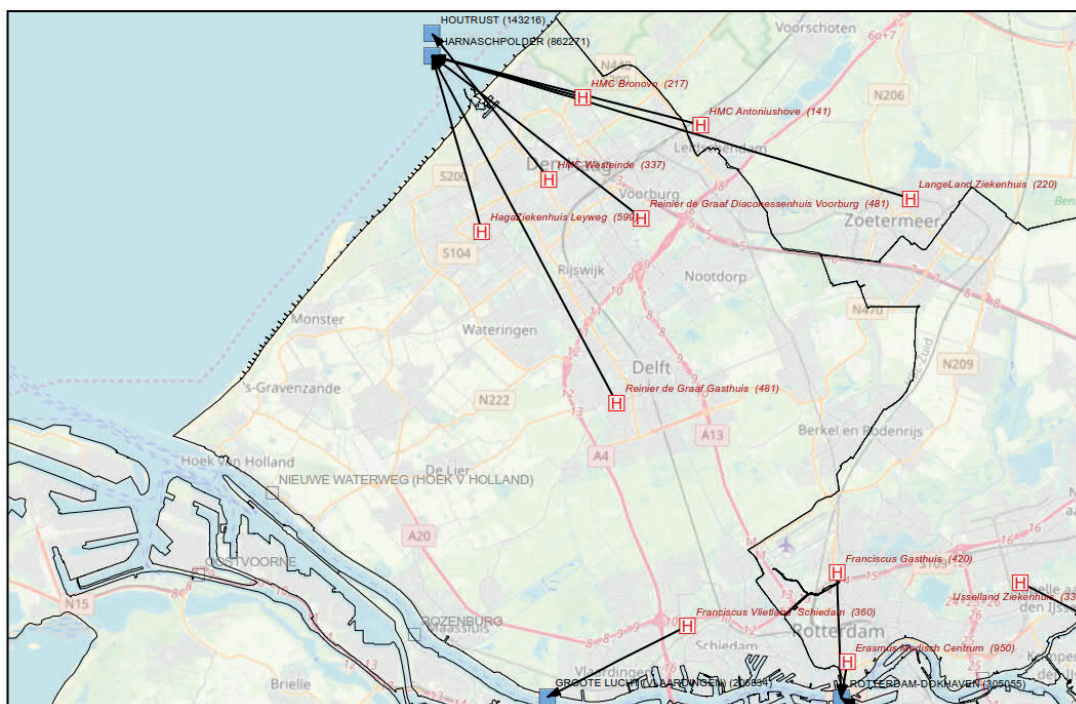
## Waterschap Scheldestromen



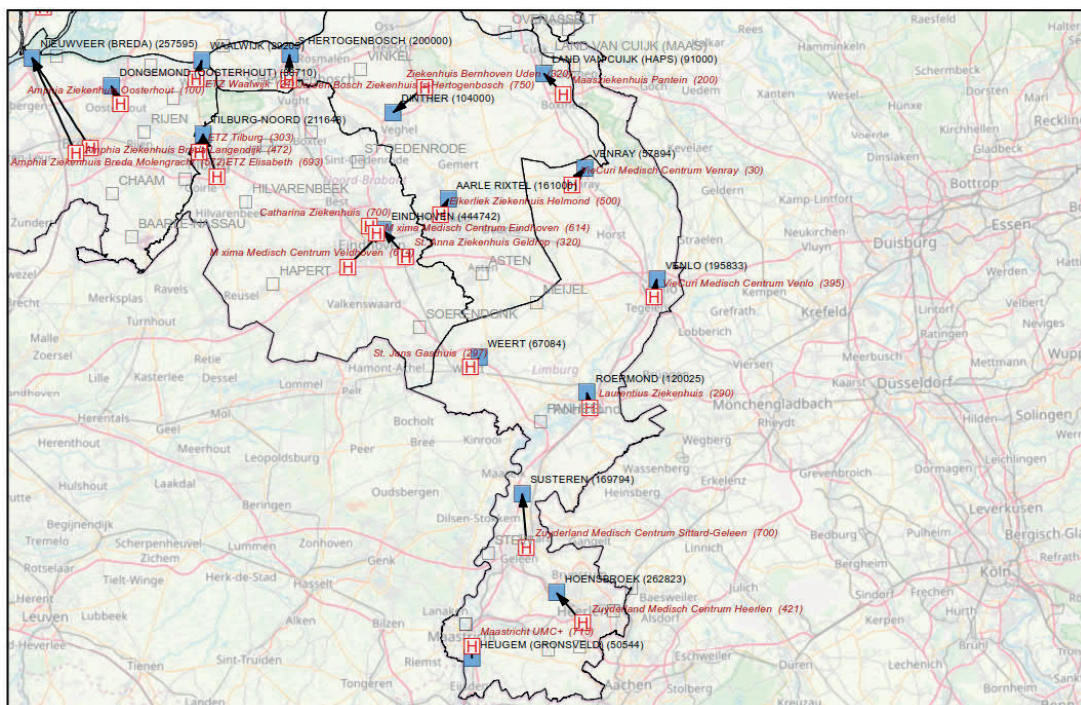
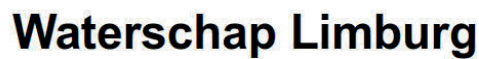












## BIJLAGE 2

# UITWERKING VAN DE KRITISCHE FACTOREN OVERSTORTINGEN

## B2.1 KWANTIFICERING BELANG ZIEKENHUISAFVALWATER IN OVERSTORTEN

Om de bijdrage van ziekenhuisafvalwater in te schatten is ervoor gekozen deze te kwantificeren ten opzichte van een referentie-overstort (een gemiddelde overstort in stedelijke gebieden), zonder ziekenhuisafvalwater. De relatieve invloed blijkt afhankelijk van het rioolstelseltype, het aantal ziekenhuisbedden, de berging in het rioolstelsel, de grootte van het rioleringsgebied en de positie van de overstorten. Let op: de kenmerken van het ontvangende oppervlaktewater zijn hierin nog niet meegenomen en komen aan bod in hoofdstuk 5.

