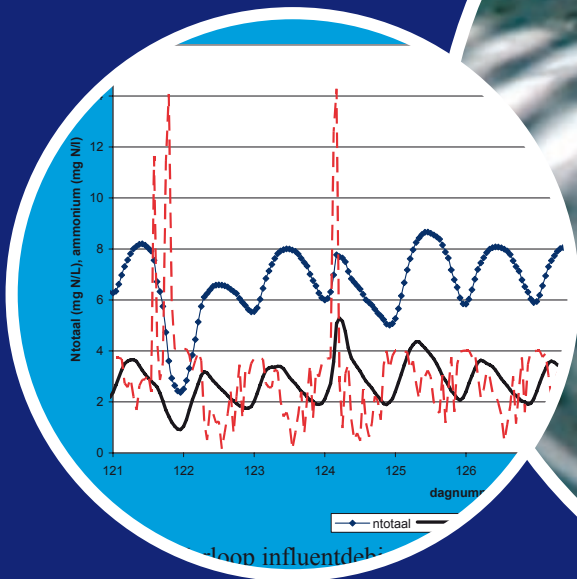
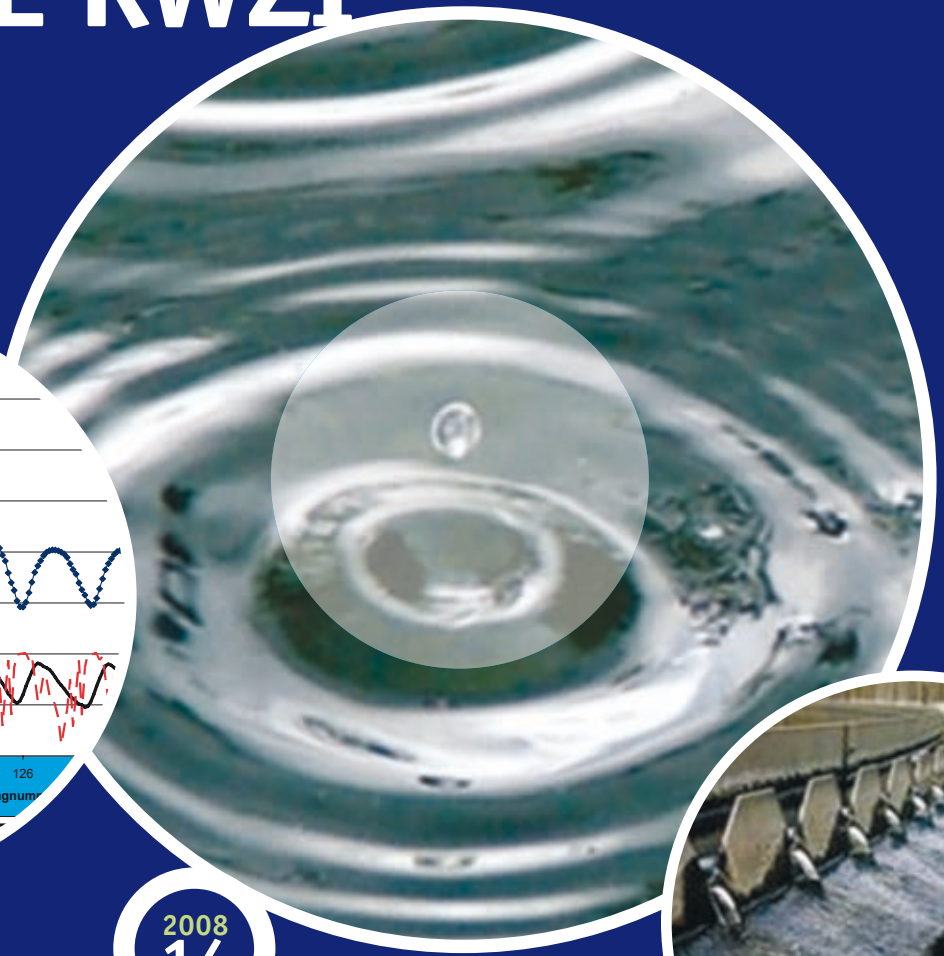


HET EFFECT VAN AFKOPPELEN VAN HEMELWATER OP DE RWZI



RAPPORT

2008
14

HET EFFECT VAN AFKOPPELEN VAN HEMELWATER OP DE RWZI
EEN EERSTE EVALUATIE VAN HET EFFECT OP DE RWZI
VAN MAATREGELEN IN DE RIOLERING

RAPPORT

2008

14

ISBN 978.90.5773.414.4



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE STOWA, Utrecht 2008

AUTEURS

Bert Geraats
Jeroen Langeveld

PROJECTUITVOERING

Bert Geraats	Grontmij
Erwin Koetse	Grontmij
Annette Buunen	Grontmij
Jeroen Langeveld	Haskoning
Martijn van Leusden	Haskoning
Wim Wiegant	Haskoning

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

A.J. Palsma	Stowa
A.S. Beenen	Rioned
H. de Heer	Waterdienst
D. Goedbloed	Gemeente Rotterdam
H.M. van Veldhuizen	Waterschap Groot Salland (thans Waterschap Vallei & Eem)
J.O.J. Duin	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (thans Waterschap Hollandse Delta)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2008-14
ISBN 978.90.5773.414.4

TEN GELEIDE

Op veel plaatsen in Nederland is afkoppelen van hemelwater “staand” beleid. De argumentatie hierbij is dat afkoppelen van hemelwater een positief effect heeft op het vasthouden van (hemel)water, het voorkómen van overstortingen en een positief effect heeft op het functioneren van de RWZI. Voor dat laatste argument wordt in deze studie een onderbouwing gezocht: “Hebben maatregelen in de riolering, zoals afkoppelen van hemelwater een effect op de werking van de RWZI.”

Naast afkoppelen van hemelwater is ook de rol van in persleidingen, sturing en rioolvreemd water onderzocht.

Dit rapport biedt een eerste inzicht in de effecten, berekend aan de hand van een model-situatie. Effecten lijken wel degelijk aanwezig. De resultaten voor vrachten (daling) en concentraties (geen verandering of lichte stijging) zijn logisch maar niet altijd handig inpasbaar in alle segmenten van het huidige beleid.

Wij hopen dat dit rapport bijdraagt aan de verdere onderbouwing van de beleidsvorming rond maatregelen in de riolering en bevelen dit rapport van harte bij u aan.

Utrecht, januari 2009

de directeur van de STOWA
Ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

1 INLEIDING

De studie 'Het effect van afkoppelen van hemelwater op de rwzi' is gericht op de vraag in hoeverre het functioneren van een rwzi wordt beïnvloed door het aanvoerpatroon en door wijzigingen in dit aanvoerpatroon door afkoppelen of het reduceren van rioolvreemd water. In Nederland wordt veelvuldig hemelwater van het gemengde stelsel afgekoppeld. Het effect op de rwzi is vooralsnog niet eenduidig onderbouwd. Deze studie besteedt hier aandacht aan.

Uit eerdere studies is duidelijk geworden dat variaties in aanvoervrachten en hydraulische aanvoer (dynamiek in aanvoerpatronen) van rioolstelsels en transportstelsels een groot effect hebben op de geloosde vrachten en op de verdeling van de emissie tussen overstort en rwzi. Onder welke omstandigheden maatregelen in het aanvoerstelsel effect kunnen hebben is niet algemeen bekend. Evenals de omvang van het effect op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten (overstort en rwzi) van de afvalwaterketen. Om hier meer inzicht in te verkrijgen is het van belang om:

- vast te stellen onder welke omstandigheden de dynamiek in de afvalwaterketen significant effect heeft op de lozingsvrachten uit de afvalwaterketen;
- het effect van maatregelen in het aanvoerstelsel op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten vast te stellen en daarmee de totale emissie in de afvalwaterketen in beeld te brengen.

Het identificeren van de trends in effecten op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten van de afvalwaterketen als functie van de mate waarin maatregelen worden toegepast hebben in deze studie centraal gestaan. Het ontwikkelen van een geschikte rekenmethodiek was een onderliggende doelstelling.

2 AANPAK

Voor deze studie is als referentiesysteem de gemiddelde huidige Nederlandse situatie voor het aanvoerstelsel gehanteerd. Effecten van maatregelen in het aanvoerstelsel zijn gerelateerd aan dit referentiesysteem. Het aanvoerstelsel hiervoor bestaat uit 76% gemengd riool, 6% verbeterd gescheiden riool en 18 % gescheiden riool. Voor de rwzi is een voor Nederland standaard procesconfiguratie genomen. Dit betreft een laagbelast systeem, zonder voorbezinking met een capaciteit van 100.000 i.e. met stikstofverwijdering (voordenitrificatie) en biologische fosfaatverwijdering.

Voor de volgende maatregelen zijn aanvoerpatronen opgesteld en is het effect op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten vastgesteld:

- 1 20% afkoppelen (afstromend) regenwater
- 2 50% afkoppelen (afstromend) regenwater
- 3 50% reductie rioolvreemd water
- 4 100% reductie rioolvreemd water
- 5 Afvlakking DWA
- 6 Aanwezigheid persleiding

Als belangrijkste aandachtstoffen zijn totaal stikstof (organisch, nitraat en ammonium) en zware metalen meegenomen. Voor organische microverontreinigingen is gebleken dat er te weinig gegevens betreffende de influentvrachten beschikbaar zijn voor een betrouwbare analyse.

Biologische fosfaatverwijdering is in de dynamische berekeningen van de rwzi meegenomen maar gaf echter onrealistisch lage fosfaatwaardes in alle varianten. De oorzaak en de mogelijke oplossing hiervoor verdienen nader onderzoek. Fosfaat is daarom als aandachtsstof buiten beschouwing gelaten.

3 RESULTATEN

3.1 EMISSIES DOOR DE RWZI

Afkoppelen heeft nauwelijks invloed op de stikstofconcentratie van het rwzi effluent. De stikstof effluentvracht neemt echter af met 5-15% in het bereik van de onderzochte afkoppelpercentages van 20-50%. De daling van de N-totaal vracht verloopt vrijwel evenredig met de daling van het influentvolume.

Reductie van de hoeveelheid rioolvreemd water leidt tot een sterke verhoging van de N-totaal concentratie in het influent van de rwzi en daarmee uiteindelijk ook in het effluent van de rwzi (15-35%). De emissievracht daalt met 13% bij 100% reductie van rioolvreemd water. De daling in het aanvoervolume en de daling in vracht houden geen gelijke tred. Het effect op de werking van de rwzi als gevolg van veranderende effluentconcentraties is niet lineair met het veranderende aanvoervolume.

Beide maatregelen laten een daling van de vracht zien, terwijl de effluentconcentratie niet daalt. De vergunningverlener eist een maximaal jaargemiddeld N-totaal effluentgehalte, ook is een minimale rendementseis op het beheergebied van de Waterschappen van toepassing.

Het hydraulisch afvlakken van de droogweer aanvoer leidt tot een geringe afname (2%) van de N-totaal vrachtemissie van de rwzi.

De aanwezigheid van persleidingen leidt tot een significante toename van de effluentvracht en de effluentconcentratie van de rwzi. De variatie in de belasting van de rwzi neemt toe en kan niet volledig door de rwzi worden verwerkt.

De emissie van zware metalen uit de rwzi laat een beeld zien dat overeenkomt met het beeld voor totaal stikstof.

Bij afkoppelen neemt de emissie via de rwzi af ten opzichte van de huidige situatie, bij de reductie van rioolvreemd water geldt dit ook. In het onderzochte afkoppelbereik van 20-50% neemt de zware metalen emissie via de rwzi af in een range van 5-20%. De reductie van rioolvreemd water laat vergelijkbare percentages zien. De afname is verschillend per metaal vanwege het specifieke ad- en desorptiegedrag van de metalen.

De trend is duidelijk dalend als functie van de beide typen maatregelen. Afkoppelen leidt tot een significante vermindering van de zware metalen vracht en de reductie van rioolvreemd water ook. Vermindering van de aanvoer van water naar de rwzi leidt tot een afname van beschikbaar water waarin zware metalen vanuit het slib kunnen worden opgenomen.

In het STOWA project EMOS wordt voor het schatten van de emissie vanuit de rwzi gebruik gemaakt van een vast verwijderingsrendement. Een andere veelgebruikte invalshoek bij het bepalen van de effecten van rioolvreemd water is het aannemen van een vaste effluentcon-

concentratie. Uit deze studie is gebleken dat het effect van de reductie van rioolvreemd water tussen beide benaderingen in ligt. Bij hogere percentages rioolvreemd water is dit verschil in benadering significant.

Het in deze studie berekende effect van afkoppelen komt over het algemeen goed overeen met het beeld dat is ontstaan in het STOWA project EMOS.

Van belang is dat het wel of niet halen van effluenteisen af kan hangen van verschillen in de orde grootte van enkele procenten of enkele tienden van procenten (afhankelijk van de component) in het rendement. In deze studie zijn veelvouden van deze verschillen in rendementen vastgesteld.

3.2 EMISSIES VAN DE TOTALE AFVALWATERKETEN

Voor stikstof blijkt de emissie van de rwzi dominant te zijn in de afvalwaterketen. Het emissiebeeld van de rwzi en van de totale afvalwaterketen komen dan ook overeen.

Voor de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen (alle emissiepoorten) is het beeld voor wat betreft de reductie van rioolvreemd water identiek aan het beeld van de emissie via de rwzi. De reductie van rioolvreemd water levert slechts een beperkte reductie in het overstortend volume op en deze emissiepoort levert slechts een kleine bijdrage aan de totale emissie van het afvalwatersysteem.

De effecten van afkoppelen voor de vrachtemissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen wijken sterk af van de emissie via de rwzi. De spreiding in resultaten is voor de totale afvalwaterketen groter dan voor de rwzi. De emissies van zink en lood nemen met 5-10% toe. De overige metalen laten als trend een lichte (5-10%) daling zien, met als uitzondering cadmium en kwik, waar sprake is van 20-30% vrachtvermindering.

Van groot belang is dat de concentratie van zware metalen in regenwater en effluent sterk kunnen verschillen. Voor een aantal stoffen is afkoppelen altijd voordelig (bijvoorbeeld cadmium of kwik): de emissie via de rwzi en via de overstorten neemt af en de emissie via het rechtstreeks geloosde hemelwater neemt in verhouding minder toe door de lage concentraties in afstromend hemelwater. Voor stoffen die wel significant in afstromend hemelwater zitten wordt het positieve effect van afkoppelen bij rwzi en overstort teniet gedaan en neemt bij hoge afkoppelpercentages de emissie zelfs toe (lood, zink, CZV, zwevende stof). Een gemiddeld beeld voor alle zware metalen is dat het totale effect van afkoppelen op de emissie van de afvalwaterketen neutraal is. Bij afkoppelen van onbehandeld afstromend regenwater worden echter meer zware metalen lokaal en diffuus op het oppervlaktewater geloosd.

Door toepassing van DWA afvlakking daalt de emissie van de afvalwaterketen 5-10%. Het beeld voor emissie van de rwzi en de totale afvalwaterketen is vergelijkbaar.

3.3 REKENMETHODIEK

Om de effecten van maatregelen in het aanvoerstelsel op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten vast te kunnen stellen is een rekenmethodiek ontwikkeld waarmee binnen aanvaarbare rekentijden dynamische modelsimulaties van de aanvoer in het rioolstelsel en van de rwzi op basis van uurgemiddelde gegevens kunnen worden uitgevoerd. Vanuit het oogpunt van kwaliteit en de waarde van de absolute uitkomsten heeft het de voorkeur voornoemd type modelsimulaties toe te passen, een benadering op basis van uurgemiddeldes heeft sterk de voorkeur gezien de dynamiek. Vanwege de praktische toepasbaarheid van de ontwikkelde methodiek is de noodzaak om als alternatief statische modellering toe te passen grotendeels weggefallen.

De in deze studie gehanteerde rwzi ontwerpmodellen zijn aan de praktijk getoetst en hiermee is langjarige ervaring. Robuustheid om fluctuaties in de aanvoer op te kunnen vangen is in de modellen ingebouwd. De rwzi uit de referentiesituatie kan overgedimensioneerd zijn indien er maatregelen in het aanvoerstelsel worden getroffen. Oftewel bij gelijkblijvende prestaties kunnen de dimensies van de rwzi worden verkleind.

4 CONCLUSIES

Samengevat zijn de belangrijkste conclusies als volgt.

- Afkoppelen leidt nauwelijks tot een verandering van de N-totaal concentratie in het effluent van de rwzi. Afkoppelen leidt tot een afname van de N-totaal effluent vracht, waarbij deze daling grotendeels evenredig verloopt met de daling van het influentvolume.
- Voor N-totaal leidt de reductie van rioolvreemd water enerzijds tot een afname van het volume afvalwater en daardoor tot lagere emissies, en anderzijds tot een toename van de influentconcentraties N-totaal en uiteindelijk ook de effluentconcentraties N-totaal en daardoor hogere emissies. Het netto N-totaal emissie resultaat van beide elkaar tegenwerkende effecten is afhankelijk van de specifieke instellingen, bedrijfsvoering en werking van de rwzi.
- Het beeld voor wat betreft N-totaal is voor alle emissiepoorten van de afvalwaterketen gelijk aan het beeld wat de emissie van de rwzi laat zien, de emissie van de rwzi is dominant in de afvalwaterketen.
- Voor de zware metalen neemt bij afkoppelen en bij de reductie van vreemd water de emissie via de rwzi af ten opzichte van de huidige situatie. De afname is verschillend per metaal.
- Overeenkomstig de emissie via de rwzi neemt de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen af bij de reductie van rioolvreemd water.
- De effecten van afkoppelen voor de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen wijken af van de emissie via de rwzi. De emissies van zink, lood en koper nemen toe. Overige metalen laten een lichte daling zien. Bepalend hierin is of de concentratie van het betreffende metaal (maar ook zwevende stof) in onbehandeld afstromend regenwater hoger of lager ligt dan de concentratie in het effluent van de rwzi.
- Het effect van rioolvreemd water ligt tussen twee veel gebruikte benaderingen in: het hanteren van een vaste effluentconcentratie voor de rwzi, en het hanteren van een vast verwijderingsrendement (STOWA project EMOS) voor de rwzi.
- Het effect van afkoppelen komt over het algemeen goed overeen met het beeld uit het STOWA project EMOS.
- Toepassing van DWA afvlakking leidt tot geringe daling van enkele procenten in de totaal emissie van stikstof en zware metalen.
- Binnen aanvaarbare rekentijden is een rekenmethodiek ontwikkeld waarmee op uurgemiddelde basis de dynamiek in een rioolstelsel kan worden gekoppeld aan de dynamiek van een rioolwaterzuiveringsinstallatie.
- De dimensionering van rwzi's op basis van de in deze studie en in de praktijk gehanteerde modellen is zodanig robuust dat fluctuaties in de aanvoer voldoende kunnen worden opgevangen. Bij maatregelen in het rioolstelsel zou een rwzi mogelijk kleiner van omvang kunnen zijn bij gelijkblijvende prestaties. Een integrale kosten-baten analyse van maatregelen in de afvalwaterketen zou hier meer inzicht in kunnen geven.

5 AANBEVELINGEN

Als belangrijkste aanbevelingen zijn de volgende aspecten naar voren gekomen.

- Voor een volledige afweging van te nemen maatregelen in de afvalwaterketen is een integrale kosten-baten analyse noodzakelijk. Vastgesteld dient te worden waar in de afvalwaterketen bepaalde maatregelen het meest optimaal genomen kunnen worden, om de gewenste effecten kosteneffectief te kunnen nemen. De robuustheid en noodzakelijke reservecapaciteit die er in de huidige rwzi ontwerpmodellen is aangebracht dienen hierin te worden meegenomen. Meer aandacht dient uit te gaan naar de normstelling en (vergunning)eisen voor de emissie gerelateerd aan de afweging tussen effluentconcentraties en effluentvrachten. Ook aspecten betreffende waterkwantiteit, als drijfveer voor bepaalde maatregelen, dienen niet uit het oog te worden verloren. Het opstellen van een zo compleet mogelijke balans over het watersysteem gekoppeld aan een analyse van de consequenties die bepaalde maatregelen hebben verdienen de nodige aandacht.
- Het is wenselijk de aannames, uitgangspunten en bevindingen uit deze studie te toetsen aan één of meerdere lokale situaties voor wat betreft het rioleringsstelsel, de afvalwatersamenstelling, de (afstromend) regenwatersamenstelling en de rwzi('s). Een belangrijk onderdeel hiervan is het meer inzicht verkrijgen in de opbouw en de samenstelling van de verschillende stromen die naar een rwzi worden aangevoerd is. Daarnaast is een belangrijk aandachtspunt het (dynamisch) gedrag van zware metalen in een rwzi als functie van de aanvoer van (regen)water. Om meer gevoel voor deze materie te krijgen wordt aanbevolen om door praktijkproeven te toetsen of de gehanteerde aannames gerechtvaardigd zijn,
- Indien wordt verwacht dat in de toekomst voor studies als deze de aandachtstoffen noodzakelijkerwijs moeten worden uitgebreid naar organische microverontreinigingen, dan is het noodzakelijk voor deze stofgroep een databestand van de relevante bronnen en stromen op te bouwen.
- De reductie van rioolvreemd water heeft voor alle onderzochte componenten een positief effect op de emissie van de totale afvalwaterketen. De onderliggende aannames dienen nader te worden onderzocht. Waarna de haalbaarheid en kosteneffectiviteit meer aandacht behoeft, ook in verhouding met andere mogelijke maatregelen.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonedig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

HET EFFECT VAN AFKOPPELEN VAN HEMELWATER OP DE RWZI

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	PROBLEEMSTELLING EN DOEL	1
	1.1 Inleiding	1
	1.2 Doelstelling	1
2	AANPAK	3
3	UITGANGSPUNTEN EN BEREKENINGSMETHODIEK	7
	3.1 Modelling rioolstelsel en transportsysteem	7
	3.2 Selectie stoffen	10
	3.3 Modelling verwijdering metalen en organische microverontreinigingen in rwzi	11
	3.3.1 Verwijdering zware metalen	11
	3.3.2 Verwijdering PAK en microverontreinigingen	13
	3.4 Modelling statisch functioneren rwzi met behulp van Presta	13
	3.5 Modelling dynamisch functioneren rwzi met behulp van SIMBA	14

4	RESULTATEN EN ANALYSE	15
4.1	Methodiek	15
4.2	Resultaten	15
4.2.1	Resultaten modellering stikstofverwijdering	15
4.2.2	Resultaten modellering overige stoffen	23
4.2.3	Overzicht resultaten emissies rwzi	24
4.2.4	Totale emissies afvalwaterketen	25
4.3	Conclusies en aanbevelingen	28
	BIJLAGEN	
I	Modelmatige adsorptie en omzetting	33
II	PRESTA model	39
III	Uitgangspunten SIMBA model	41

1

PROBLEEMSTELLING EN DOEL

1.1 INLEIDING

De studie 'Het effect van afkoppelen van hemelwater op de rwzi' is gericht op het in beeld krijgen van de invloed van de eigenschappen van rioolstelsels op de werking van de rwzi. De achterliggende vraag is in hoeverre het functioneren van een rwzi wordt beïnvloed door het aanvoerpatroon en door wijzigingen in dit aanvoerpatroon door afkoppelen of het reduceren van rioolvreemd water. In Nederland wordt veelvuldig hemelwater van het gemengde stelsel afgekoppeld. Het effect op de rwzi is vooralsnog niet eenduidig onderbouwd. Deze studie besteedt hier aandacht aan.

Uit eerdere studies naar de interacties in het afvalwatersysteem is duidelijk geworden dat de dynamiek in de aanvoerpatronen van rioolstelsels en transportstelsels een groot effect heeft op de geloosde vrachten van de betreffende rwzi, met name tijdens buien, en op de verdeling van de emissie tussen overstort en rwzi. Het is wel mogelijk om maatregelen in het riool te treffen die inspelen op deze dynamiek. Het is echter niet algemeen bekend onder welke omstandigheden maatregelen in het riool effect kunnen hebben en welk effect dit zal hebben op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten van de afvalwaterketen (zoals afkoppeliniciatieven, overstorten en rwzi's). Om hier meer inzicht in te krijgen is het noodzakelijk te weten wat het effect is van de dynamiek in de afvalwaterketen op de lozingsvrachten uit deze afvalwaterketen. Het gaat hierbij niet alleen om klassieke parameters als CZV, BZV, N en P, maar ook om bepaalde organische microverontreinigingen en zware metalen die relevant kunnen zijn vanuit de Kader Richtlijn Water.

Het in het STOWA project 'Expertmodel emissies afvalwaterketen' ontwikkelde EMOS model biedt de mogelijkheid om het effect van de wijze waarop wordt omgegaan met hemelwater (gemengd riool, gescheiden, infiltreren, lokaal behandelen) op de totale emissie vanuit de afvalwaterketen indicatief in beeld te brengen. In EMOS is voor de rwzi vooralsnog uitgegaan van een constant rendement tijdens buien en droogweeperperiodes. Het is de vraag op welke wijze de dynamiek van de rwzi moet worden meegenomen bij beschouwingen van de totale emissie vanuit de afvalwaterketen. Dynamische modellering met SIMBA en het hanteren van een vaste effluentconcentratie zijn hierbij de uitersten, statisch modelleren (met bijvoorbeeld Presta⁺ of HSA) of het hanteren van variabele rendementen liggen hier tussen in.

1.2 DOELSTELLING

De doelstellingen van dit project zijn meervoudig:

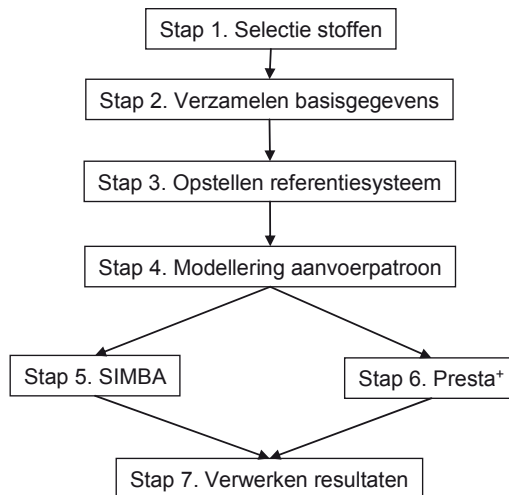
- inzicht verkrijgen onder welke omstandigheden de dynamiek in een rioolstelsel significant effect heeft op de lozingsvrachten van een rwzi;
- het effect van maatregelen in het rioolstelsel op de lozingsvrachten uit de emissiepoorten vaststellen;
- trends in het type maatregel en de effecten hiervan vaststellen.

- een afweging maken tussen een statische en dynamische benadering van de rekenmethode om te bepalen hoe de effecten op de emissiepoorten zo eenduidig en eenvoudig mogelijk inzichtelijk kunnen worden gemaakt;
- een (reken)methode ontwikkelen waarmee (in termen van lozingsvrachten, concentraties van componenten en debieten), de dynamiek van een rioolstelsel kan worden gekoppeld aan de dynamiek van een rioolwaterzuiveringsinstallatie;

2

AANPAK

Het onderzoek is uitgevoerd via de hiernavolgend weergegeven stappen:

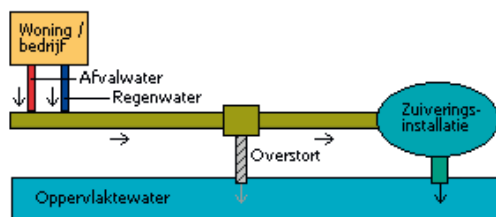


STAP 1. SELECTIE STOFFEN

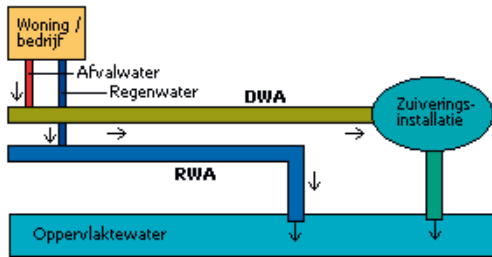
Voor de selectie van stoffen die voor het doorrekenen in aanmerking zouden kunnen komen zijn de stoffen zoals weergegeven in het STOWA project 'Expertmodel emissies afvalwaterketen' (inmiddels hernoemd tot EMOS: Emissiemodel systeemkeuze) als basis genomen. De rekentechnische toepasbaarheid voor deze studie en de beschikbaarheid van gegevens zijn als selectiecriteria gehanteerd. Daarnaast zijn enkele voor deze studie relevante stoffen toegevoegd.

STAP 2. SELECTIE REFERENTIESYSTEEM (=HUIDIGE SITUATIE)

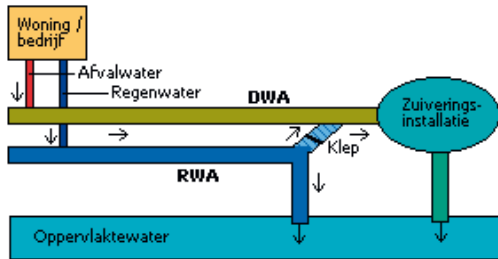
Elk afvalwatersysteem is uniek. Dit houdt in dat het selecteren van een referentiesysteem per definitie een hachelijke zaak is. In deze studie is er voor gekozen om het landelijk gemiddelde te kiezen als gemiddelde Nederlandse situatie. Dit houdt in dat het aanvoerstelsel bestaat uit 76% gemengd riool, 6% verbeterd gescheiden riool en 18 % gescheiden riool.



Gemengd stelsel

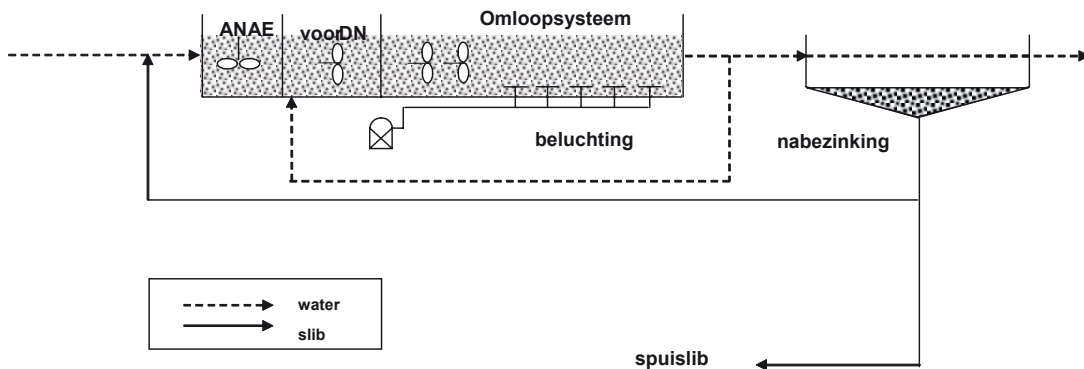


Gescheiden stelsel



Verbeterd gescheiden stelsel

Voor de rwzi is gekozen voor een laagbelast systeem met een capaciteit van 100.000 i.e. met stikstof (voordenitrificatie) en biologische fosfaatverwijdering, waarbij in eerste instantie zowel een variant met als zonder voorbezinking is bekeken en vervolgens de variant zonder voorbezinking in detail is uitgewerkt. Hierbij is gebruik gemaakt van de inzichten uit het STOWA project “Mogelijkheden en grenzen actief slib proces” (2007-24). Voor de samenstelling van regenwater is gebruik gemaakt van de gegevens uit de regenwaterdatabase vanuit het STOWA project “Overzicht en evaluatie van beschikbare kwaliteitsgegevens van afstromend regenwater” (2007-09).



STAP 3. VERZAMELEN BASISGEGEVENS

In de literatuur is gezocht naar de benodigde gegevens over stoffen (concentraties in regenwater en droogweerafvoer) stoffeigenschappen (sorptie) en processen (hoe worden deze stoffen verwijderd binnen de rwzi en hoe is dit te modelleren).

STAP 4. MODELLERING AANVOERPATROON

Het aanvoerpatroon op een rwzi is de resultante van de eigenschappen van de riolering en de belasting van de riolering met afvalwater en regenwater. In het STOWA project 'Expertmodel afkoppelen' ofwel Emissiemodel Systeemkeuze (EMOS) is in detail ingegaan op de eigenschappen en opzet van de riolering. In dit project is het aanvoerende rioolstelsel evenals in het genoemde STOWA project gemodelleerd als een enkelvoudig bakmodel, waarbij op basis van een fractieberekening de verdunning door neerslag is meegenomen.

Om inzicht te krijgen in het effect van aanpassingen aan de riolering op de effluentvrachten en daarmee voor een belangrijk deel op de totale emissie vanuit het afvalwatersysteem is een aanvoerpatroon opgesteld voor de volgende situaties:

- 1 Huidige situatie: referentiesysteem zoals gedefinieerd in stap 2.
- 2 Effect 20% afkoppelen regenwater
- 3 Effect 50% afkoppelen regenwater
- 4 Effect reductie rioolvreemd water met 50%
- 5 Effect reductie rioolvreemd water met 100%
- 6 Afvlakking DWA
- 7 Aanwezigheid persleiding

In hoofdstuk 3 is de herkomst van het influent voor de verschillende aanvoerpatronen nader uitgewerkt.

STAP 5. MODELLERING SIMBA EN STAP 6. MODELLERING PRESTA

De opgestelde aanvoerpatronen worden zowel dynamisch doorgerekend met SIMBA als statisch met Presta. Dit maakt het mogelijk om uitspraken te doen over de noodzaak tot het gedetailleerd modelleren van het effect van variaties in het aanvoerpatroon op het functioneren van de rwzi. Dit resultaat kan vervolgens worden gebruikt om het STOWA model EMOS Emissiemodel Systeemkeuze hierop aan te passen.

STAP 7. VERWERKING RESULTATEN

De laatste stap omvat de verwerking en interpretatie van de rekenresultaten. Hierbij worden de resultaten zowel beoordeeld op basis van emissievrachten als concentraties.

3

UITGANGSPUNTEN EN BEREKENINGSMETHODIEK

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten die zijn gehanteerd bij de modelberekeningen. Aan bod komen de modellering van:

- het rioolstelsel en het transportsysteem
- het statisch functioneren van de rwzi met behulp van Presta
- het dynamisch functioneren van de rwzi met behulp van SIMBA
- verwijdering van zware metalen en organische microverontreinigingen

De volgende definities en omschrijvingen zijn van toepassing:

- rioolvreemd water = extra water dat door het riool wordt afgevoerd maar er eigenlijk niet op hoort te zitten (grondwater, instromend oppervlaktewater etc.);
- rwa = regenweerafvoer (= totale aanvoer tijdens regen);
- dwa = droogweerafvoer, bestaat uit afvalwater van inwoners en uit rioolvreemd water;
- afkoppelen = verhard oppervlak niet langer laten afvoeren op de gemengde riolering (maar: infiltreren/lozen op oppervlaktewater). Bij afkoppelen is de pompovercapaciteit, uitgedrukt in mm/h gelijk gehouden. Dit houdt in dat de hydraulische belasting van de rwzi evenredig afneemt met het afkoppelen. Voor elke ha die wordt afgekoppeld neemt de hydraulische belasting van de rwzi, uitgaande van een vaste pompovercapaciteit van 0.7 mm/h, met $7 \text{ m}^3/\text{h}$ af.
- referentiesysteem riolering = gemiddelde huidige situatie in Nederland, inclusief rioolvreemd water;

3.1 MODELLERING RIOOLSTELSEL EN TRANSPORTSISTEEM

Het rioolstelsel is gemodelleerd als enkelvoudig bakmodel met behulp van Infoworks. Bij de modellering zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

- NWRW Inloopmodel met 4 soorten verhard oppervlak: dak vlak, dak hellend, open verhard en gesloten verhard;
- Afvalwaterproductie 120 l/inw/d met curve conform Leidraad riolering C2100;
- Afvalwaterproductie 12 l/inw/h voor dimensionering gemalen;
- Aanwezigheid 60% rioolvreemd water (als percentage bovenop afvalwaterproductie inwoners), conform STOWA 2005-20. Dit rioolvreemd water is gemodelleerd als schoon debiet;
- Toegepaste neerslagperiode 5 minutengegevens De Bilt 1955. Voor toetsing van rioolstelsels is het gebruikelijk de 10-jarige reeks 1955-1964 te hanteren. Om rekentechnische redenen zijn de gegevens van het eerste jaar gebruikt.
- Afkoppelen is alleen toegepast op het gemengde rioolstelsel;

- Totaal afvoerend oppervlak 600 ha (op basis van 100.000 inwoners, 2,5 inwoner/woning en 150 m² verhard oppervlak per woning), verdeeld over:
- 76% gemengd stelsel met 9 mm berging en 0,7 mm/h pompovercapaciteit;
- 6% verbeterd gescheiden stelsel met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit;
- 18% gescheiden stelsel;
- Berekening fractie afvalwater en regenwater in Infoworks, via post-processing toekennen van concentraties aan het inloopprofiel voor de rwzi conform uitgangspunten tabel 3-1. Dit houdt in dat in de riolering alleen rekening wordt gehouden met menging en niet met overige processen als sedimentatie en omzettingen. De afvalwaterconcentraties in deze tabel zijn exclusief rioolvreemd water. De rekenconcentraties voor instromend regenwater zijn conform de getallen uit de STOWA regenwaterdatabase, met uitzondering van de vetgedrukte waarden. Het hanteren van de basisgetallen uit de STOWA regenwaterdatabase leidt tot extreem dun influent, waar niet meer mee gerekend kan worden. Voor deze parameters zijn rekenwaarden genomen die leiden tot reële influentwaarden bij de rwzi. In deze getallen zit dus in feite de bijdrage van niet meegenomen processen (zoals sedimentatie en opwoeling) in de riolering.
- Bij het transportstelsel is gevarieerd met de afmetingen om zo het effect van de aanwezigheid van persleidingen, en daarmee van een prop DWA, in te schatten. Uiteindelijk is een drietal situaties meegenomen:
 - Geen transportleiding
 - Persleiding met hydraulische inhoud ter grootte van 6 uur DWA volume
 - Persleiding met hydraulische inhoud ter grootte van 12 uur DWA volume

Een persleiding met een hydraulische inhoud van 6 uur DWA volume is een normale, veel voorkomende afmeting, een met een inhoud van 12 uur DWA is groot voor Nederlandse begrippen.