De formule die kan dienen om op basis van kentallen een indicatie van de relatieve invloed te bepalen luidt als volgt:

$$\text{RELATIEVE INVLOED} = \text{STELSELTYP} * \text{ZH-BEDDEN} * \text{BERGING} * \text{MENING} * \text{POSITIE}$$

De relatieve invloed die wordt berekend voor een specifieke overstort nabij een ziekenhuis geeft aan hoeveel keer meer of minder medicijnresten er vrijkomen door overstorting ten opzichte van een gemiddelde overstort in een woonwijk. Komt daar bijvoorbeeld een factor 2 uit en zijn er 20 overstorten op het zelfde waterlichaam aanwezig, dan is direct duidelijk dat de lozing relatief onbeduidend is. Andere overstorten (in woonwijken) kunnen dan net zo belangrijk worden als zij op ongunstiger plaatsen in het stedelijk watersysteem overstorten.

Als een overstort 20 keer belangrijker is dan een referentie-overstort, dan kan de overstort een relatief erg belangrijke bron zijn. Een beoordeling van het lokale risico op het betreffende lozingspunt kan dan al het benodigde inzicht geven in de eventuele noodzaak voor maatregelen.

## B2.2 HET STELSELTYP: HET RISICO IS ALLEEN AANWEZIG BIJ GEMENGDE RIOOLSTELSELS

Het stelseltype is bepalend of overstortwater überhaupt ziekenhuisafvalwater kan bevatten. Informatie over het type stelsel dient bij de gemeente te worden opgevraagd.

Indien sprake is van een gescheiden stelsel zal al het ziekenhuisafvalwater de rwzi bereiken en geldt de score 0. Verdere berekeningen zijn dan overbodig. Dit kan ook voorkomen mocht een ziekenhuis zich zeer dicht bij een rwzi bevinden waarbij geen overstort meer aanwezig is.

| STELSELTYP | SCORE |
|------------|-------|
| gescheiden | 0     |
| gemengd    | 1     |



### B2.3 DE GROOTTE VAN HET ZIEKENHUIS

Voor ziekenhuizen met meer dan 500 bedden mag worden verwacht dat deze dichtbij een eigen riooloverstort hebben. Op basis van een visuele analyse heeft een ziekenhuis van 500 bedden namelijk 7 ha aan verhardingsoppervlak, hetgeen overeenkomt met het landelijke gemiddelde verhardingsoppervlak dat op één riooloverstort is aangesloten. De vracht aan medicijnresten is in dat geval circa 7 maal groter dan in een gemiddelde woonwijk met ruim 700 inwoners (500 bedden \* 10 keer hogere vracht per bed = 5000 inwonerequivalenten). Bij zeer grote ziekenhuizen kan sprake zijn van meerdere overstorten of een bovengemiddeld grote overstort. Kleine ziekenhuizen zullen doorgaans samen met woningen bijdragen aan een overstort. Een combinatie van een klein ziekenhuis van 100 bedden met woningen met 400 inwoners heeft bijvoorbeeld een ongeveer  $((100 \cdot 10) + (500 - 100)) / 700 = 2$  maal hogere emissie dan een normale woonwijk.

Een actueel overzicht van het aantal bedden van elk ziekenhuis is opgenomen in Bijlage 1. In onderstaande tabel staan de bijbehorende scores die worden aangehouden bij verschillende ziekenhuisgroottes.

| ZH-BEDDEN | SCORE |
|-----------|-------|
| 0         | 1     |
| 100       | 2     |
| 250       | 4     |
| 500       | 7     |
| 700       | 10    |
| 1000      | 14    |

### B2.4 DE BERGING IN HET RIOLERINGSSYSTEEM

De buisdiameter in een rioelstelsel wordt afgestemd op de hoeveelheid verhard oppervlak dat afvoert naar het riool waardoor een volume aan berging ontstaat. Een gemiddeld gemengd rioelstelsel (de referentie) heeft een berging van 7 mm. Het stelsel moet dus een piekbui van 7 mm zonder overstorting kunnen afvoeren. Wanneer een grote weg of grote hoeveelheid daken wordt afgekoppeld van het riool ontstaat er meer berging in het stelsel waardoor het grotere buien kan verwerken. Omgekeerd leidt een groter aangesloten oppervlak op het stelsel tot een kleinere berging en kleinere buien die niet zonder overstorting verwerkt kunnen worden.

Op basis van berekeningen met het programma 'Sobekbak' is de relatieve hoeveelheid overstortingen afgeleid ten opzichte van de referentie, als functie van de berging in stelsels. Grofweg levert een halvering van de berging een verviervoudiging op van het aantal overstortingen. Behalve dat het aantal kritische overstortingen kleiner wordt zal door vergroting van de berging in het stelsel meer menging optreden en worden concentraties lager.

| BERGING | SCORE |
|---------|-------|
| >16 mm  | 0,1   |
| 12 mm   | 0,25  |
| 10 mm   | 0,5   |
| 7 mm    | 1     |
| 5 mm    | 2     |

Informatie over de berging in het stelsel kan over het algemeen bij de gemeente worden opgevraagd.

**B2.5 DE MATE VAN MENGING VAN ZIEKENHUISAFVALWATER BINNEN HET RIOOLSTELSEL**

Bij een vuilwateraansluiting van het ziekenhuis vlakbij een riooloverstort kan geen menging en verdunning van afvalwater in het rioolstelsel zelf plaatsvinden. Uit berekeningen blijkt dat de concentratie van een overstorting dan 4 maal hoger is dan in de standaard berekening waarin ziekenhuisafvalwater in het stelsel verdunt. Al het afvalwater dat wordt geproduceerd zal overstorten. Wanneer de aansluiting verder weg is gelegen zal het afvalwater verdunnen in het stelsel waarna een deel van het water zal overstorten en een ander deel in het stelsel worden geborgen waarna dit alsnog via de rwzi wordt afgevoerd.

Informatie over de positie van de vuil- en hemelwateraansluitingen kan worden opgevraagd bij het ziekenhuis en bij de gemeente.

| STELSELMENGING | SCORE |
|----------------|-------|
| VEEL           | 1     |
| GEMIDDELD      | 2     |
| WEINIG         | 4     |

**B2.6 DE POSITIE IN HET WATERSYSTEEM**

Bij een klein rioleringsgebied met maar één overstort kan ziekenhuisafvalwater alleen dáár terecht komen. Wanneer meerdere rioleringsgebieden op de overstort zijn aangesloten op een grote overstortlocatie neemt het aandeel en het belang van ziekenhuisafvalwater snel af.

Informatie over de positie van overstorten in het stelsel kan bij de gemeente worden opgevraagd. Let op: wanneer sprake is van een 'verzameloverstort' of 'verzamelleiding' van enkele rioleringsgebieden zal het overstortdebiet wel dito groter zijn.

| POSITIE OVERSTORT IN WATERSYSTEEM             | SCORE |
|-----------------------------------------------|-------|
| Op 'verzameloverstort' groot rioleringsgebied | 0,25  |
| Op verzamelleiding met meerdere gebieden      | 0,5   |
| Niet gemengd met andere rioleringsgebieden    | 1     |

**B2.7 VOORBEELD 1: BEREKENING MEDISCH CENTRUM ALKMAAR**

Als eerste voorbeeld van de berekening bij een ziekenhuis, is het Medisch Centrum Alkmaar genomen. In de onderstaande figuur 4.1 is de rioleringssituatie weergegeven rondom het ziekenhuis (gele cirkel) en de positie van de dichtstbijzijnde riooloverstort, weergegeven met de gele pijl.

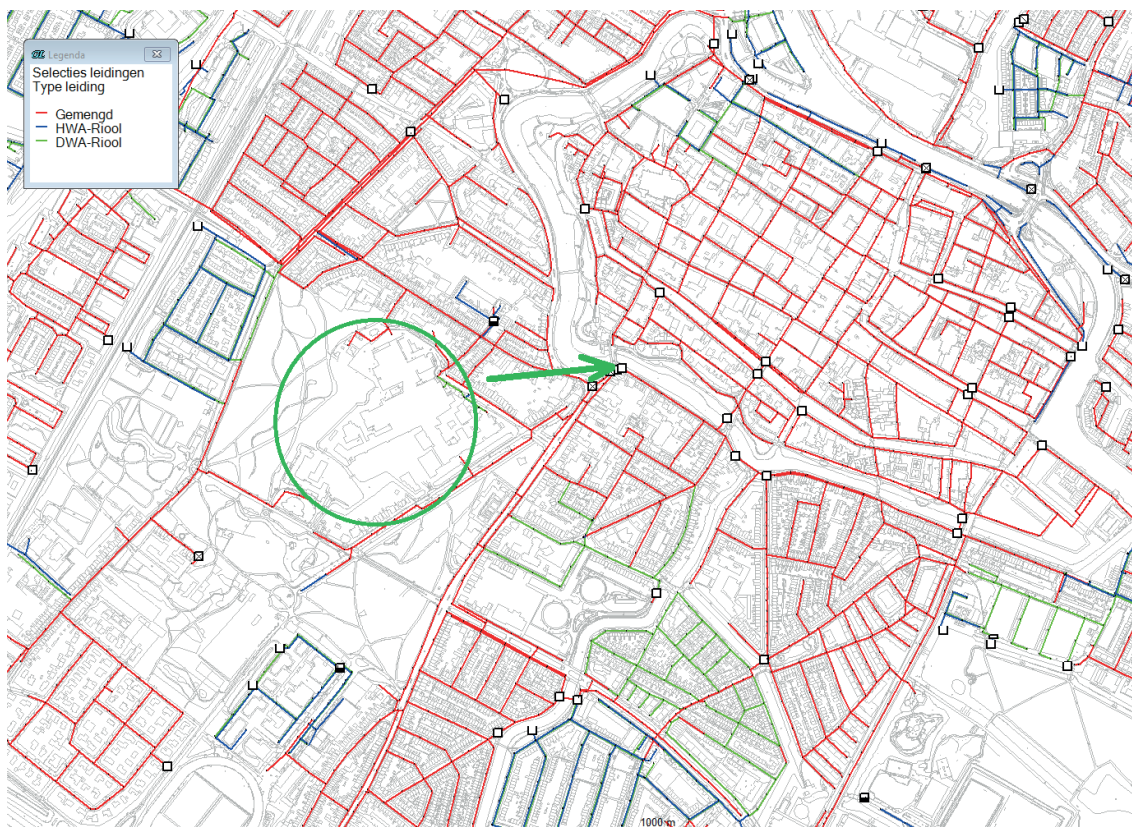
Voor het berekenen van de totaalscore zijn de volgende kentallen gehanteerd:

- Stelseltype: gemengd 1
- Bedden: 671 10
- Berging: 10 mm 0,5
- Stelselmenging: 2
- Positie overstort: verzamelriool 0,5

De vermenigvuldiging van alle individuele scores leidt tot een totaalscore 5. Dat wil zeggen dat op de overstort van het verzamelriool naar verwachting een 5 maal hogere vracht medicijnresten wordt geloosd ten opzichte van een referentie-overstort. Gezien de positie op een verzamelriool zal het overstortvolume waarmee gerekend moet worden wel tweemaal groter moeten worden aangenomen dan in een referentie-overstort, bijvoorbeeld wanneer de invloed op ontvangend oppervlaktewater wordt berekend.

Uiteindelijk lost de riooloverstort op een groot oppervlaktewaterlichaam met een goede doorstroming. Het water wordt daardoor direct verdund en vervolgens afgevoerd tot niveaus die ruim onder het concentratieniveau liggen dat normaliter in Nederlandse oppervlaktewateren worden gevonden als gevolg van lozing van rwzi-effluent (STOWA 2017-42). De berekening daarvan is gegeven in het volgende hoofdstuk.

FIGUUR 4.1 SITUATIE MEDISCH CENTRUM ALKMAAR



## B2.8 VOORBEELD 2: BEREKENING ZIEKENHUIS ARNHEM

Een tweede voorbeeld is inzichtelijk gemaakt voor het Rijnstate Ziekenhuis in Arnhem, weergegeven in de onderstaande figuur 4.2 (groene cirkel). De riooloverstorten zijn weergegeven door middel van de rode bollen die ook direct de (emissie)grootte aangeven.

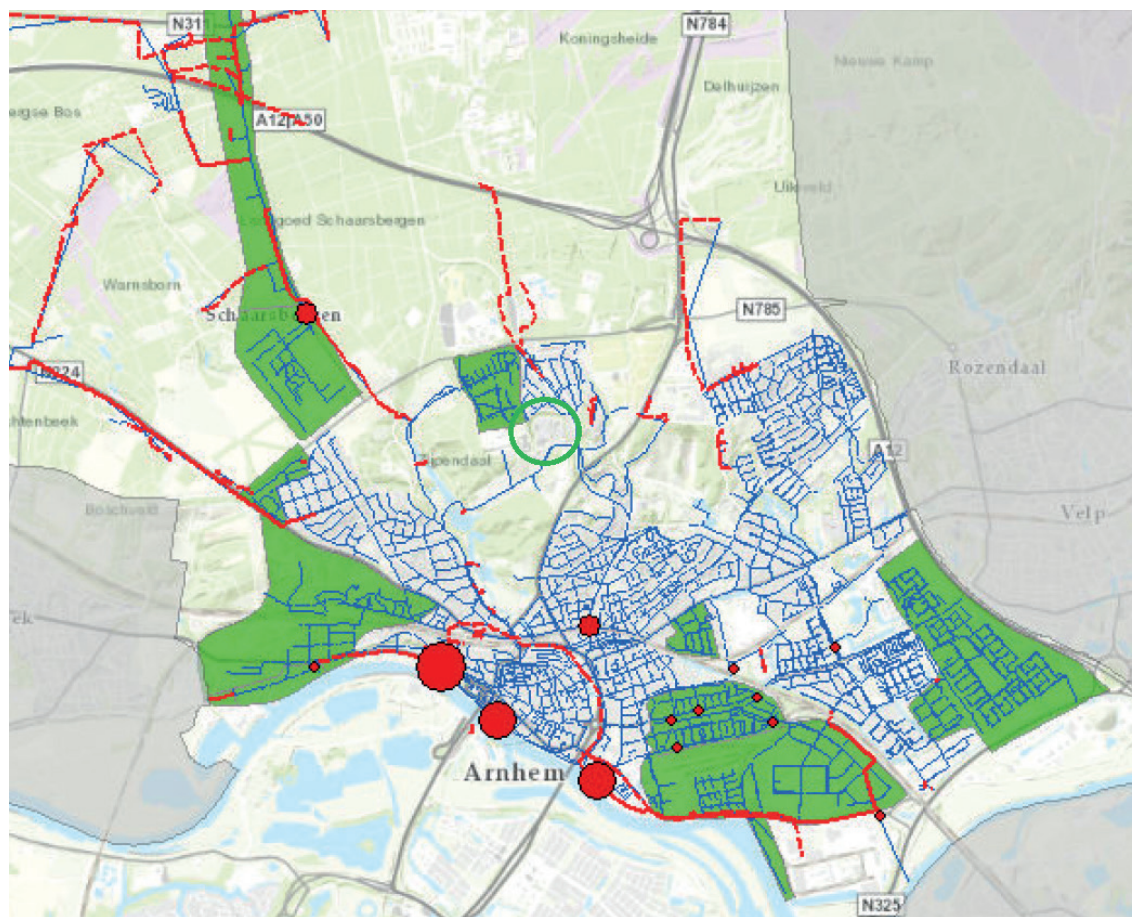
Voor het berekenen van de totaalscore zijn de volgende kentallen gehanteerd:

|                                        |      |
|----------------------------------------|------|
| • Stelseltype: gemengd                 | 1    |
| • Bedden: 750                          | 11   |
| • Berging: 7 mm                        | 1    |
| • Positie overstort: verzameloverstort | 0,25 |
| • Stelselmenging                       | 1    |

Op basis van de aspecten wordt een totaalscore berekend van 2,75. Opgemerkt wordt dat de specifieke kenmerken van het rioolstelsel niet bekend zijn (derhalve is 7 mm aangehouden), maar is het duidelijk dat een flink deel van het rioolstelsel van Arnhem via een drietal zeer grote overstortlocaties loost op de Nederrijn. De enkele malen verhoogde concentratie ten opzichte van een referentie-overstort met huishoudelijk afvalwater zal daardoor verdunnen tot onmeetbare niveaus (zie volgende hoofdstuk).



FIGUUR 4.2 SITUATIE ZIEKENHUIS RIJNSTATE ARNHEM



## B2.9 OVERZICHT KRITISCHE FACTOREN VOOR OVERSTORTING

Er zijn meerdere kritische factoren benoemd die van invloed zijn op de mogelijke hoeveelheid te lozen ziekenhuisafvalwater. Onderstaand is een overzicht van deze factoren gegeven inclusief de factoren die niet of minder van belang zijn geacht om in de hierboven gepresenteerde methode voor risico-inventarisatie op te nemen.

TABEL KRITISCHE FACTOREN RIOOLWATEROVERSTORTEN EN HUN BELANG

| Kritische factor                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Belang                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>De grootte van het ziekenhuis:</i> een groot ziekenhuis loost meer medicijnen en kan daarnaast een relatief groter aandeel van een overstort voor zijn rekening nemen of zelfs een gehele (gemiddelde) overstort, bijvoorbeeld wanneer ook sprake is van grote parkeerplaatsen en dakoppervlak (en een gemengd stelsel). | Kan meer dan factor 10 verschil uitmaken. Uitgaande van 770 inwoners/bedden op een overstort zal een klein ziekenhuis (77 bedden) een verdubbeling van de medicijnvracht opleveren (10 keer grotere vracht per bed dan per inwoner). Een groot ziekenhuis zorgt voor een vertienvoudiging. Een zeer groot ziekenhuis zal een grote overstort hebben of meerdere overstorten, met dito meer vracht. |
| <i>Berging in het rioleringsstelsel:</i> Een groot stelsel zal minder vaak en korter overstorten, maar meer water bergen. In de hier uitgevoerde verkennende berekeningen is bij overstorting de hoeveelheid afvalwater vergelijkbaar, maar treedt minder vaak overstorting op.                                             | Kan factor 16 verschil uitmaken. Een halvering van de beschikbare berging leidt tot maar liefst 4x meer (vaker) kritische overstortingen. Het verhogen van de berging van het stelsel (door afkoppelen van verhard oppervlak, door aanleg van bufferreservoirs of door vergroting van het stelsel zelf) kan een effectieve maatregel zijn om effecten te verminderen.                              |
| <i>Grootte van het bovenstroomse rioleringsgebied in relatie tot (de positie van) de riooloverstort in het waterlichaam.</i>                                                                                                                                                                                                | In een groot rioleringsgebied zijn vaak meerdere riooloverstorten of een gecombineerde overstort aanwezig op één waterlichaam: in een rioleringsgebied met één overstort zijn de relatieve concentraties aan medicijnresten vanuit een ziekenhuis hoger dan in een rioleringsgebied met daarin veel woningen en/of industrie en meerdere verspreide overstorten.                                   |