De persleiding is gemodelleerd als volkomen propstroming, waarbij geen rekening wordt gehouden met processen als omzettingen in de leiding.

Tabel 3.1 geeft de concentraties in afvalwater en regenwater weer die voor de berekeningen zijn gebruikt.

TABEL 3-1 REKENCONCENTRATIES IN AFVALWATER EN REGENWATER

	eenheid	Afvalwater inwoners	Regenwater (afvoer naar gemengd stelsel)	Regenwater (afvoer gescheiden riool en VGS)
CZV	mg/l	720	150	32
BZV	mg/l	296	13	
Totaal-N	mg/l	75	4	1.7
Totaal-P	mg/l	10	1	0.26
Zwevende stof	mg/l	264	97	20
koper	µg/l	70	10	10
chromium	µg/l	9	1.1	1.1
zink	µg/l	210	95	95
lood	µg/l	25	12	12
cadmium	µg/l	0.4	0.15	0.15
nikkel	µg/l	10	3.5	3.5
kwik	µg/l	0.2	0.06	0.06
arsen	µg/l	3	0.4	0.4

De waarden voor het afvalwater van inwoners zijn afkomstig uit diverse literatuurbronnen (CBS, STOWA-1985-04: "Het inwoner equivalent getoetst", STOWA Expertmodel emissies afvalwaterketen).

De rekenconcentraties uit tabel 3-1 leiden tot een jaargemiddelde concentratie die lager ligt dan de jaargemiddelde influentconcentratie over de periode 1994-2005 volgens CBS cijfers, zie tabel 3-2. Dit is terug te voeren op de toegepaste rekenconcentraties voor DWA. Bij toepassing van deze rekenconcentraties komt de belasting van de rwzi goed overeen met de toegepaste 100.000 i.e, waarbij een i.e. overeenkomt met 136 g TZV.

Het verschil tussen de influentconcentraties van het influentmodel en CBS is voor wat betreft de parameters CZV, BZV en totaal-N en totaal-P grotendeels te verklaren door de bijdrage van industriële lozingen in de CBS cijfers. De gehanteerde waarden in deze studie betreffen afvalwater van puur huishoudelijke oorsprong.

TABEL 3-2 GEMIDDELTE INFLUENTCONCENTRATIES

	eenheid	Influentmodel huidige situatie	CBS (jaargemiddeld, 1994-2005)
CZV	mg/l	399	509
BZV	mg/l	158	194
Totaal-N	mg/l	40	47
Totaal-P	mg/l	5	7.8
Zwevende stof	mg/l	151	260

In tabel 3-3 zijn de gemiddelde effluentconcentraties van de Nederlandse rwzi's (op basis van CBS cijfers over 2004-2005) vergeleken met de gemiddelde concentraties in regenwater zoals vermeld in tabel 3-1.

TABEL 3-3 CONCENTRATIES IN REGENWATER EN RWZI EFFLUENT

Component	eenheid	RWZI effluent	Regenwater (afvoer naar gemengd stelsel)	Regenwater (afvoer gescheiden riool en VGS)
CZV	mg/l	42	150	32
BZV	mg/l	5	13	
Totaal-N	mg/l	9	4	1.7
Totaal-P	mg/l	1.5	1	0.26
Zwevende stof	mg/l	9	97	20
koper	µg/l	7.6	10	10
chromium	µg/l	1.8	1.1	1.1
zink	µg/l	51	95	95
lood	µg/l	3.8	12	12
cadmium	µg/l	0.2	0.15	0.15
nikkel	µg/l	4.7	3.5	3.5
kwik	µg/l	0.06	0.06	0.06
arseen	µg/l	1.5	0.4	0.4

Uit tabel 3.3 valt op te maken dat voor een aantal componenten de concentratie in (onbehandeld afstromend) regenwater aanzienlijk hoger is dan in het gemiddelde effluent van rwzi's. Dit geldt voor zink, lood, koper, zwevende stof.

In tabel 3-4 is voor de huidige situatie per type rioolstelsel de verdeling van de totale hydraulische aanvoer naar de rwzi weergegeven.

TABEL 3-4 VERDELING HYDRAULISCHE AANVOER VOOR DE HUIDIGE SITUATIE

emissiepoort	aanvoerdebiet huidige situatie (m ³ /jaar)
Gemengde riolering	45600
Verbeterd gescheiden riolering	68040
Gescheiden rioolstelsels	975600
Rwzi	9292000

Tabel 3.5 geeft voor de verschillende aanvoerpatronen een overzicht van de herkomst van het influent. Dit geeft inzicht in de wijziging van de opbouw van de stromen als gevolg van de in beschouwing genomen maatregelen.

TABEL 3-5 VERDELING HERKOMST INFLUENT BIJ DE VERSCHILLENDE AANVOERPATRONEN

		dwa	vreemd	regen	totaal
huidig	m ³ /dag	12330	7293	7052	26675
	%	46%	27%	26%	
50% vreemd	m ³ /dag	12564	3905	7021	23490
	%	53%	17%	30%	
100% vreemd	m ³ /dag	12009	0	7015	19025
	%	61%	0%	39%	
20% afkoppelen	m ³ /dag	12244	7235	5832	25310
	%	48%	29%	23%	
50% afkoppelen	m ³ /dag	12025	7175	3823	23022
	%	52%	31%	17%	

3.2 SELECTIE STOFFEN

Tabel 3-3 geeft een overzicht van de stoffen en stofgroepen die in het Expertmodel EMOS worden gebruikt. Aan deze lijst zijn voor dit project in eerste instantie een aantal relevante stoffen toegevoegd. De stikstofverwijdering op de rwzi is in beschouwing genomen, aangezien dit een proces is dat gevoelig is voor variaties in de aanvoer. Tevens is de analyse uitgebreid met een extra aantal zware metalen.

Voor deze studie is het noodzakelijk dat de beoogde stoffen rekentechnisch gehanteerd kunnen worden en er voldoende gegevens beschikbaar moeten zijn betreffende vrachten en stoffeigenschappen. Organische microverontreinigingen (en daarmee polycyclische aromatische koolwaterstoffen, bestrijdingsmiddelen en oestron) en E-coli zijn om deze redenen buiten beschouwing gebleven in deze studie. Fosfaat is in de dynamische SIMBA rekenexercitie meegenomen als parameter (biologische fosfaatverwijdering). Gebleken is echter dat de fosfaatwaardes onrealistisch laag werden berekend in alle varianten. Fosfaat is daarom uiteindelijk als aandachtsstof buiten beschouwing gelaten. Een vergelijkbare situatie is te vinden in STOWA project 2007-24 (Het actief slib-proces: de mogelijkheden en grenzen). Toekomstige aandacht voor de oorzaak en mogelijke oplossingen hiervan zijn dan ook gerechtvaardigd. De oorzaak hiervoor in deze studie is hoogstwaarschijnlijk te vinden in de calibratie van de invoergegevens van het SIMBA model en de koppeling met de uitgangspunten van Presta. Als resultante hiervan berekent het SIMBA model relatief hoge vetzuurgehaltes in het influent,

wat de fosfaatverwijdering sterkt bevordert. Opgemerkt wordt dat in de Nederlandse praktijk voor circa 25% van het rwzi afvalwater biologische fosfaatverwijdering wordt toegepast en voor circa 60% chemische fosfaatverwijdering en/of combinaties van chemische en biologische fosfaatverwijdering. Verstoringen in het chemische fosfaatverwijderingsproces als gevolg van variaties in de aanvoer naar de rwzi, worden met een procesregeling voor een groot deel gecompenseerd. Voor biologische fosfaatverwijdering is dit veel minder het geval. In het geval van combinaties van chemische en biologische fosfaatverwijdering, kunnen in de praktijk verstoringen in de biologische fosfaatverwijdering worden opgevangen door aanvullende chemische fosfaatverwijdering.

TABEL 3-3 STOFSELECTIE EXPERTMODEL EMOS, TOEGEVOEGDE STOFFEN EN GEBRUIKTE STOFFEN

Stofgroep	Stof expertmodel EMOS	Toegevoegde stoffen	In deze studie gebruikte stoffen
Zwevende stof	-	Zwevende stof	Zwevende stof
Zuurstof-bindende stoffen	CZV		CZV
Nutriënten	P-totaal	N-totaal, ammonium	N-totaal: ammonium-N, organisch-N, nitraat-N
zware metalen	Koper, Zink	Lood, Nikkel, Cadmium, Arseen, Kwik	Koper, Zink, Lood, Nikkel, Cadmium, Arseen, Kwik
PAK	Benzo(k)-fluorantheen		
bestrijdingsmiddelen	Glyfosaat		
hygiënische betrouwbaarheid	E-coli bacteriën		
Hormonen	Oestron		

3.3 MODELLERING VERWIJDERING METALEN EN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN IN RWZI

De verwijdering van zware metalen en microverontreinigingen in een rwzi wordt bepaald door (zie bijlage 1):

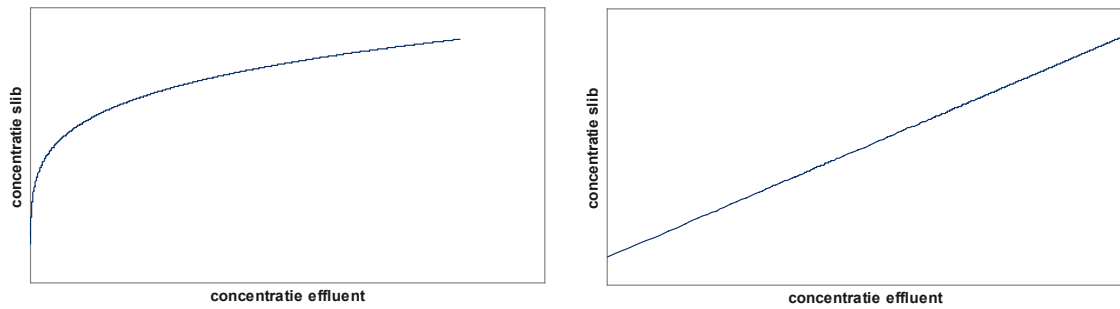
- adsorptie aan en absorptie in het slib
- afbraak van sommige verbindingen.

Voor de verwijdering van een groot aantal vervuilende componenten is de ad- en absorptie het belangrijkste proces. Dit geldt met name voor stoffen met een hoge waarde van $\log(Kow)$, de logaritme van de verhouding in oplosbaarheid in respectievelijk octanol en water. De afbraak verloopt doorgaans aanzienlijk langzamer, en de meeste relevante componenten worden niet of nauwelijks afgebroken. Voor stoffen met een goede wateroplosbaarheid, en dus een lage $\log(Kow)$, zal nauwelijks adsorptie aan slib plaatsvinden en is de afbraak het dominante proces.

3.3.1 VERWIJDERING ZWARE METALEN

Met behulp van de gegevens met betrekking tot de gemiddelde afvalwatersamenstelling, effluentsamenstelling en slibproductie is aan de hand van de zogenaamde Freundlich adsorptie (figuur 3.1) een inschatting gemaakt van het gehalte aan zware metalen in het slib.

FIGUUR 3.1 FREUNDLICH ADSORPTIE



$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n}$$

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

De Freundlich adsorptie gaat uit van een (niet lineair) evenwicht tussen de zware metalen concentratie in het slib en de zware metalen concentratie in het effluent. De karakteristiek van deze adsorptie is voor elk metaal anders. Voor de Nederlandse situatie is deze karakteristiek vastgesteld (Toekomstige kwantiteit en kwaliteit van zuiveringsslib. STOWA, rapport 2005-06).

Door uit te gaan van een evenwichtsituatie per tijdstap is hieruit het effluentgehalte terug te rekenen via navolgende berekening:

$$C_S = K_f C_{EFF}^{1/n}$$

$$C_{IN} Q_{IN} = C_{EFF} Q_{EFF} + C_S M_S$$

$$\text{Dus } C_{IN} Q_{IN} - C_{EFF} (Q_{IN} - Q_S) - K_f C_{EFF}^{1/n} M_S = 0$$

waarin

C_{IN}	concentratie metaal in influent (mg/l)
C_{EFF}	concentratie metaal in effluent (mg/l)
C_S	concentratie metaal in slib (mg/g ds)
Q_{IN}	influentdebiet (l/d)
Q_{EFF}	effluentdebiet (l/d)
Q_S	slibdebiet (l/d)
M_S	hoeveelheid slib (kg/d)
K_f	capaciteitsfactor (mg/g ds) ^{1/n} .
$1/n$	capaciteitsfactor (-)

K_f en $1/n$ zijn afkomstig uit STOWA 2005-06. Na enige iteratie is de concentratie in het effluent te berekenen uit het influentgehalte en de slibproductie. Het totale effluentgehalte ($C_e + DS_{eff} \times C_s$) is op deze wijze berekend.

De verwijdering van zware metalen is gemodelleerd zoals hiervoor beschreven, waarbij de slibproductie en het debiet zijn afgeleid uit respectievelijk Presta en SIMBA. Hierbij is uitgegaan van een momentane evenwichtsinstelling tussen de zware metalen concentratie in het slib en in de waterfase.

3.3.2 VERWIJDERING PAK EN MICROVERONTREINIGINGEN

Eenzelfde benadering kan worden gekozen voor de verwijdering van organische microverontreinigingen en PAKs. Het probleem is echter dat de parameters K_f en $1/n$ voor de verschillende verbindingen niet bekend zijn. De hoeveelheid die adsorbeert aan het slib kan zeer globaal worden geschat op basis van de $\log(K_{ow})$, de logaritme van de verhouding in oplosbaarheid in respectievelijk octanol en water. Tijdens deze studie is echter gebleken dat een knelpunt in de berekeningen aan de organische microverontreinigingen het gebrek aan gegevens betreffende de influentvrachten is.

3.4 MODELLERING STATISCH FUNCTIONEREN RWZI MET BEHULP VAN PRESTA

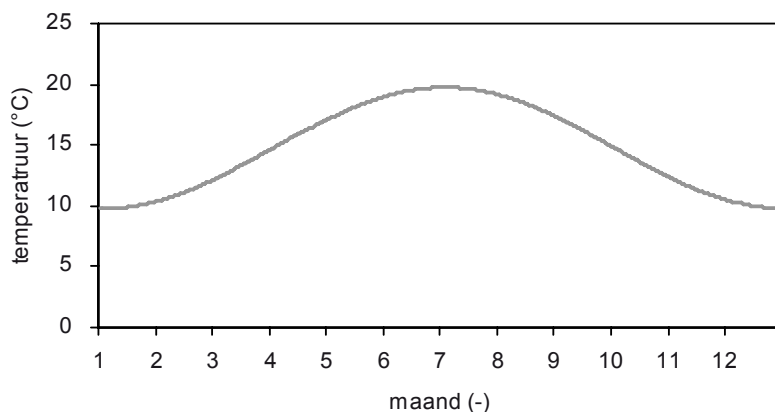
Presta+ is een statisch model voor de gebeurtenissen op een rwzi. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het bij de Waterschappen gangbare ontwerpmodel HSA (STOWA-1995-19: Evaluatie van het HSA model voor toepassing in Nederland). Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar bijlage 2. Presta is gebaseerd op een omgekeerde HSA berekening en berekent de slibproductie en effluentsamenstelling. Hierbij wordt voor iedere dag uitgegaan van dezelfde beginsituatie. Presta heeft hiermee geen 'geheugen' voor voorgaande gebeurtenissen. Dit in tegenstelling tot het modelleren in SIMBA, waar de beginsituatie van het model op dag 2 gelijk is aan de eindsituatie op dag 1. Met Presta wordt gerekend met dagtotalen, de resultaten van de dagtotalen worden opgeteld tot een jaartotaal.

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat een zuiveringsvariant met en zonder voorbezinking is doorerekend. Tijdens een voorfase in het project is gebleken dat de configuratie met of zonder voorbezinking leidt tot dezelfde conclusies met betrekking tot de doorwerking van variaties in de aanvoer op het effluent. In deze voorfase zijn varianten berekend met als referentiesituatie de pure afvalwaterstroom van de inwoners. In dit rapport is als referentiesituatie gehanteerd de pure afvalwaterstroom van de inwoners inclusief rioolvreemd water. Deze referentiesituatie stemt overeen met de werkelijke huidige situatie. De gegevens van de voorfase zijn niet in dit rapport opgenomen. In dit rapport is verder gewerkt met de variant zonder voorbezinking.