| Kritische factor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Belang                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>De positie van het ziekenhuis in het rioolstelsel:</i> een ziekenhuis aan het 'begin' van een stelsel heeft een langere leidinglengte dan wanneer dit zich dicht bij het rioolgemaal bevindt. Dit is mede bepalend voor de hoeveelheid ziekenhuisafvalwater die is geborgen in het rioolstelsel.                                                  | Kan factor 4 verschil uitmaken en is meegenomen als stelselmenging.                                                                                                           |
| <i>De positie van de overstort in het watersysteem:</i> Op zeer grote overstorten, op verzameloverstorten en op wateren waar meerdere overstorten op zijn aangesloten wordt het relatieve effect van een ziekenhuis kleiner.                                                                                                                         | Kan factor 4 verschil uitmaken. Wanneer er veel overstorten op een water zitten (verzameloverstort), wordt het ziekenhuis minder belangrijk.                                  |
| <i>Het aangesloten oppervlak:</i> Wanneer een relatief klein oppervlak is aangesloten op een overstort zal deze minder vaak overstorten. Vandaar dat verkleining van dit oppervlak (afkoppelen) ook een effectieve maatregel kan zijn om overstortingen te verminderen.                                                                              | <b>Deze factor is impliciet al beschouwd in de factor "berging in het rioleringsstelsel".</b>                                                                                 |
| <i>Tijdstip van de bui:</i> een deel van de buien valt in de nacht en waardoor tijdens een overstorting minder afvalwater wordt meegevoerd. Overdag kan dit juist zorgen voor relatief meer afvalwater richting een overstort. (Ook de weekdagen kunnen tot verschillen leiden omdat het lozingspatroon van een ziekenhuis per dag kan verschillen.) | <b>Niet relevant</b><br>Voor individuele overstortingen kan het verschil fors zijn, echter om het relatieve risico van overstorten te bepalen is deze factor niet van belang. |
| <i>Seizoensfactor:</i> aan een zomerse stortbui gaat vaak een lange periode van droogte vooraf. Dit leidt veelal tot relatief veel ophoping van slib en afvalwater. In de natte seizoenen is deze kans kleiner aangezien er meer doorspoeling plaatsvindt met (kleine) buien.                                                                        | <b>Niet relevant</b><br>Voor individuele overstortingen kan het verschil fors zijn, echter om het relatieve risico van overstorten te bepalen is deze factor niet van belang. |



## BIJLAGE 3

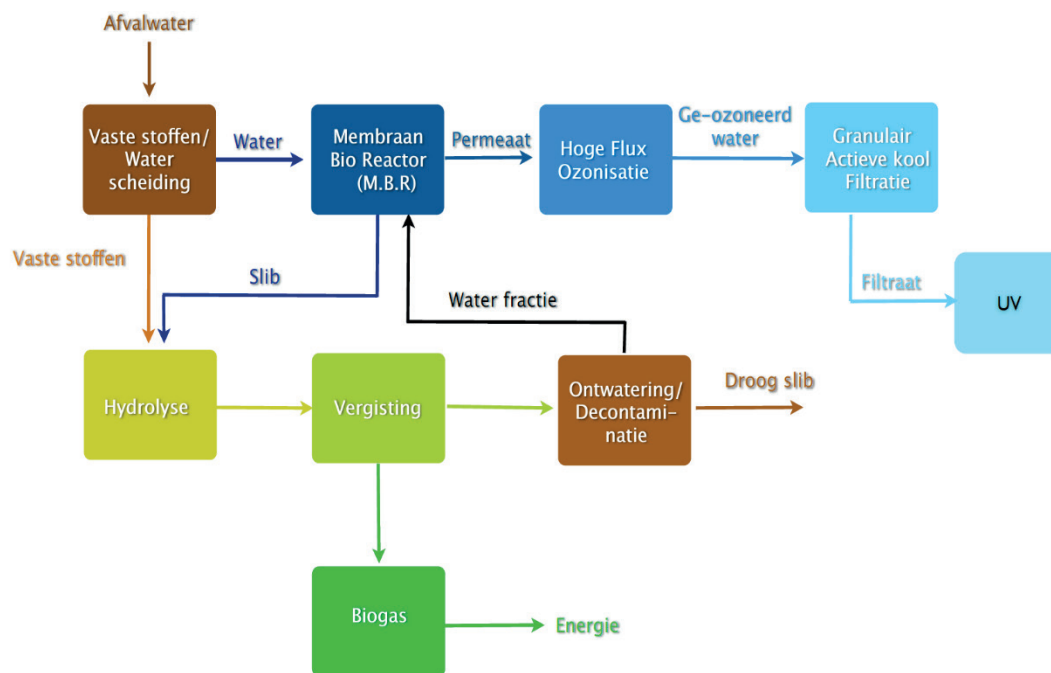
# LOKAAL ZUIVEREN VAN ZIEKENHUISAFVALWATER – HET PHARMAFILTER-SYSTEEM

Pharmafilter is een nieuwe manier van afvalverwerking dat inhoudt dat zoveel mogelijk afval van het ziekenhuis vermalen wordt en wordt afgevoerd naar een lokale verwerkingsinstallatie. Het natte gedeelte wordt gezuiverd, zodat onder meer de medicijnresten worden verwijderd en het vaste gedeelte wordt vergist waarbij biogas wordt geproduceerd. De bedoeling is om zoveel mogelijk afval te vermalen en daarvoor worden allerlei producten van afbreekbaar materiaal bedacht zoals bedpannen, urinalen, borden en bestek. Het idee is om later ook lakens en handdoeken van afbreekbaar materiaal te implementeren. Door dit systeem worden de logistieke stromen binnen een ziekenhuis fors beperkt, het werken met wegwerp-bedpannen is hygiënischer en het is ook goed voor het milieu, bijvoorbeeld doordat warm water voor het afwassen van metalen bedpannen niet meer nodig is.