Bij de modellering van de rwzi zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

Als slibgehalte is 4,0 g/l aangehouden. Voor de nabezinking is een SVI (Slibvolume Index) van 150 ml/g gekozen en zijn de STOWA richtlijnen voor nabezinktanks gehanteerd (STOWA 1981-11; STOWA 2002-23). Verder is aangenomen dat de slibontwatering niet op de rwzi plaatsvindt. Figuur 3-2 geeft de toegepaste temperatuurcurve voor de processen in de rwzi.

FIGUUR 3-2 TEMPERAATUURCURVE RWZI

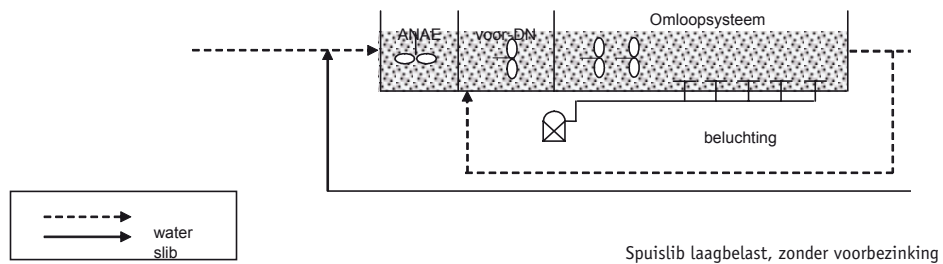


De procesconfiguratie is in figuur 3.3 weergegeven.

De procesonderdelen van de rwzi zijn gedimensioneerd door in Presta gebruik te maken van bovenstaande uitgangspunten met toepassing van de influentgegevens voor de referentiesituatie. Vervolgens zijn de effecten van de verschillende varianten (verandering van de influentgegevens) op de prestaties van de rwzi met Presta doorgerekend, waarbij de dimensies van de rwzi volgens de referentiesituatie zijn gehanteerd. Deze dimensies blijven ongewijzigd.

FIGUUR 3.3

PROCESCONFIGURATIE TOEGEPAST ZUIVERINGSYSTEEM



3.5 MODELLERING DYNAMISCH FUNCTIONEREN RWZI MET BEHULP VAN SIMBA

Voor de dynamische modellering van de rwzi is uitgegaan van een voor de Nederlandse situatie representatief actief slib systeem met een capaciteit van 100.000 i.e. Hierbij is gebruik gemaakt van de ervaringen en uitgangspunten uit het STOWA project 2007-24 (Het actief slib-proces: de mogelijkheden en grenzen). De modellering heeft plaatsgevonden in SIMBA (standaard TUPD-model, versie 4.2 (c) ifak 1993-2003), volgens de STOWA richtlijnen voor het dynamisch modelleren van actief slib systemen (STOWA 2000-16). Vergeleken met Presta en HSA is het detailniveau van de kinetiek in SIMBA veel uitgebreider. Ook is SIMBA uitgerust met de mogelijkheid om procesregelingen in te bouwen, zoals deze in de praktijk ook worden gebruikt. SIMBA is met uitstekend geschikt om het effect door te rekenen van variaties in de tijd die op een rwzi kunnen optreden. Voor dit project is de dynamische SIMBA modellering geschikt gemaakt voor berekeningen met een uurgemiddelde tijdschaal. Gebruikelijk is SIMBA modelleringen op basis van gemiddelde dagwaardes toe te passen. Gezien de dynamiek in het rioolstelsel, was een benadering op basis van uurgemiddeldes noodzakelijk. De lange rekentijd vormt een belangrijke belemmering voor het toepassen van uurgemiddelde datareeksen. Echter door aanpassingen aan het SIMBA model en de toepassing van krachtige computers is gebleken dat de rekentijd per variant kan worden teruggebracht tot enkele uren. Praktisch gezien is voor wat betreft rekentijd geen reden om daggemiddelde SIMBA simulaties te gebruiken. Een voorwaarde is uiteraard dat er uurgemiddelde influentgegevens beschikbaar moeten zijn. De dimensies van de procesonderdelen zijn voor SIMBA en Presta identiek, enkel de rekenmethodiek is anders.

Er is gekozen voor een laagbelast omloopsysteem met een wisseltank en voordennitrificatie en biologische fosfaatverwijdering. In bijlage 3 zijn de details van de dimensionering, ontwerpgrondslagen en de uitgangspunten voor de modellering weergegeven.

4

RESULTATEN EN ANALYSE

4.1 METHODIEK

De resultaten van de modellering met Presta en SIMBA leveren informatie over de emissie via de rwzi. Deze emissie is statisch berekend op dagbasis (Presta) en dynamisch met een modeluitvoer op uurbasis (SIMBA). Alle resultaten zijn omgerekend naar jaaremissies en jaargemiddelde concentraties. Presta werkt met jaargemiddelde dagconcentraties en dagvrachten en niet met volumeproportionele dagconcentraties en dagvrachten. De SIMBA resultaten zijn wel volumeproportioneel berekend. Tevens is SIMBA nauwkeuriger in de waterbalans, het effluentvolume ligt 5% lager dan het influentvolume als gevolg van de onttrekking van slib. De emissies via de andere emissiepoorten van de afvalwaterketen, de regenwateruitlaten en overstorten, zijn tevens per jaar in beeld gebracht. Dit maakt het mogelijk om een inschatting te maken van de effecten op de totale emissie vanuit de afvalwaterketen door variaties in het aanvoerpatroon ten gevolge van aanpassingen aan de riolering.

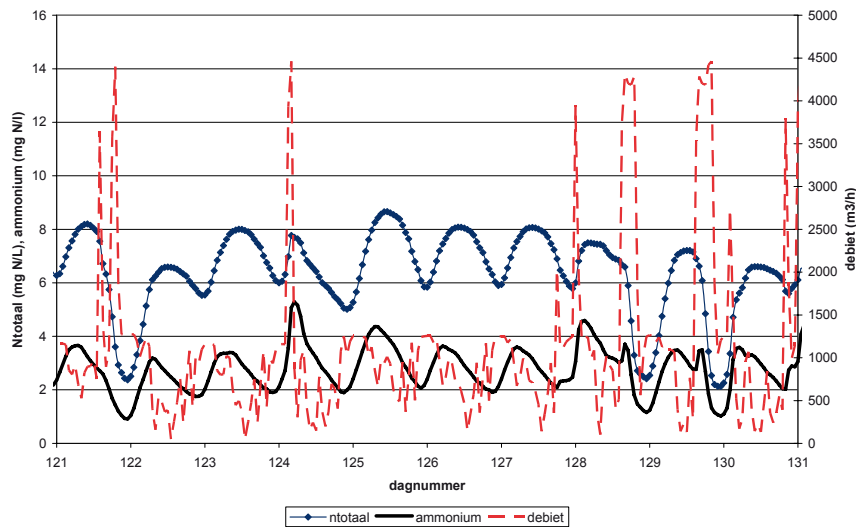
De resultaten zijn vervolgens vergeleken met de resultaten van de STOWA EMOS studie. De nadruk in deze analyse ligt bij het bepalen wanneer de in het EMOS model toegepaste aanpak met vaste rendementen bij de rwzi tekortschiet en derhalve een meer geavanceerde aanpak in de vorm van een statisch (Presta) of dynamisch (SIMBA) model noodzakelijk is.

4.2 RESULTATEN

In deze paragraaf worden in eerste instantie de emissies van de rwzi in beschouwing genomen. Waarbij eerst de resultaten voor de stikstofverwijdering in beeld worden gebracht (4.2.1), omdat de stikstofverwijdering op een rwzi een proces is dat relatief gevoelig is voor variaties in de aanvoer, gevolgd door de resultaten voor de overige stofgroepen (4.2.2). In tweede instantie komen de totale emissies van de afvalwaterketen aan de orde (4.2.4).

4.2.1 RESULTATEN MODELLERING STIKSTOFVERWIJDERING

Figuur 4-1 geeft ter illustratie het verloop van het debiet en de concentraties N_{totaal} en ammonium in het effluent voor een willekeurige periode van 10 dagen uit de met SIMBA door-gerekende reeks voor een gemiddeld Nederlands rioolstelsel (zonder persleiding). De concentraties N_{totaal} en ammonium in het effluent variëren sterk ten gevolge van variaties in het aanvoerpatroon. De concentratie ammonium vertoont de kenmerkende pieken aan het begin van een bui (piekdebiet gevolgd door piek in ammoniumconcentratie, terwijl de concentratie N_{totaal} na het begin van een bui snel daalt, om vervolgens weer rustig terug te keren naar het oorspronkelijk niveau.

FIGUUR 4-1 VERLOOP INFLUENTDEBIET EN EFFLUENTCONCENTRATIES N_{TOTAAL} EN AMMONIUM

4.2.1.1 Afkoppelen

Figuur 4-2 vat de met SIMBA gesimuleerde jaarreeks samen in een effluent jaarvracht en een gewogen gemiddelde effluent jaarconcentratie N_{totaal} voor de gemiddelde huidige Nederlandse situatie en voor de situatie waarin resp. 20 en 50% is afgekoppeld. Bij 20 % afkoppelen neemt het influentvolume met 5% af op jaarbasis, bij 50% afkoppelen is dit 14%. In figuur 4-2 zijn de absolute waarden weergegeven en de relatieve waarden t.o.v. de huidige situatie.

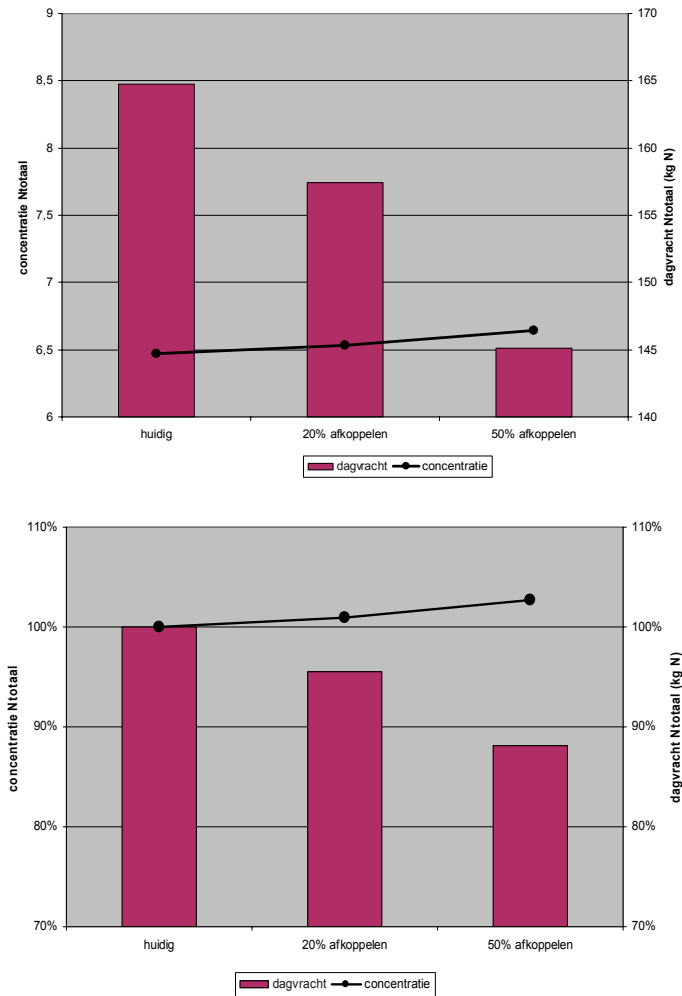
Het afkoppelen leidt tot een kleine toename van de jaargemiddelde N_{totaal} concentratie van 6.4 mg N/l in de huidige situatie tot 6.6 in de situatie met 50% afkoppelen. De N_{totaal} effluentvracht neemt af van 165 kg N_{totaal} /dag naar 145 kg N_{totaal} /dag, ofwel een afname van 12% bij 50% afkoppelen (zie ook onderstaande tabel).

TABEL 4.1 EFFECT AFKOPPELEN OP N-TOTAAL

	20 % afkoppelen	50 % afkoppelen
% verandering jaarvolume influent	-5 %	-14 %
% verandering dagvracht effluent	-5 %	-12 %

De afname van het influentvolume met 14% vertaalt zich volgens de berekeningen dus niet geheel maar wel grotendeels in een gelijke afname van de effluentvracht. Een klein deel van de afname van het influentvolume wordt teniet gedaan door gemiddeld iets hogere effluentconcentraties.

FIGUUR 4-2 EFFECT AFKOPPELEN OP STIKSTOFEMISSIE RWZI, BEREKEND MET SIMBA



Door het afkoppelen van regenwater zijn vooral de hydraulische variaties in de aanvoer minder sterk. Dit resulteert in een betere werking van de rwzi en een vermindering van de N-totaal emissie van de rwzi. De verminderde aanvoer van stikstof uit regenwater naar de rwzi speelt nauwelijks omdat de stikstofconcentratie in regenwater veel lager is dan de stikstofconcentratie in het influent.

4.2.1.2 Rioolvreed water

Figuur 4-3 geeft de N_{totaal} effluent jaarvracht en een gewogen gemiddelde effluent jaarconcentratie N_{totaal} voor de gemiddelde huidige Nederlandse situatie en voor de situatie waarin het rioolrioolvreed water met resp. 50 en 100% is gereduceerd. De reductie van de hoeveelheid rioolrioolvreed water met 50% leidt tot een reductie van het influentvolume met 12%, de reductie met 100% reduceert het influentvolume met 29% ten opzichte van de huidige situatie. In figuur 4-3 zijn de absolute waardes weergegeven en de relatieve waardes t.o.v. de huidige situatie.

De jaargemiddelde effluentconcentratie N_{totaal} neemt met de reductie van rioolvreed water toe van 6.5 mg N/l in de huidige situatie tot 7.9 mg N/l bij 100% reductie van rioolvreed water. Netto levert dit een reductie van de effluent jaarvracht aan N_{totaal} op van 13%, waarbij de gemiddelde dagvracht daalt van 164 naar 143 kg N/dag. Bij 50% reductie van de hoeveelheid rioolvreed water levert dit een reductie op van slechts 1% van de effluent jaarvracht. Zie ook onderstaande tabel 4.2.

TABEL 4.2 EFFECT REDUCTIE RIOOLVREEMD WATER OP N-TOTAAL

	50 % reductie rioolvreemd water	100 % reductie rioolvreemd water
% verandering jaarvolume influent	-12 %	-29 %
% verandering dagvracht effluent	- 1 %	-13 %

Voor N-totaal vertaalt de reductie in het jaarvolume als gevolg van de reductie van rioolvreemd water zich niet in gelijke mate in een reductie van de effluent dagvracht. Bij 50% reductie van rioolvreemd water neemt het jaarvolume met 12% af en de effluentconcentratie met ongeveer 12 % toe, met als gevolg een vrijwel gelijkblijvende dagvracht. Bij 100 % reductie van rioolvreemd water neemt het jaarvolume met 29% af, terwijl de toename van de effluentconcentratie blijft steken op 21%. Het effect van minder, maar 'dikker' influent is hiermee niet lineair! Opgemerkt dient te worden dat de absolute verschillen bij reductie van rioolvreemd water van geval tot geval anders zijn (blijft maatwerk). De verwachting is wel dat de hier gesignaleerde trend algemeen geldend is. Het feit dat in de situatie van deze studie bij 50% reductie van rioolvreemd water nauwelijks een effect op de dagvracht van het effluent wordt gevonden, wil niet zeggen dat dit in alle situaties zo is.

Overigens zou 50% reductie van rioolvreemd water tot een reductie van het influentvolume met 14% moeten leiden. Dit is slechts 12% door afrondingen in de invoer van rioolvreemd water debieten in Infoworks ten gevolge van een beperkt aantal in te voeren decimalen.

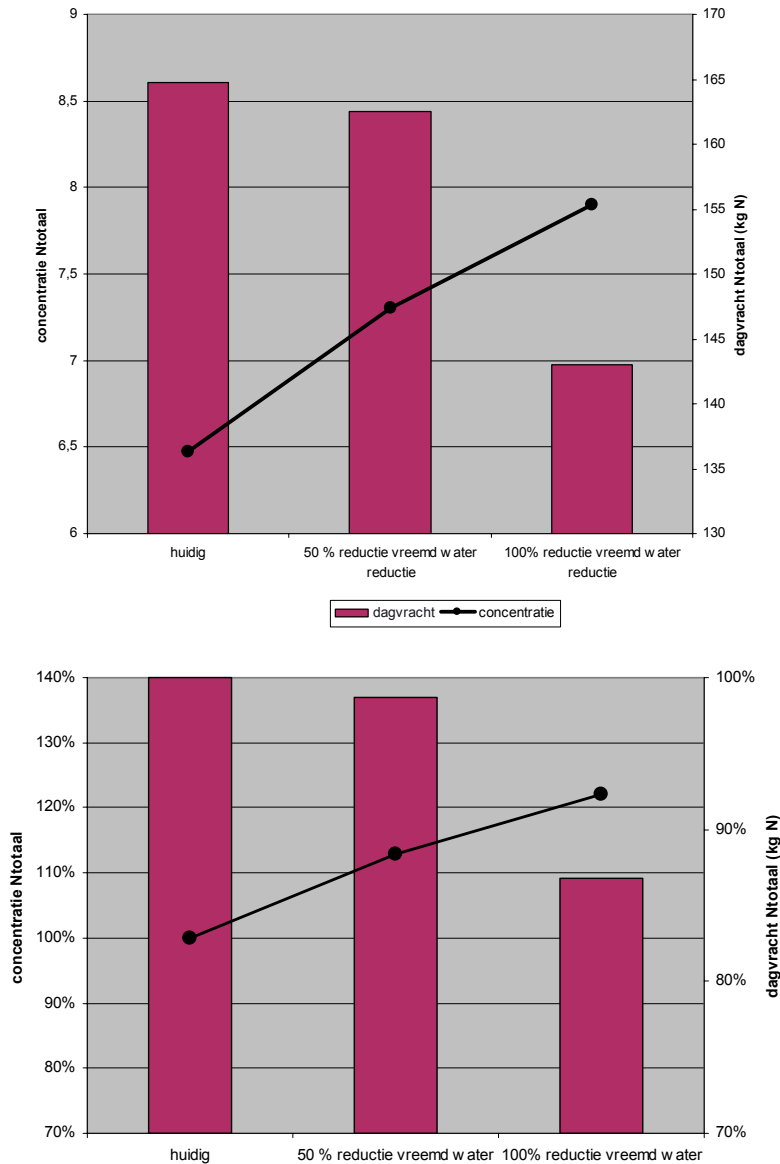
Reductie van rioolvreemd water leidt consequent tot een hogere influentconcentratie, vanwege de verminderde hydraulische aanvoer. Ook zijn over de hele linie, de hydraulische variaties in de aanvoer kleiner. De chemische en biologische processen in een rwzi, zijn sterk concentratie gestuurd.

Voor het rwzi effluent is een N-totaal eis van 10 mg/l gangbaar. Bij een influent N-totaal concentratie van 75 mg/l dient er 65 mg/l (87%) te worden verwijderd. Indien de influentconcentratie stijgt (als gevolg van de reductie van rioolvreemd water) naar bijvoorbeeld 150 mg/l, dan dient er 140 mg/l (93%) te worden verwijderd. Stijging van de concentratie leidt er toe dat aan de rwzi hogere rendementseisen worden opgelegd om de effluent vergunningseis te halen. Deze studie laat zien dat, ondanks de verhoging van de effluentconcentratie, de reductie van rioolvreemd water gepaard gaat met een verlaging van de vrachtemissie naar het ontvangende oppervlaktewater.

In deze studie is aangenomen dat rioolvreemd water vrij is van de in deze studie bekeken componenten. De samenstelling kan echter lokaal sterk variëren. Alleen voor het geval dat de concentratie van bepaalde componenten in rioolvreemd water hoger ligt dan in het influent van de rwzi, zou het reduceren van rioolvreemd water kunnen leiden tot een verlaging van de concentratie van deze componenten in het influent. Voor de meeste componenten is dit onwaarschijnlijk.

Analoog aan het afkoppelen van regenwater is van belang of bepaalde componenten hoger in concentratie zijn dan het effluent van de rwzi en tevens van belang is of als gevolg van het reduceren van rioolvreemd water deze componenten direct in het oppervlaktewater terechtkomen en niet via de rwzi.

FIGUUR 4-3 EFFECT REDUCTIE RIOOLVREEMD WATER OP STIKSTOFEMISSION RWZI, BEREKEND MET SIMBA



4.2.1.3 DWA afvlakking

Naast de gepresenteerde varianten met afkoppelen en rioolvreemd water is ook een variant doorgerekend waarin DWA afvlakking is toegepast. De DWA in het model is afgevlakt door de capaciteit van de DWA pomp te reduceren en het inslagpeil van de RWA pomp zo te kiezen dat tijdens droog weer voldoende DWA in het stelsel gebufferd kan worden. Voor het beschouwde laagbelaste systeem leidt DWA afvlakking tot een afname van de effluent jaarvracht N_{totaal} met 2%, in tabel 4-6 zijn de onderliggende waarden weergegeven.

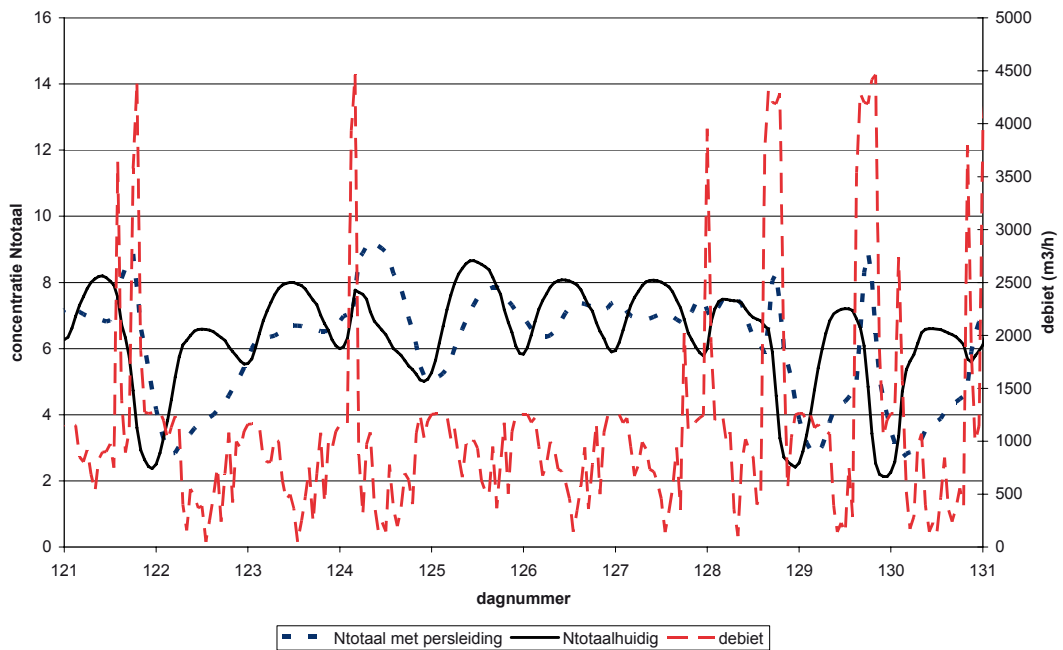
4.2.1.4 Invloed persleiding

De invloed van de lay out van het transportsysteem is onderzocht door een persleiding met een hydraulische verblijftijd van 6 en 12 uur onder dwa omstandigheden mee te modelleren. In figuur 4.6 zijn de resultaten weergegeven in absolute waarden en relatief t.o.v. de huidige situatie.

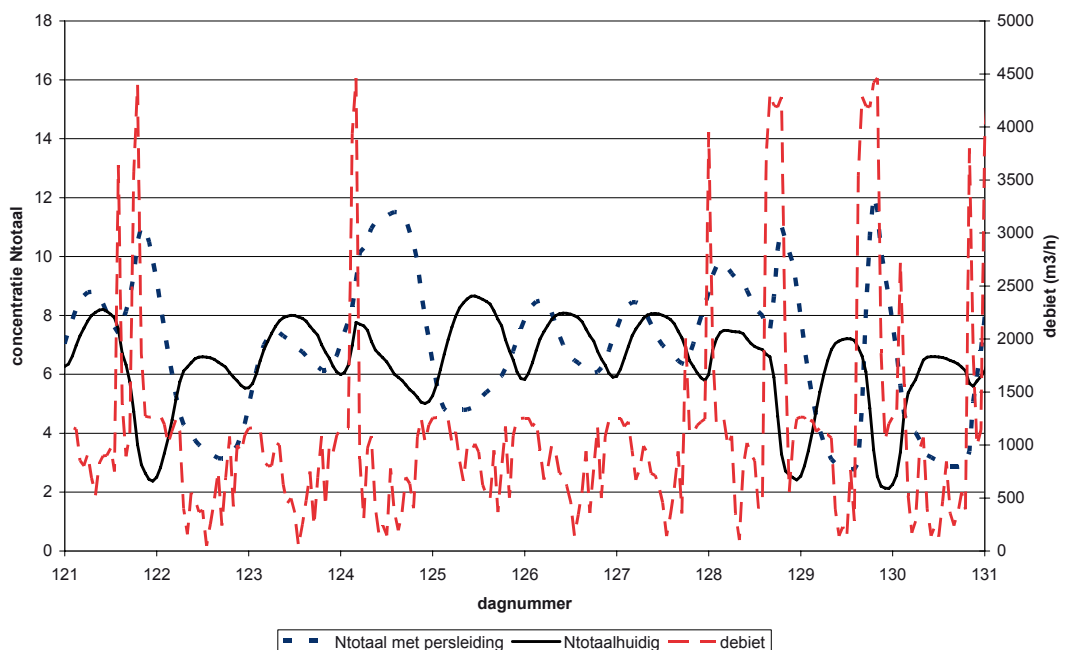
Figuur 4-4 geeft een overzicht van het patroon voor dezelfde periode als in figuur 4-1 voor de situatie met een persleiding met een verblijftijd van 6 uur. De aanwezigheid van deze persleiding leidt tot beperkt hogere pieken tijdens rwa, maar tot lagere concentraties na afloop van de bui. Het totale effect van een dergelijke persleiding is beperkt tot een toename van de gemiddelde effluent dagvracht van 165 naar 170 kg N_{totaal} /dag.

Figuur 4-5 geeft een overzicht van het effect van een persleiding met een verblijftijd van 12 uur. De effluentpieken nemen flink toe en vertalen zich ook in een toename van de gemiddelde effluent dagvracht N_{totaal} tot 187 kg N/dag, een toename van 14%! Dit is te verklaren door een grotere DWA prop die naar de rwzi wordt afgevoerd bij RWA, waarbij de variatie in de belasting niet volledig door de rwzi kan worden verwerkt.

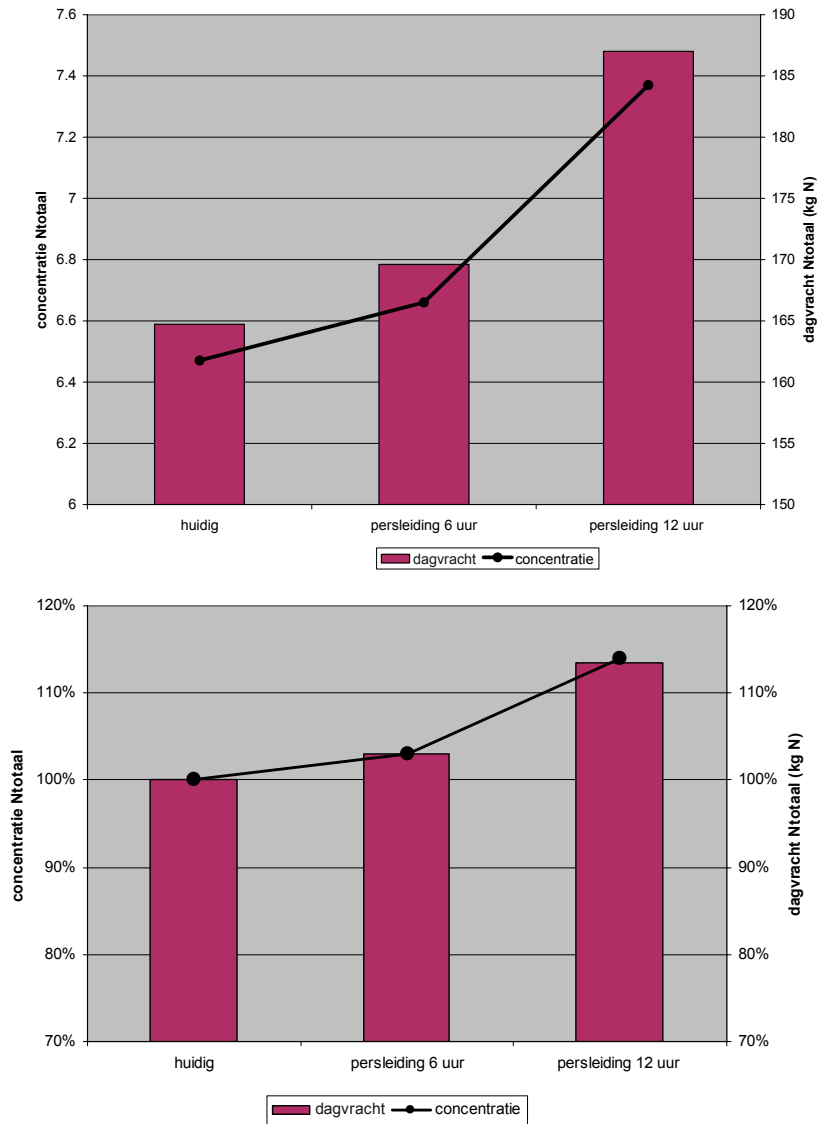
FIGUUR 4-4 VERLOOP N_{TOTAAL} CONCENTRATIES IN SITUATIE MET PERSLEIDING MET 6 UUR VERBLIJFTIJD BIJ DWA EN SITUATIE ZONDER PERSLEIDING



FIGUUR 4-5 VERLOOP N_{TOTAAL} CONCENTRATIES IN SITUATIE MET PERSLEIDING MET 12 UUR VERBLIJFTIJD BIJ DWA EN SITUATIE ZONDER PERSLEIDING



FIGUUR 4-6 EFFECT AANWEZIGHEID PERSLEIDING OP STIKSTOFEMISSION RWZI, BEREKEND MET SIMBA



4.2.1.5 Overzicht N-totaal

Tabel 4.3 geeft het overzicht van de N-totaal emissie van de rwzi voor de met SIMBA doorgerekende varianten. Weergegeven zijn naast de gemiddelde effluent dagvracht en de jaargemiddelde effluentconcentratie ook het verwijderingsrendement. De gemiddelde jaarvracht kan eenvoudig uit de gemiddelde dagvracht worden afgeleid door te vermenigvuldigen met 365.

TABEL 4-3 OVERZICHT EMISSIE N_{TOTAAL} MET SIMBA DOORGEREKENDE VARIANTEN

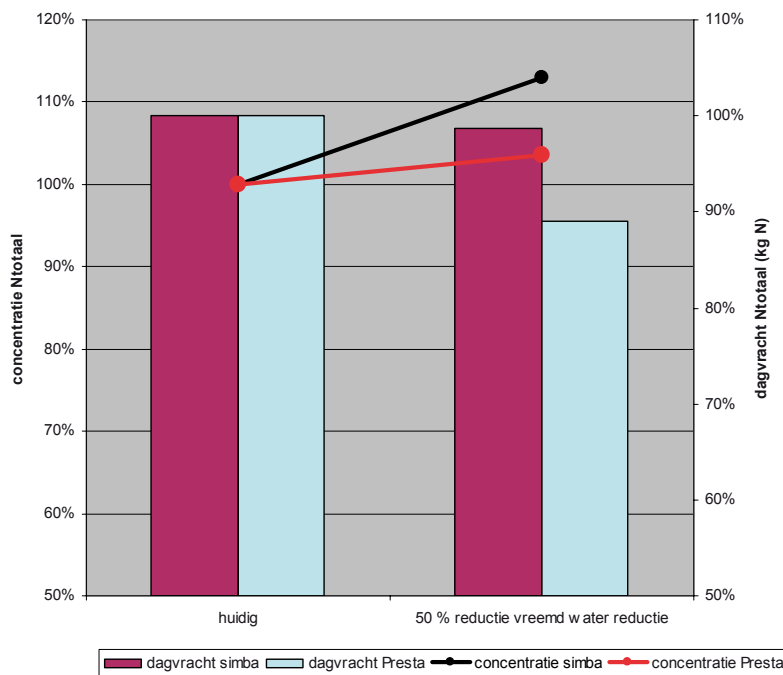
	Daggemiddelde vracht N _{totaal} (kg N/d)	Jaargemiddelde N _{totaal} concentratie (mg N/l)	Verwijderings-rendement (%)
Huidige situatie	165	6.5	82,7 %
20% afkoppelen	157	6.5	84,0%
50 % afkoppelen	145	6.6	84,2%
50% reductie rioolvreemd water	163	7.3	83,9%
100 % reductie rioolvreemd water	143	7,9	83,2%
Dwa afvlakking	161	6.5	83,4%
Persleiding 6 uur dwa verblijftijd	170	6.7	82,2%
Persleiding 12 uur dwa verblijftijd	187	7.4	80,3%

4.2.1.6 Vergelijking statisch-dynamisch modelleren

De simulatieresultaten van de dynamische simulatie met SIMBA zijn vergeleken met het statische model Presta. Van belang is dat Presta werkt met jaargemiddelde dagconcentraties en dagvrachten en niet met volumeproportionele dagconcentraties en dagvrachten. De SIMBA resultaten zijn wel volumeproportioneel berekend, wat meer overeenkomt met de praktijk. Ook dient te worden gerealiseerd dat in de SIMBA simulatie een, in de praktijk gangbare, procesregeling voor de ammonia concentratie is opgenomen. Voor de vergelijking statisch-dynamisch modelleren dient de richting (trend) van de resultaten in beschouwing te worden genomen, niet zozeer de verschillen in absolute waarden.

Figuur 4-7 geeft een vergelijking tussen de simulatieresultaten van SIMBA en Presta waarin de effecten van 50% reductie van rioolrioolvreemd water is doorgerekend. De absolute waarde van de concentraties en vrachten verschilt. Dit komt voort uit het feit dat in SIMBA en Presta is gerekend met de default modelinstellingen en niet is gestreefd naar het op elkaar laten passen van de resultaten. De figuur 4.7 laat zien dat beide modellen als resultaat dezelfde trends geven en daarmee leiden tot dezelfde conclusies bij het beschouwen van het effect van rioolvreemd water. Beide modellen laten zien dat de effluentconcentratie toeneemt en de effluentvracht juist afneemt bij de reductie van rioolrioolvreemd water.

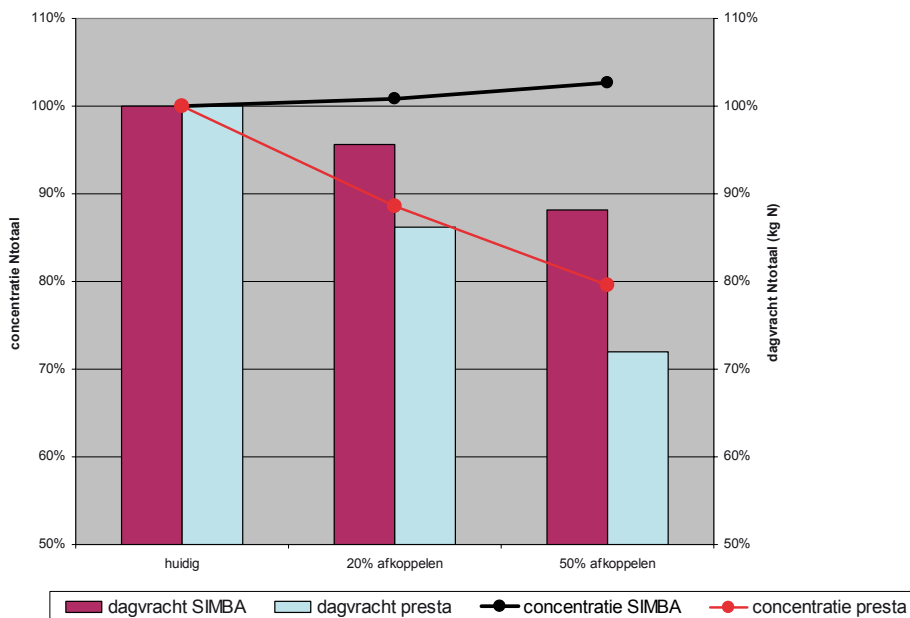
FIGUUR 4-7 EFFECT REDUCTIE RIOOLVREEMD WATER OP STIKSTOFEMISSION RWZI, BEREKEND MET SIMBA EN PRESTA



De toename in concentraties bij reductie van rioolrioolvremd water, zoals in figuur 4-7 te zien is voor de simulatie met SIMBA, ligt in de lijn der verwachting. Het feit dat de concentratie in de simulaties met PRESTA niet toeneemt bij 50% rioolvremd water reductie wordt veroorzaakt door het feit dat in de berekeningen de concentratie onafbreekbaar organisch N in het effluent een vaste waarde heeft en niet een fractie is van de influentconcentratie.