De Tonto (vermaler) past op de plek van de bedpanspoeler en gebruikt dezelfde aansluitingen, zoals water, elektriciteit en riolering. Voor communicatiedoelinden is een internetaansluiting (Vast of Wifi) noodzakelijk. Elk rioleringsysteem dat aan het bouwbesluit voldoet (minimale diameter van 110 mm, volledig op afschot van minimaal 1:200 aangelegd en zonder haakse bochten) kan zonder aanpassingen worden geïntegreerd in het Pharmafilter-systeem. Een groot deel van het afval van een ziekenhuis kan in de Tonto worden verwerkt, in het bijzonder specifiek ziekenhuisafval, etensresten, (bio-)kunststoffen en restafval van de patiëntenkamers. Via de interne riolering komt dit afval in de Pharmafilterinstallatie waar de vloeibare en vaste stoffen worden gescheiden. In een bioreactor verwijdert actief slib zware metalen, stikstof en fosfaat uit de vloeibare substantie. Vervolgens filtreren (ultrafiltratie) membranen de bacteriën en virussen uit het water, waarna microverontreinigingen worden geoxideerd door middel van ozonisatie. Als laatste stap filtert actiefkool de sporen van medicijnen, röntgencontrastmiddelen en hormoon-verstorende-stoffen weg. Het gezuiverde water wordt over een UV-unit geleid ten behoeve van hergebruik als huishoudwater (bijv. voor wc-spoelingen) in het ziekenhuis. De vaste stoffen worden vergist waarbij biogas wordt gevormd waarmee elektriciteit en warmte geproduceerd wordt, zie figuur B3.1<sup>25</sup>.

Het Pharmafiltersysteem bestaat aldus uit een afvalwaterzuiveringsinstallatie en afvalvermalers die via het interne rioolstelsel aan elkaar gekoppeld zijn. Er bestaat ook de mogelijkheid om alleen het gedeelte afvalwaterzuivering van de Pharmafilterinstallatie te installeren. Dit is interessant voor een ziekenhuis dat maatregelen wil treffen om de impact van medisch handelen op het watermilieu en de gezondheidsrisico's wil verminderen.

FIGUUR B3.1 PROCESSCHEMA PHARMAFILTER-INSTALLATIE



### RESULTATEN GEREALISEERDE PHARMAFILTER-INSTALLATIES IN NL

De Pharmafilter-installatie is in de praktijk beproefd en levert de verwachte resultaten op, de nutriënten (macroparameters: CZV, BZV en NKj-N) worden voor meer dan 99% verwijderd. Stikstof en fosfor (N- en P-totaal) worden op biologische wijze verwijderd tot meer dan 75%, chemische doseringen die dit percentage verhogen zullen moeten worden afgewogen tegen de daarmee gepaard gaande chemische verbruikskosten en de gewenste hergebruik- en lozingsroute van het gezuiverde water. Van de circa 100 in het influent meetbare medicijnen zijn na het doorlopen van de zuiveringsstappen geen sporen meer waarneembaar in het effluent. Dit geldt ook voor brandvertragers, hormoon-verstorende-stoffen en röntgencontrastvloei-stoffen<sup>26</sup>. De kwaliteit van het effluent is zeer goed op basis van de gemeten parameters, weergegeven in tabel B3.1.

TABEL B3.1 DE RESULTATEN VAN HET PHARMAFILTER IN DE PRAKTIJK IN VERGELIJKING MET DE DOELSTELLING VAN DE PROJECTPARTNERS BIJ DE AANVRAAG VAN HET PHARMAFILTER IN HET REINIER DE GRAAF ZIEKENHUIS IN 2012 (TABEL IS OVERGENOMEN UIT HET 'LIFE' REPORT WAT HET PHARMAFILTER EVALUEERT VAN 2009-2012)

| Parameter                          | Doelstelling                            | Praktijkresultaat      |
|------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| Afname hoeveelheid organisch afval | 80%                                     | Tot 100% mogelijk      |
| Afname specifiek ziekenhuisafval   | 70%                                     | Tot 100% mogelijk      |
| Omzetting afval in biogas          | 20.000 m <sup>3</sup> uit 100 ton afval | In principe mogelijk   |
| Hormoon-verstorende-stoffen        | 80%                                     | >99,9%                 |
| Medicijnresten                     | 80%                                     | >99,9%                 |
| Ziektekiemen                       | Volledige verwijdering                  | Volledige verwijdering |

In 2015 is in Delft het nieuwe ziekenhuis geopend dat volledig is aangesloten op het Pharmafilter systeem en waarvoor een nieuwe waterzuivering van Pharmafilter is gebouwd ter vervanging van de pilot-installatie. Met de ingebruikname van de nieuwe Pharmafilterinstallatie zijn diverse technische verbeteringen doorgevoerd.

De Pharmafilterinstallatie is modulair opgebouwd en schaalbaar, afhankelijk van de omvang van het ziekenhuis. De kleinste zuivering is geschikt voor de verwerking van maximaal 10 m<sup>3</sup> afvalwater per uur. De investering in deze variant bedraagt circa 3 miljoen euro. Ziekenhuizen kunnen de installatie echter ook as-a-service realiseren, zij betalen dan voor het gebruik (als 'dienst') op basis van een langjarig dienst-overeenkomst.

Ziekenhuizen kunnen de investering in de noodzakelijke afvalwaterzuivering deels of geheel terugverdienen, vanwege besparingen op:

- afvalwater- en rioolheffing;
- afvallogistiek, afvalinzameling en afvalverwerking;
- drinkwater, a.g.v. hergebruik;
- de kosten van ziekenhuisinfecties, met de introductie van een veiliger bedpan- en urinaal-proces.