Figuur 4-8 geeft een vergelijking tussen de simulatieresultaten van SIMBA en Presta waarin de effecten van afkoppelen zijn doorgerekend. Te zien is dat beide modellen voor wat betreft vrachten beiden een afname geven, maar voor wat betreft jaargemiddelde effluentconcentratie een afwijkend beeld laten zien. De resultaten in dit voorbeeld maken duidelijk dat de doorwerking van afkoppelen in het statisch model Presta veel groter is dan in het dynamische model SIMBA. Bij afkoppelen nemen de concentraties in het influent toe en de vrachten af (de vracht uit neerslag wordt minder). In SIMBA leidt dit nauwelijks tot wijzigingen in concentraties, terwijl dit in PRESTA wel doorwerkt in de effluentconcentratie. Een belangrijke oorzaak hiervoor is de ammoniaprocesregeling die in het SIMBA model is opgenomen.

FIGUUR 4-8 EFFECT AFKOPPELEN OP STIKSTOFEMISSIE RWZI, BEREKEND MET SIMBA EN PRESTA



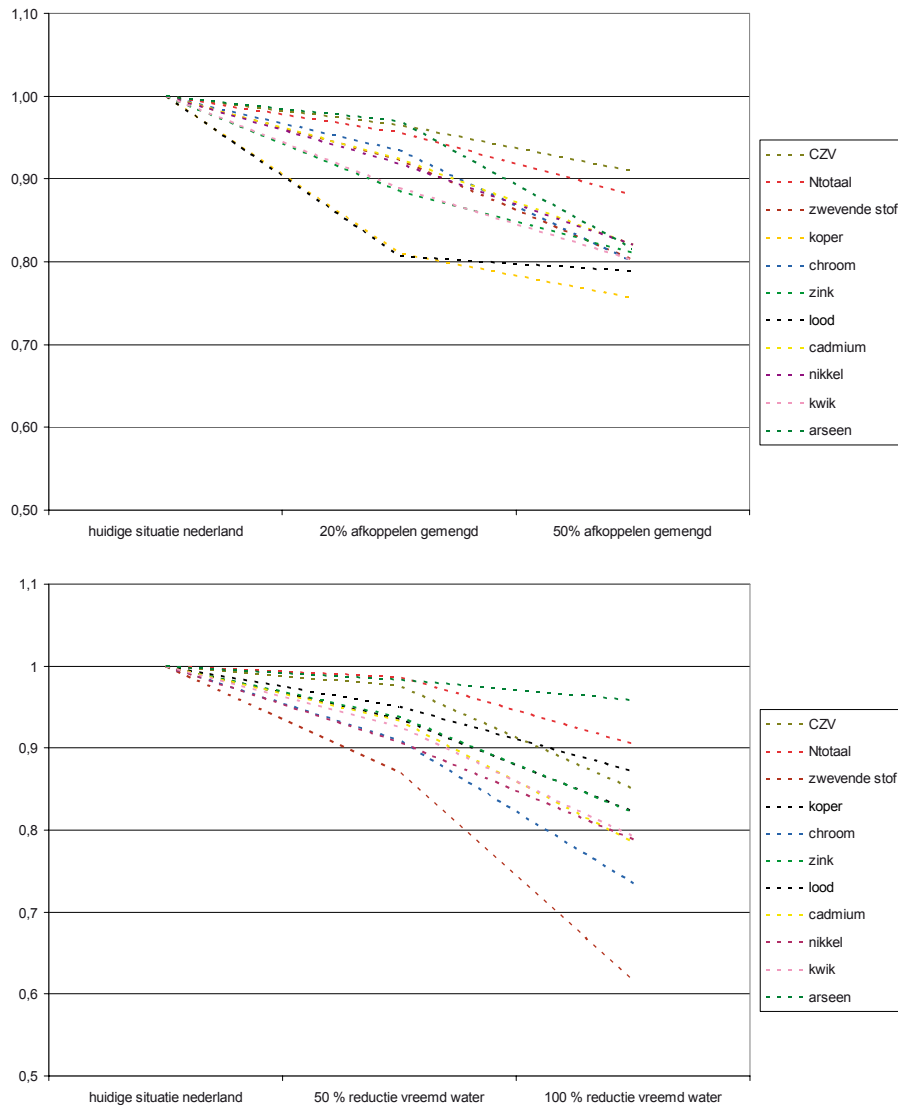
4.2.2 RESULTATEN MODELLERING OVERIGE STOFFEN

Zoals aangegeven in tabel 3.3 zijn naast stikstof ook zwevende stof, CZV en zware metalen gemodelleerd. Figuur 4-9 geeft voor al deze stoffen een overzicht van de relatieve verschillen in jaarvrachtemissie tussen de huidige situatie en de doorgerekende varianten. De modelresultaten voor CZV, stikstof en zwevende stof zijn rechtstreeks afkomstig uit SIMBA, de resultaten voor de zware metalen zijn gebaseerd op de slibproductie en het effluentdebiet die zijn berekend met behulp van SIMBA.

Alle stoffen laten een beeld zien dat overeenkomt met het beeld voor stikstof:

- bij afkoppelen neemt de emissie via de rwzi af ten opzichte van de huidige situatie
- bij de reductie van rioolvremd water geldt dit ook.

FIGUUR 4-9 OVERZICHT EMISSIES RWZI, BEREKEND MET SIMBA



De trend is voor beide type maatregelen duidelijk dalend als functie van de genomen maatregelen. Afkoppelen leidt tot een reductie van de zware metalen vracht, nog verder afkoppelen tot een nog grotere reductie. Opvallend is dat de reductie van rioolvreemd water ook leidt tot een zware metalen vrachtreductie, alleen deze is groter en kent een grotere spreiding. De metalen geven onderling een sterk variërend beeld, hetgeen komt door de verschillen in binding van metalen aan het slib en, bij afkoppelen, door verschuivingen in de hoeveelheden zware metalen doordat de bijdrage vanuit neerslag afneemt.

4.2.3 OVERZICHT RESULTATEN EMISSIES RWZI

Tabel 4-4 geeft een overzicht van de verwijderingsrendementen bij de verschillende varianten. De zuiveringsrendementen blijken maximaal enkele procenten te variëren. De effluentconcentraties variëren sterker (Tabel 4.5). Het hanteren van een vaste effluentconcentratie bij de beschouwing van het effect van de reductie van rioolvreemd water is hiermee een duidelijk minder goede benadering dan het hanteren van een vast rendement, zoals is toegepast in EMOS. Een verschil in rendement van enkele procenten of enkele tienden van procenten, lijkt op het eerste gezicht niet relevant. Deze ordegrrootte kan echter het verschil uitmaken tussen het wel of niet halen van effluenteisen. Een klein verschil in rendement kan grote invloed hebben op de effluentconcentratie.

TABEL 4-4 OVERZICHT RWZI VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VOOR DE VRACHTEN PER STOF EN PER VARIANT. TER VERGELIJKING IS OOK HET GEMIDDELDE RENDEMENT VOOR NEDERLAND OP BASIS VAN CBS CIJFERS OVER 2004-2005 OPGENOMEN

	Verwijderingsrendement (%)									
	CZV	Ntotaal	zwevende stof	koper	chrom	zink	lood	cadmium	nikkel	kwik
PraktijkNederland (CBS meetgegevens)	92%	79%	-	91.7%	82.5%	80.1%	84.6%	79.9%	58.6%	74.8%
Huidige situatie (referentie)	94.4%	82.7%	97.1%	88.8%	72.3%	65.0%	76.8%	55.6%	35.0%	71.7%
20% afkoppelen	94.6%	84.0%	97.3%	91.0%	74.5%	67.9%	80.5%	57.9%	39.0%	74.5%
50 % afkoppelen	94.5%	84.2%	97.4%	91.0%	76.7%	68.1%	79.3%	59.6%	41.2%	75.2%
50% reductie rioolvreemd water	94.8%	83.9%	97.6%	90.0%	76.0%	68.1%	78.5%	59.9%	46.9%	74.8%
100 % reductie rioolvreemd water	94.7%	83,2%	98.0%	89.7%	77.3%	68.4%	77.7%	61.6%	48.3%	75.2%
Dwa afvlakking	94.6%	83.4%	97.2%	89.9%	74.7%	65.9%	77.0%	57.3%	43.7%	73.1%

TABEL 4-5 OVERZICHT JAARGEMIDDELDE EFFLUENTCONCENTRATIE PER STOF EN PER VARIANT. TER VERGELIJKING IS OOK DE JAARGEMIDDELDE EFFLUENTCONCENTRATIE VOOR NEDERLAND OP BASIS VAN CBS CIJFERS OVER 2004-2005 OPGENOMEN

	Jaargemiddelde concentratie										
	CZV (mg/l)	Ntotaal (mg/l)	zwevende stof (mg/l)	Koper (µg/l)	Chroom (µg/l)	Zink (µg/l)	Lood (µg/l)	Cadmium (µg/l)	Nikkel (µg/l)	Kwik (µg/l)	Arseen (µg/l)
PraktijkNederland (CBS meetgegevens)	42	9	9	7,6	1,8	51,0	3,8	0,2	4,7	0,06	
Huidige situatie	21.9	6.5	4.5	4.1	1.3	44.8	3.6	0.10	3.8	0.03	
20% afkoppelen	22.3	6.5	4.4	3.5	1.3	41.9	3.1	0.10	3.7	0.03	
50 % afkoppelen	23.2	6.6	4.2	3.6	1.2	42.3	3.3	0.10	3.6	0.03	
50% reductie rioolvreemd water	24.4	7.3	4.5	4.4	1.3	48.1	3.9	0.11	3.7	0.03	
100 % reductie rioolvreemd water	28.5	9.0	4.2	5.2	1.5	56.4	4.8	0.13	4.2	0.04	
Dwa afvlakking	21.7	6.2	4.5	3.8	1.2	44.1	3.6	0.10	3.3	0.03	

Tabel 4.6 geeft een overzicht van de effluent jaarvrachten.

TABEL 4-6 OVERZICHT EFFLUENT JAARVRACHTEN

concentraties	Jaarvrachten										
	CZV (kg/j)	Ntotaal (kg/j)	zwevende stof (kg/j)	Koper (g/j)	Chroom (g/j)	Zink (g/j)	Lood (g/j)	Cadmium (g/j)	Nikkel (g/j)	Kwik (g/j)	Arseen (g/j)
Huidige situatie	203186	60124	41568	38172	12000	416189	33308	971	35084	298	6117
20% afkoppelen	196115	57470	38397	30932	11218	368357	26890	897	32240	265	5935
50 % afkoppelen	184801	52973	33342	28895	9601	337496	26274	797	28790	239	4992
50% reductie rioolvreemd water	198254	59326	36172	35736	10911	390292	31658	906	31836	276	6017
100 % reductie rioolvreemd water	172840	52344	25638	31403	8822	342183	29026	762	27652	236	5862
Dwa afvlakking	196955	58653	40383	34685	11029	398040	32354	922	33510	282	5683

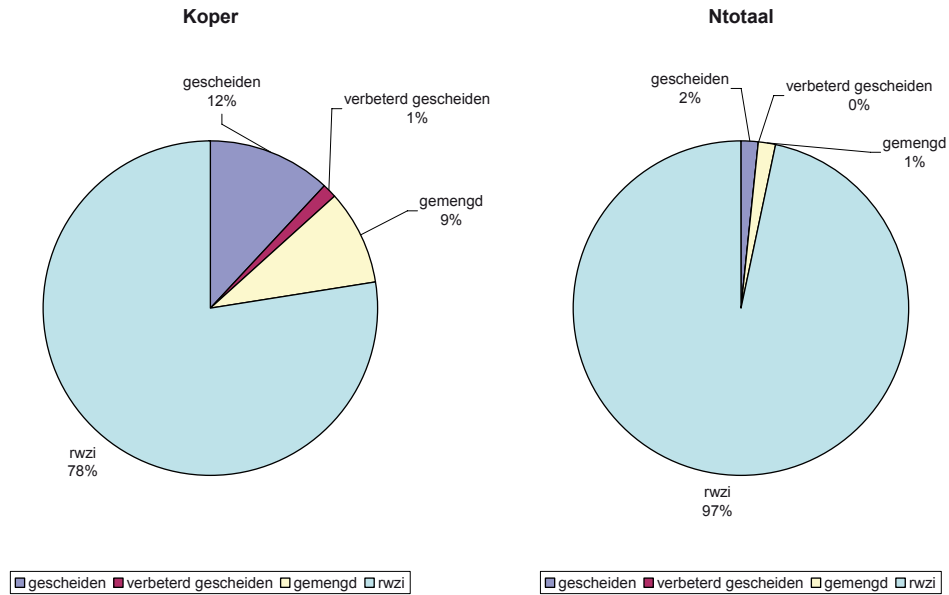
4.2.4 TOTALE EMISSIES AFVALWATERKETEN

De emissie via de rwzi, zoals beschouwd in de voorgaande paragrafen, is slechts de emissie bij een van de lozingspunten vanuit de afvalwaterketen. In deze paragraaf wordt de totale emissie vanuit de afvalwaterketen in beeld gebracht voor de verschillende varianten. Voor de varianten waarin afkoppelen is opgenomen is uitgegaan van het rechtstreeks afkoppelen van

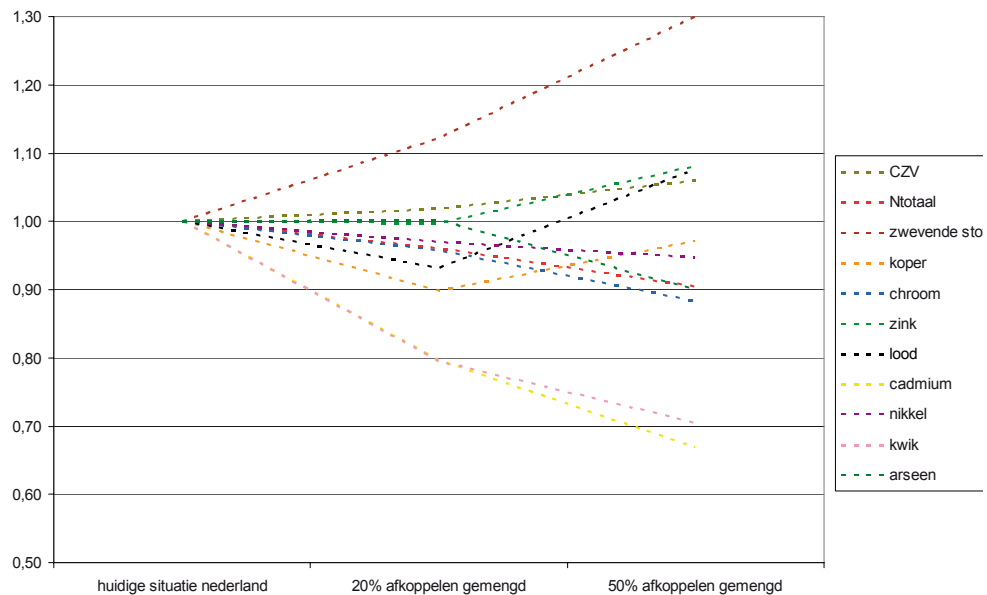
het verhard oppervlak naar het oppervlaktewater. Voor het effect van andere methoden wordt verwezen naar het STOWA rapport EMOS.

Ter informatie geeft figuur 4-11 een overzicht van de verdeling van de jaaremissie voor N en Cu voor de huidige situatie. De relatieve bijdrage van de emissie vanuit rioolstelsels is voor stikstof zeer klein, terwijl dit voor koper wel degelijk significant is.

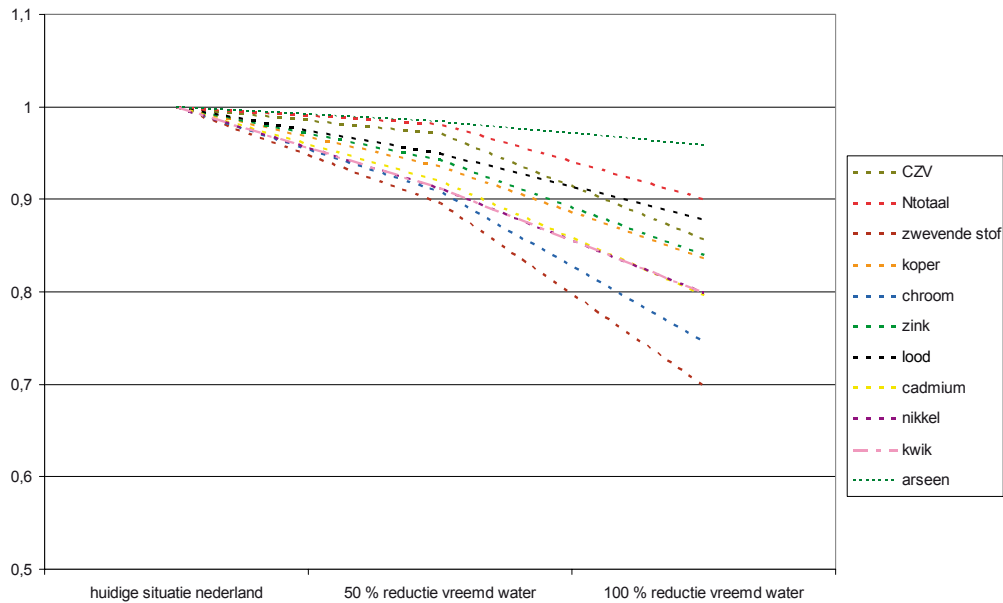
FIGUUR 4-11 OVERZICHT EMISSIE AFVALWATERKETEN PER LOZINGSPUNT VOOR KOPER EN STIKSTOF



FIGUUR 4-12A GEEFT EEN TOTAALBEELD VAN DE RELatieve EMISSIES BIJ DE VERSCHILLENDE VARIANTEN



FIGUUR 4-12B TOTAALBEELD RELATIEVE EMISSIES AFVALWATERKETEN PER VARIANT



Zoals verwacht blijven de verschillen tussen de huidige situatie en de varianten met reductie van rioolvreemd water vrijwel gelijk voor de emissie van de rwzi en de emissie van de totale afvalwaterketen. De trend van de effecten op de emissie van de rwzi en de trend van de effecten op de emissie van de totale afvalwaterketen zijn gelijk voor de reductie van rioolvreemd water. Dit is logisch, aangezien de enige wijziging in de emissie een (zij het kleine) reductie van het overstortend volume betreft en deze bron nauwelijks bijdraagt aan de totale emissie vanuit het afvalwatersysteem.

Voor afkoppelen zijn de verschillen tussen de emissie van de rwzi en de emissie van de totale afvalwaterketen groter. De emissie voor nutriënten verandert nauwelijks, aangezien deze ook slechts in lage concentraties in het regenwater aanwezig zijn. Dit geldt niet voor zwevende stof, de concentratie in regenwater is aanzienlijk en daarmee ook de bijdrage op het totaal. De emissie voor metalen zink en lood neemt ten opzichte van de huidige situatie toe. Dit kan worden verklaard uit het feit dat de concentraties in onbehandeld afgekoppeld regenwater hoger liggen dan in rwzi effluent. Dit effect weegt niet op tegen het niet-lineaire adsorptiegedrag van de zware metalen aan het zuiveringsslib. Dit is in lijn met de resultaten van de STOWA EMOS studie (expertmodel afkoppelen). Voor andere metalen, zoals chromium, liggen de concentraties in effluent juist hoger, waarmee afkoppelen juist positief uitwerkt.

De spreiding in resultaten is voor de totale afvalwaterketen groter dan voor de rwzi. Voor sommige stoffen is afkoppelen altijd gunstig (bijvoorbeeld cadmium of kwik): de emissie via de rwzi en via de overstorten neemt af en de emissie via het rechtstreeks geloosde hemelwater neemt in verhouding minder toe door de lage concentraties in afstromend hemelwater. Voor stoffen die wel significant in afstromend hemelwater zitten wordt het positieve effect van afkoppelen bij rwzi en overstort teniet gedaan en neemt bij hoge afkoppelpercentages de emissie zelfs toe (lood, zink, CZV, zwevende stof). Indien we alle zware metalen gezamenlijk in beschouwing nemen, dan zou voor afkoppelen voorzichtig geconcludeerd mogen worden dat het totale effect van afkoppelen op de emissie van de afvalwaterketen neutraal is. Opgemerkt wordt wel dat bij afkoppelen meer lozingen van zware metalen lokaal en diffuus op het oppervlaktewater worden geloosd.

4.3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De conclusies die uit het opzetten van de methodiek en de analyse van de resultaten zijn te trekken, zijn navolgend samengevat. De resultaten van onderhavige studie hebben invulling kunnen geven aan de beoogde doelstellingen.

EMISSIES VAN N-TOTAAL

Afkoppelen leidt nauwelijks tot een verandering van de N-totaal concentratie in het effluent van de rwzi. Afkoppelen leidt tot een afname van de stikstof effluent vracht. Deze afname komt niet geheel maar wel voor een belangrijk deel overeen met de afname van het influentvolume a.g.v. afkoppelmaatregelen. De daling van de N-totaal vracht verloopt grotendeels evenredig met de daling van het influentvolume. In het bereik van de onderzochte afkoppelpercentages (20-50%) is de daling van de vracht in de orde van 5-15%.

Reductie van de hoeveelheid rioolvreemd water leidt tot een sterke verhoging van de N-totaal concentratie in het effluent van de rwzi. Bij 50% reductie van rioolvreemd water daalt de N-totaal vracht echter nauwelijks. Bij volledige eliminatie van rioolvreemd water in het rioolstelsel daalt het influentvolume met ca. 30%. De N-totaal effluentvracht daalt slechts 13%. De daling van het influentvolume houdt geen gelijke tred met de daling van de N-totaal effluentvracht doordat de effluentconcentraties toenemen. De reductie van rioolvreemd water leidt dus tot twee effecten die elkaar tegenwerken:

- een afname van het volume afvalwater en daardoor lagere emissies;
- een toename van de influentconcentraties en uiteindelijk ook de effluentconcentraties en daardoor hogere emissies.

Welk effect dominant is, is afhankelijk van het huidige ‘werkpunt’ van de rwzi.

Gebleken is dat voor stikstof de emissie van de rwzi dominant is in de afvalwaterketen. Gezien dit feit, is het beeld voor wat betreft N-totaal voor alle emissiepoorten van de afvalwaterketen gelijk aan het beeld wat de emissie van de rwzi laat zien.

DWA afvlakking leidt voor N-totaal tot een geringe daling van 2% in de de N-totaal vracht..

EMISSIES VAN ZWARE METALEN

De emissie van zware metalen uit de rwzi laat een beeld zien dat overeenkomt met het beeld voor totaal stikstof. Bij afkoppelen neemt de emissie via de rwzi af ten opzichte van de huidige situatie, bij de reductie van rioolvreemd water geldt dit ook. In het onderzochte afkoppelbereik van 20-50% neemt de zware metalen emissie via de rwzi af in een range van 5-20%. De afname is verschillend per metaal. De reductie van rioolvreemd water laat vergelijkbare percentages zien bij 50% reductie van rioolvreemd water. Bij 100% reductie bedraagt de gemiddelde afname circa 20%. Reductie van rioolvreemd water leidt tot een afname van beschikbaar water waarin zware metalen vanuit het slib kunnen worden opgenomen. Dit hangt samen met de adsorptiekinetiek van zware metalen aan zuiveringsslib.

De metalen geven onderling een sterk wisselend beeld, vanwege de verschillen in binding van metalen aan het slib en (in het geval van afkoppelen) door verschuivingen in de hoeveelheden zware metalen doordat de bijdrage vanuit neerslag afneemt.

Voor de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen (alle emissiepoorten) blijft het beeld voor wat betreft de reductie van rioolvreemd water identiek aan het beeld van de emissie via de rwzi. Dit kan worden verklaard doordat de reductie van rioolvreemd water slechts een beperkte reductie in het overstortend volume oplevert en deze emissiepoort levert slechts een kleine bijdrage aan de totale emissie van het afvalwatersysteem.

De effecten van afkoppelen voor de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen wijken sterk af van de emissie via de rwzi. De emissies van zink en lood nemen met 5-10% toe, ook koper laat bij verdergaande afkoppelpercentages een stijgend beeld zien. De overige metalen laten een lichte daling zien (5-10%), bij cadmium en kwik is echter een daling van 20-30% berekend. De emissie van zware metalen is een resultante van de afstroming van onbehandeld regenwater en het veranderende (niet lineaire) adsorptiegedrag van zware metalen als gevolg van veranderingen in de zware metalen concentratie en de slibproductie. Dominant hierin is dat de concentraties van bijvoorbeeld zink en lood in onbehandeld afgekoppeld regenwater hoger liggen dan in rwzi effluent. Dit effect weegt niet op tegen het effect van het niet lineaire adsorptiegedrag van deze metalen aan het slib.

Voor enkele metalen (bijvoorbeeld chroom, cadmium en kwik) liggen de concentraties in het effluent juist hoger, waardoor afkoppelen positief uitwerkt. De concentratie zwevende stof ligt in onbehandeld afgekoppeld regenwater aanzienlijk hoger dan in effluent van de rwzi. Afkoppelen leidt dan ook tot een sterke toename van de vrachtenemissie zwevende stof voor de totale afvalwaterketen.

Door toepassing van DWA afvlakking kan voor zware metalen globaal een daling van 5% worden berekend in de emissie van de afvalwaterketen.

SPIEGELING AAN HET STOWA PROJECT EMOS

In het STOWA project EMOS (Stowa rap. no. 2008-15) is voor het schatten van de emissie vanuit de rwzi als onderdeel van de totale emissie uit de afvalwaterketen gebruik gemaakt van een vast verwijderingsrendement. Dit leidt bijvoorbeeld tot de constatering dat de aanwezigheid van rioolvreemd water geen effect heeft op de geloosde vrachten doordat de verdunning rechtstreeks doorwerkt. Een andere benadering die veel wordt gebruikt bij het benoemen van de effecten van rioolvreemd water is het aannemen van een vaste effluentconcentratie, waarmee de effluentvracht evenredig toeneemt met het effluentdebiet (en dus met de hoeveelheid rioolvreemd water). Deze studie heeft aangetoond dat het eerder te verwachten is dat het effect van rioolvreemd water tussen beide benaderingen in ligt. Bij hogere percentages rioolvreemd water is dit een significant effect.

Het in deze studie berekende effect van afkoppelen komt over het algemeen goed overeen met het beeld dat is ontstaan in het STOWA project EMOS.

Belangrijk om op te merken in dit verband is dat het verschil tussen het wel of niet halen van effluenteisen af kan hangen van verschillen in de ordegrrootte van enkele procenten of tienden van procenten (afhankelijk van de component) in het rendement. In deze studie zijn veelvouden van deze verschillen in rendementen vastgesteld.

DIMENSIONERING VAN DE RWZI

De dimensies van de rwzi zijn op basis van de influentgegevens vastgesteld aan de hand van HSA/Presta berekeningen en STOWA richtlijnen. Opgemerkt dient te worden dat met deze ontwerpmodellen langjarige ervaring is en dat deze modellen zijn getoetst met praktijkgegevens. De karakteristiek van deze praktijk is analoog aan de karakteristiek zoals deze is gedefinieerd in de referentiesituatie van deze studie. Het effect van rioolvreemd water en regenbuien is dan ook impliciet meegenomen in de ontwerpmodellen. De dimensionering van de rwzi's op basis van deze modellen (referentie ontwerp) is dan ook zodanig robuust dat fluctuaties in de aanvoer voor een belangrijk deel kunnen worden opgevangen. In deze studie zijn met dit referentie-ontwerp als uitgangspunt, het effect van maatregelen in de afvalwaterketen bekeken. De onderzochte maatregelen leiden er in veel gevallen toe dat de fluctuaties in de aanvoer naar de rwzi geringer worden. In een aantal gevallen is dan ook een verlaging van de emissie vanuit de rwzi berekend, hetgeen volgens verwachting is. Gerealiseerd dient

echter te worden dat de rwzi zoals die bepaald is in het referentie ontwerp overgedimensioneerd kan zijn indien er maatregelen in het aanvoerstelsel worden getroffen. Omgekeerd kan beredeneerd worden dat in een dergelijk geval de rwzi kleiner gedimensioneerd kan worden bij gelijkblijvende prestaties.

Een kosten-baten analyse (zoals toegepast bij de standaard studies voor optimalisatie van afvalwatersystemen) van maatregelen in de afvalwaterketen is hier dan ook op z'n plaats.

ONTWIKKELING VAN REKENMETHODIEK

Een rekenmethodiek is ontwikkeld waarmee de dynamiek in een rioolstelsel kan worden gekoppeld aan de dynamiek van een rioolwaterzuiveringsinstallatie. Deze dynamiek uit zich in veranderingen in het aanvoerpatroon, waardoor aanvoerdebieten, concentraties van componenten en vrachten van deze componenten in de tijd onderhevig zijn aan veranderingen. Vervolgens vertaalt deze dynamiek zich in veranderingen van de zuiveringsprestaties van de rwzi. Limiterend in de koppeling tussen de dynamiek in de aanvoer van het rioolstelsel en de dynamiek van de rwzi is de dynamische simulatie van de rwzi. Deze laatste vergt veruit de meeste rekentijd. Om in het kader van dit type studies betrouwbare gegevens te kunnen genereren is een tijdschaal met fluctuaties op uurbasis noodzakelijk. Dit is bij het ontwerpen van rwzi's niet gebruikelijk. In dit project is een model opgezet om binnen aanvaardbare rekentijden op uurgemiddelde basis dynamische simulaties van de rwzi te kunnen uitvoeren.

STATISCH VERSUS DYNAMISCH MODELLEREN VAN DE EFFECTEN VAN VERANDERENDE AANVOERPATROON

Het effect van een variatie in het aanvoerpatroon door afkoppelen of reductie van rioolvreemd water kan kwalitatief gezien zowel statisch worden bepaald met behulp van Presta als dynamisch met behulp van SIMBA. Niet onderzocht is welke van beide modellen kwantitatief gezien de realiteit het best benadert. Met SIMBA is dit door aanpassing van modelparameters goed mogelijk.

Voor het doorrekenen van het effect van afvlakking van DWA of het effect van het optreden van piekbelastingen uit persleidingen is de toepassing van het dynamische SIMBA model noodzakelijk. Voor andere maatregelen heeft dynamisch modelleren ook de voorkeur vanwege de nauwkeurigheid en kwaliteit. De rekentijd met SIMBA, voorheen limiterend, bedraagt thans voor het doorrekenen van een neerslagreeks van 1 jaar met een krachtige reken PC 2 uur. Dit is hiermee niet langer een limiterende factor voor dergelijke exercities.

Kort samengevat luiden de belangrijkste conclusies als volgt.

- Afkoppelen leidt nauwelijks tot een verandering van de N-totaal concentratie in het effluent van de rwzi. Afkoppelen leidt tot een afname van de N-totaal effluent vracht, waarbij deze daling grotendeels evenredig verloopt met de daling van het influentvolume.
- Voor N-totaal leidt de reductie van rioolvreemd water enerzijds tot een afname van het volume afvalwater en daardoor tot lagere emissies, en anderzijds tot een toename van de influentconcentraties N-totaal en uiteindelijk ook de effluentconcentraties N-totaal en daardoor hogere emissies. Het netto N-totaal emissie resultaat van beide elkaar tegenwerkende effecten is afhankelijk van de specifieke instellingen, bedrijfsvoering en werking van de rwzi.
- Het beeld voor wat betreft N-totaal is voor alle emissiepoorten van de afvalwaterketen gelijk aan het beeld wat de emissie van de rwzi laat zien, de emissie van de rwzi is dominant in de afvalwaterketen.
- Voor de zware metalen neemt bij afkoppelen en bij de reductie van vreemd water de emissie via de rwzi af ten opzichte van de huidige situatie. De afname is verschillend per metaal.

- Overeenkomstig de emissie via de rwzi neemt de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen af bij de reductie van rioolvreemd water.
- De effecten van afkoppelen voor de emissie van zware metalen in de totale afvalwaterketen wijken af van de emissie via de rwzi. De emissies van zink, lood en koper nemen toe. Overige metalen laten een lichte daling zien. Bepalend hierin is of de concentratie van het betreffende metaal (maar ook zwevende stof) in onbehandeld afstromend regenwater hoger of lager ligt dan de concentratie in het effluent van de rwzi.
- Het effect van rioolvreemd water ligt tussen twee veel gebruikte benaderingen in: het hanteren van een vaste effluentconcentratie voor de rwzi, en het hanteren van een vast verwijderingsrendement (STOWA project EMOS) voor de rwzi. Het effect van afkoppelen komt over het algemeen goed overeen met het beeld uit het STOWA project EMOS.
- Toepassing van DWA afvlakking leidt tot geringe daling van enkele procenten in de totaal emissie van stikstof en zware metalen.
- Binnen aanvaardbare rekentijden is een rekenmethodiek ontwikkeld waarmee op uurgemiddelde basis de dynamiek in een rioolstelsel kan worden gekoppeld aan de dynamiek van een rioolwaterzuiveringsinstallatie.
- De dimensionering van rwzi's op basis van de in deze studie en in de praktijk gehanteerde modellen is zodanig robuust dat fluctuaties in de aanvoer voldoende kunnen worden opgevangen. Bij maatregelen in het rioolstelsel zou een rwzi mogelijk kleiner van omvang kunnen zijn bij gelijkblijvende prestaties. Een integrale kosten-baten analyse van maatregelen in de afvalwaterketen zou hier meer inzicht in kunnen geven.

AANBEVELINGEN

Voor een volledige afweging van te nemen maatregelen in de afvalwaterketen is een integrale kosten-baten analyse noodzakelijk. Vastgesteld dient te worden waar in de afvalwaterketen bepaalde maatregelen het meest optimaal genomen kunnen worden, om de gewenste effecten in het watersysteem te bereiken. Hiertoe dienen ook aspecten die te maken hebben met waterkwantiteit (te nat, te droog) niet uit het oog te worden verloren. Meer aandacht dient uit te gaan naar de normstelling en (vergunning)eisen voor de emissie gerelateerd aan de afweging tussen effluentconcentraties en effluentvrachten.

De hoeveelheid en samenstelling van de verschillende stromen waaruit de aanvoer naar de emissiepoorten van de afvalwaterketen is opgebouwd is een belangrijke bouwsteen voor onderhavig type studies. Het is gewenst om hier meer inzicht in te verkrijgen.

Een belangrijk aandachtspunt is het (dynamisch) gedrag van zware metalen in een rwzi als functie van de aanvoer van (regen)water. Dit betreft het adsorptie- en desorptiegedrag van zware metalen aan zuiveringsslib. Met praktijkproeven dient getoetst te worden of de gehanteerde aannames gerechtvaardigd zijn, zodat meer gevoel voor deze materie kan worden verkregen.

Indien wordt verwacht dat in de toekomst voor studies als deze de aandachtstoffen noodzakelijkerwijs moeten worden uitgebreid naar organische microverontreinigingen, dan is het noodzakelijk een databestand van de relevante bronnen en stromen op te bouwen.

In deze studie zijn gemiddelde voor Nederland geldende uitgangspunten gehanteerd, waaruit richtinggevend trends en conclusies zijn afgeleid. Hiermee is een significante stap gezet voor beleidsondersteuning. Nadere onderbouwing is echter noodzakelijk: van het algemene naar het bijzondere. Voor verdere onderbouwing is het noodzakelijk de aannames, uitgangspunten en bevindingen te toetsen aan één of meerdere lokale situaties voor wat betreft het rioleringsstelsel, de afvalwatersamenstelling, de (afstromend) regenwatersamenstelling en de rwzi('s). In het bijzonder de tijdens RWA in het influent optredende concentraties, die de resultante zijn van de DWA aanvoer, de regenwater aanvoer en de vrijkomende in het riool- en transportstelsel geborgen vuilvracht, is hierbij een factor die nog onvoldoende scherp in beeld is.