#### **MOTIEVEN VOOR EEN PHARMAFILTERINSTALLATIE**

Het doel van het Pharmafilter-systeem is een schoner milieu, meer hygiëne, snellere zorg, minder ziekenhuisafval en lagere kosten. Volgens de ontwikkelaars van het Pharmafilter-systeem levert het systeem besparingen en milieuvoordelen op.

Het leidmotief wordt steeds duidelijker. Maatschappelijke en wetenschappelijke zorgen over de waterkwaliteit nemen toe en Europese richtlijnen op dit gebied zijn in de maak. Zorginstellingen willen en kunnen verantwoordelijkheid nemen voor het verminderen van de problematiek rond medicijnresten, contrastmiddelen en multiresistente micro-organismen, waarvoor het onwenselijk is dat deze in afvalwater en daarmee in het milieu terecht komen. Hiervoor zijn maatregelen aan de bron (bij het ziekenhuis) nodig, omdat bestaande rwzi's niet (voldoende) in staat zijn om deze verontreinigingen te verwijderen. Daarbij zou het Pharmafiltersysteem ziekenhuizen een mogelijkheid kunnen bieden om de meerkosten van afvalwaterzuivering deels of geheel terug te verdienen. Dit zou de investeringsbeslissing kunnen vereenvoudigen. Specifiek voor het Reinier de Graaf ziekenhuis in Delft zijn de kostenbesparingen gelegen in:

- 100% minder waterschapsbelasting,
- 555.000 liter warm water minder per jaar,
- 50% minder afvalkosten,
- 50.000 minder liftbewegingen,
- Minder vrachtwagentransport van 3 (pers-)containers per week.

## BIJLAGE 4

# OVERWEGINGEN IN ZWITSERLAND EN DUITSLAND

In Zwitserland en in Duitsland kiest de politiek voor een aanpak van medicijnresten bij zuiveringsinstallaties, omdat bij bronmaatregelen bij ziekenhuizen niet alle microverontreinigingen worden aangepakt. Daarnaast wordt de doorlooptijd van een eventuele bronaanpak te lang bevonden. Meerdere deelstaten in Duitsland en het Zwitserse rijk investeren dan ook in studies en maatregelen bij rwzi's<sup>27</sup>.

Het Zwitserse parlement heeft op 21 maart 2014 ingestemd met een wijziging van de Wet inzake waterbescherming en daarmee de basis gelegd voor de uitrusting van een selectie van rwzi's met een extra zuiveringsstap ten behoeve van de verwijdering van microverontreinigingen. De maatregelen worden genomen waar ze het meest dringend zijn en het meest opleveren voor de waterbescherming. De uitbreiding van rwzi's wordt tot eind 2040 gefinancierd uit fondsen. In 2017 hadden drie installaties al de noodzakelijke zuiveringsstap geïnstalleerd en worden de microverontreinigingen met 80% gereduceerd<sup>28,29</sup>.

In 2017 is in Duitsland een 'policy paper' uitgebracht waarin een breed verbond van vertegenwoordigers van de industrie, het maatschappelijk middenveld, waterbeheerders en de deelstaten zich uitspreekt om microverontreinigingen in het water te gaan reduceren. In dit paper staat beschreven dat de emissie van microverontreinigingen bij de productie moet worden gereduceerd en dat er een uniform, landelijk oriëntatiekader voor de behandeling van deze stoffen in rwzi's moet worden opgezet.

In Duitsland worden maatregelen getroffen voor röntgencontrastmiddelen door middel van pilot onderzoeken bij ziekenhuizen en radiologische centra. In deze pilotonderzoeken wordt de toepassing van urinezakjes geanalyseerd. Deze moeten de emissie van röntgencontrastmiddelen voorkomen<sup>30,31</sup>.

In Zwitserland en Duitsland is er veel labonderzoek en kleinschalig en grootschalig onderzoek uitgevoerd voordat de full-scale installaties zijn gebouwd. De onderzoeken op lab- en pilotschaal hebben er toe geleid dat alleen de technieken ozonisatie en actiefkool adsorptie verder zijn onderzocht. Andere technieken waren niet concurrerend genoeg vanwege behaalde verwijderingsrendementen in combinatie met eenvoud van bedrijfsvoering en kosten. Tot 2015 waren in Duitsland 17 rwzi's uitgebreid met een full-scale nabehandeling ten behoeve van de verwijdering van microverontreinigingen. Technieken die hier werden gebruikt zijn ozonisatie en actiefkool adsorptie door middel van poederkool dosering of granulair kool filtratie<sup>32</sup>. Dezelfde technieken als hiervoor beschreven zijn ook onderdeel van het Pharmafilter-concept (zie ook bijlage 3).

27 <https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/uba-issues-recommendations-to-fight-micropollutants>

28 Microverontreinigingen in het Rijnstroomgebied Balans 2017, rapport nr 246

29 [http://www.water2020.eu/sites/default/files/keynote\\_adriano\\_joss\\_eawag\\_switzerland.pdf](http://www.water2020.eu/sites/default/files/keynote_adriano_joss_eawag_switzerland.pdf)

30 <https://www.minder-rkm.de/minder-de/index.php>

31 Microverontreinigingen in het Rijnstroomgebied Balans 2017, rapport nr 246

32 Stowa 2015-27