De reductie van rioolvreemd water heeft voor alle onderzochte componenten een positief effect op de emissie van de totale afvalwaterketen. Aanbevelenswaardig is om nader te onderzoeken of, t.o.v. bijvoorbeeld afkoppelen, de reductie van rioolvreemd water voor wat betreft kosten en effecten op de emissies van de afvalwaterketen effectief kan worden uitgevoerd. Als uitgangspunt is in deze studie gehanteerd dat rioolvreemd water vrij is van de in beschouwing genomen componenten. Duidelijk is dat de samenstelling lokaal sterk kan variëren. Onderzocht dient te worden of de conclusies voor wat betreft rioolvreemd water anders uitvallen indien voor rioolvreemd water wordt aangenomen dat de onderzochte componenten wel in meer of mindere mate aanwezig zijn. Analoog aan het afkoppelen van regenwater is van belang of bepaalde componenten hoger in concentratie zijn dan het effluent van de rwzi en tevens van belang is of als gevolg van het reduceren van rioolvreemd water deze componenten direct in het oppervlaktewater terechtkomen en niet via de rwzi.

Kort samengevat luiden de belangrijkste aanbevelingen als volgt.

- Het opstellen van een integrale kosten-baten analyse van maatregelen in de afvalwaterketen.
- Inzicht verkrijgen in de samenstelling (inclusief organische microverontreinigingen) van de aanvoerstromen naar de emissiepoorten.
- Praktijkproeven ter toetsing van het dynamische gedrag van zware metalen in rwzi's.
- Nadere onderbouwing van uitgangspunten, aannames en bevindingen uit deze studie door te toetsen aan lokale situaties.
- Nadere uitwerking en onderbouwing van het positieve effect van de reductie van rioolvreemd water.

BIJLAGE I

MODELMATIGE ADSORPTIE EN OMZETTING

INLEIDING

Om enigszins realistische modelberekeningen te kunnen maken voor wat er gebeurt met belangrijke componenten in het afvalwater tijdens het transport in het riool, en het verblijf in de rioolwaterzuiveringsinstallatie, is het van belang enig inzicht te hebben in de tijdschaal van de verschillende gebeurtenissen.

Model voor sorptie (ad- en absorptie) en afbraak

Volgens Urase & Kikuta¹ kan het gedrag van farmaceutica en oestrogenen goed worden beschreven als de uitwisseling tussen waterfase en slibfase, simultaan met de afbraak van de verbinding in het slib. Hiermee zou het verloop van de curve voor de schijnbare afbraak van bijvoorbeeld 17-ethinylestradiol (EE2) goed verklaard kunnen worden. De tijdschaal waarop de adsorptie verloopt is kennelijk redelijk gering, want voor de instelling van het evenwicht zijn voor verschillende hormonen ongeveer een uur nodig².

Volgens het model van Urase & Kikuta kan het gedrag als volgt worden beschreven:

$$\frac{d(\beta C_W)}{dt} = -k_b (k_p C_W - C_S) X$$

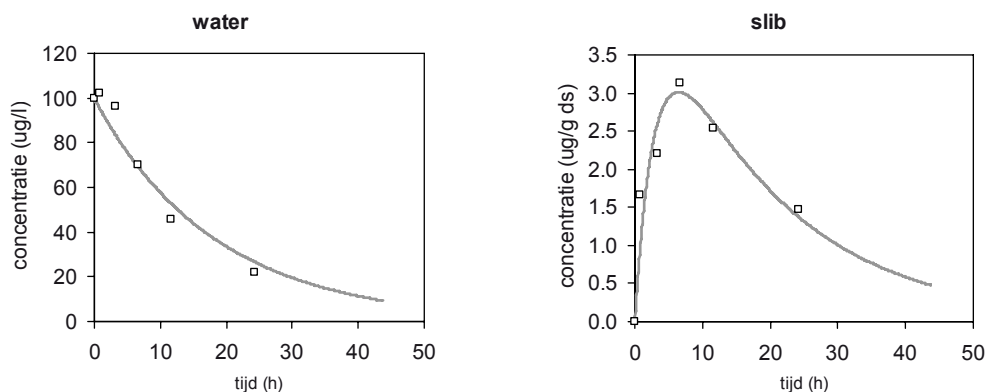
$$\frac{d(C_S X)}{dt} = k_b (k_p C_W - C_S) X - k_1 C_S X$$

met C_W is de concentratie in de waterfase, C_S is de concentratie in het slib, X is het slibgehalte, k_p is de water-slib verdelingscoëfficiënt, k_b is de water-slib overdrachtsnelheidscoëfficiënt, en k_1 is de eerste-orde afbraakconstante.

In Figuur1 is een voorbeeld gegeven van het verloop van het gehalte van ibuprofen (een bekende pijnstillert) in water dat in contact is met slib, de adsorptie en opname van ibuprofen aan en in het slib en de daaropvolgende afbraak.

- 1 Urase T & T Kikuta 2005. Separate estimation of adsorption and degradation of pharmaceutical substances and estrogens in the activated sludge process.
- 2 Suzuki Y & T Maruyama 2006. Fate of natural estrogens in batch experiments using municipal sewage and activated sludge.

FIGUUR 1 FIT VAN DE HET VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE VAN IBUPROFEN IN WATER (LINKS) EN SLIB (RECHTS) NA EEN DOSIS VAN 100 µG/L



De waarden voor de drie constanten k_b , k_p en k_1 werden aan de hand van de data, gepresenteerd door Urase & Kikuta, gefit. De waarden zijn samengevat in onderstaande tabel.

TABEL 1 WAARDEN VAN k_a , k_b EN k_1 ; VET AANGEGEVEN WAARDEN VOOR k_1 ZIJN GEBASEERD OP MEETWAARDEN; NIET-VET AANGEGEVEN WAARDEN ZIJN GEBASEERD OP SIMULATIE VAN DE AFBRAAK IN DE WATERFASE EN DAARMEE MINDER BETROUWBAAR

stof	afko	omschrijving	k_b	k_p	k_1
17 -estradiol	E1	vrouwelijk hormoon	0.802	11.9	1.36
estron	E2	afbraakproduct van E2	-	-	-
17 -ethynilestradiol	EE2	de pil	2.48	0.118	0.047
bisfenol-A	BPA	hormoonverstoorder	7.13	0.029	0.216
benzofenon	BZP	hormoonverstoorder	1.915	0.166	0.362
chlofibrizuur	CA	metaboliët	0.047	0.19	0
gemfibrozil	GFZ	vet regullator (?)	0.030	0.257	0.002
ibuprofen	IBP	non-steroid geneesmiddel	0.0145	0.974	0.312
fenoprofen	FEP	non-steroid geneesmiddel	0.031	0.096	1
ketoprofen	KEP	non-steroid geneesmiddel	0.088	0.033	0.025
naproxen	NPX	non-steroid geneesmiddel	0.001	0.1	0
diclofenac	DCF	non-steroid geneesmiddel	0	0	0
indomethacin	IDM	non-steroid geneesmiddel	0.0007	21.7	0.351
prophyfenazon	PPZ	non-steroid geneesmiddel	1	0.067	0.11
carbamazepine	CBZ	anti-epilepticum	0.17	0.007	-

Op basis van de gepresenteerde waarden kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

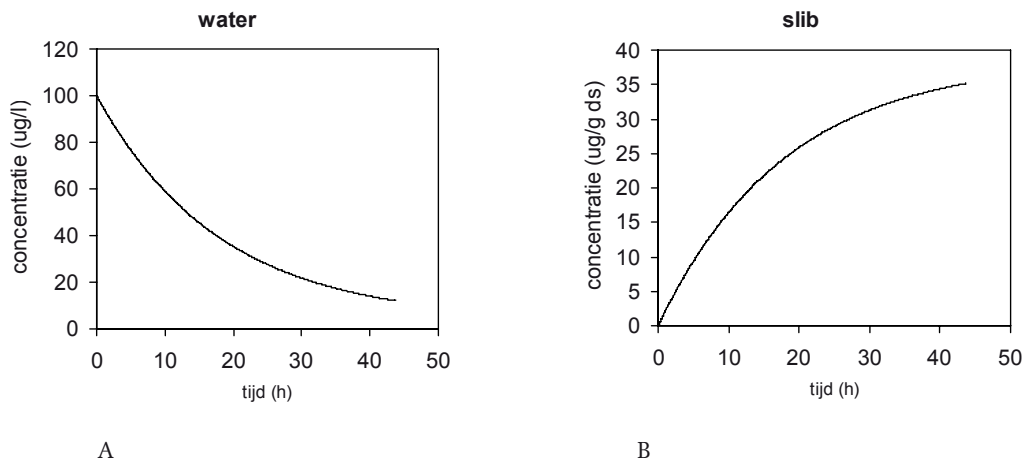
- De meeste verbindingen uit de lijst lijken redelijk tot goed afbreekbaar te zijn; dat is te zien uit de redelijk hoge waarden voor k_1 ; twee stoffen (CA en NPX) worden helemaal niet afgebroken, alleen een beetje geabsorbeerd; voor DCF zijn alle waarden nul: het blijft volledig in de waterfase en wordt niet afgebroken;
- Een hoge waarde voor k_b duidt op een snelle uitwisseling tussen water en slib; de stof wordt snel geabsorbeerd. Zowel lage als hoge waarden voor de uitwisseling komen voor. Deze hangen niet of nauwelijks samen met de afbraaksnelheid.

De waarde van de schijn-constante voor de eerste-orde afbraak hangt samen met het slibgehalte, maar ook van de waarden van de andere constanten. Aan figuur 1 is te zien dat de ab- en adsorptie niet zeer snel verloopt. Dat geldt ook voor een aantal andere geneesmiddelen.

ILLUSTRATIE VAN HET MODEL

In Figuur 2 is ter vergelijking een aantal voorbeelden van andere waarden van de drie modelparameters gegeven. Als er geen afbraak is, dan wordt toch nog heel wat van de stof aan het slib geadsorbeerd (zie figuur 2A en 2B), zoveel dat het in de waterfase net lijkt alsof alle stof wordt afgebroken volgens een eerste-orde reactie.

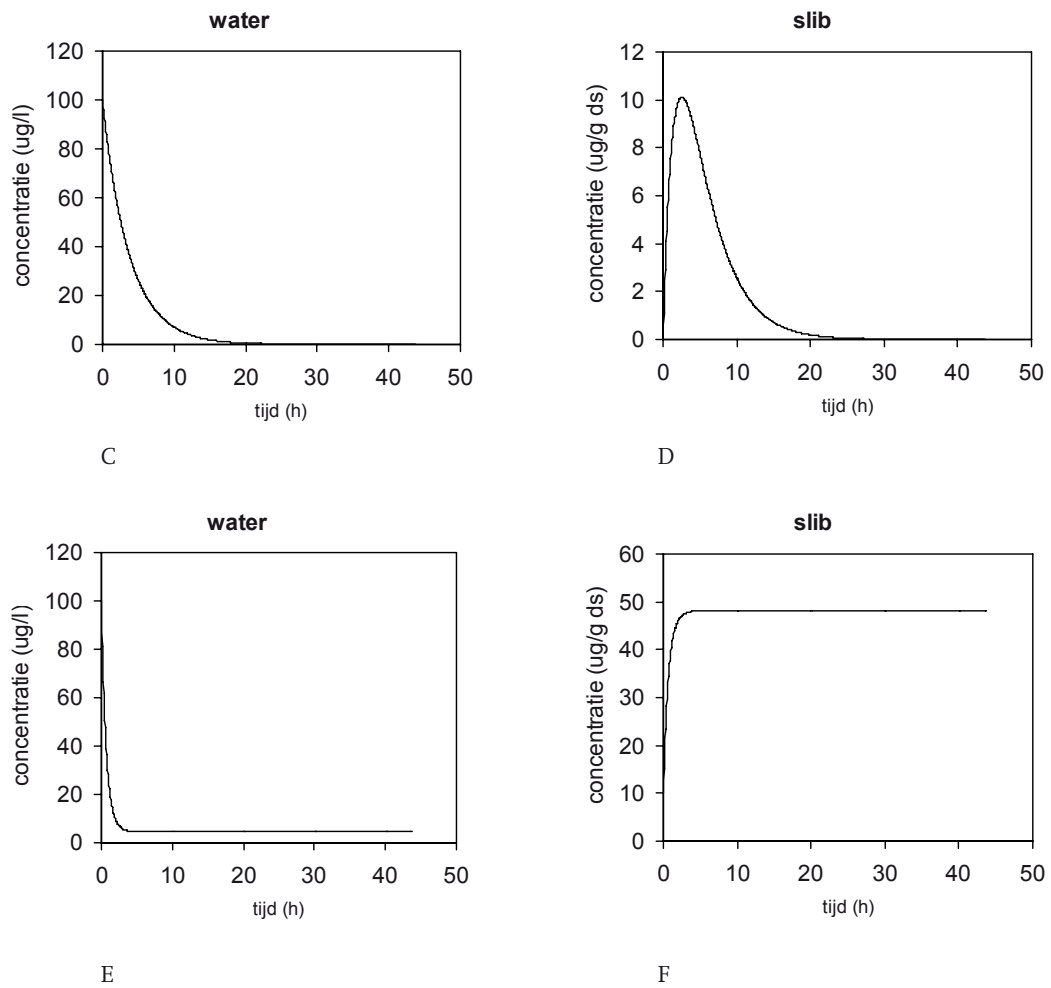
FIGUUR 2 HYPOTHETISCH VERLOOP VAN DE CONCENTRATIES IN WATER EN SLIB ALS ER GEEN SPRAKE IS VAN AFBRAAK DUS $K_1 = 0$
(A: WATERFASE EN B: IN SLIB)



Bij een veel snellere uitwisseling zou de afbraak ook veel sneller verlopen (figuur 3C en 3D), omdat de concentratie in het slib hogere waarden bereikt. Tenslotte lijkt de situatie met een snelle evenwichtinstelling en geen afbraak veel op de situatie die bij de adsorptie van zware metalen optreedt³ (zie figuur 3E en 3F)

3 Chang W C, G S Hsu, S M Chiang & M C Su 2006. Heavy metal removal from aqueous solution by wasted biomass from a combined AS-biofilm process. *Bioresource Technology* 97: 1503-1508

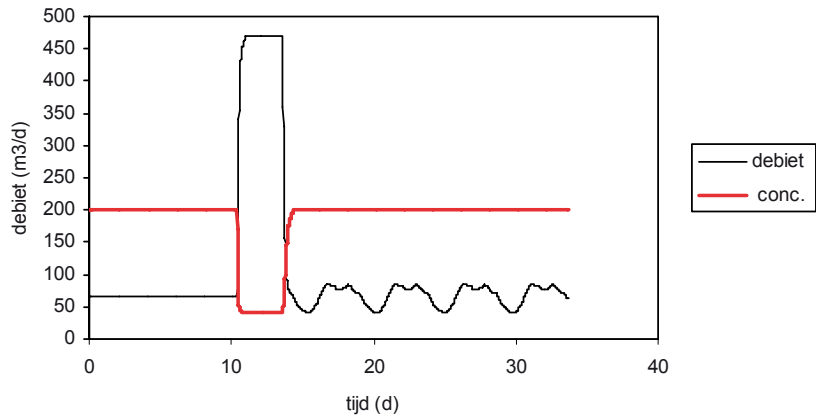
FIGUUR 3 HYPOTHETISCH VERLOOP VAN DE CONCENTRATIES IN WATER EN SLIB ALS ER GEEN SPRAKE IS VAN AFBRAAK DUS $K_1 = 0$ (A EN B), ALS DE SNELHEID VAN DE EVENWICHTSINSTELLING VEEL GROTER IS $K_b = 5 \times 10^6$ HOOG (C EN D) EN ALS DIT BEIDE GEBEURT (E EN F)



TIJDSCHAAL

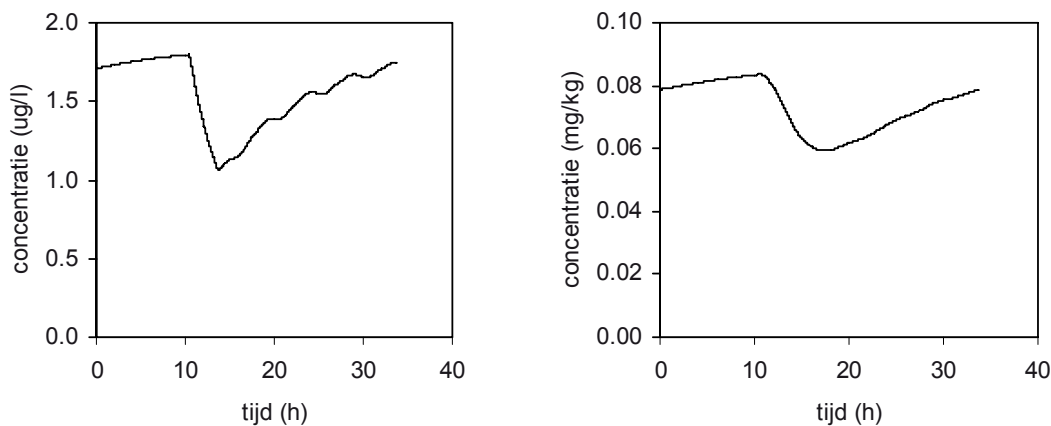
Kennelijk is de tijdschaal van de adsorptie van zware metalen veel korter dan die van de adsorptie van geneesmiddelen. In een dynamische simulatie is onderzocht hoe deze tijdschaal effect heeft op de effluentconcentraties. Voor het verloop van ad- en absorptie en afbraak wordt uitgegaan van het model van Urase en Kikuta. Voor het verloop van invoer en productie van slib is uitgegaan van een simpele dynamische modellering waarbij wordt uitgegaan van regenwater dat bovenop een dwa patroon komt, als in SIMBA. De slibproductie reageert momentaan op de toe- en afname van de concentraties en vrachten van zwevende stof en BZV. De resultaten zijn samengevat in figuur 4, 5 en 6. In figuur 4 is het verloop van debiet en concentratie (van zwevende stof) gegeven. Voor de begrijpelijkheid van de uitkomsten is uitgegaan van een regelmatig aanvoer tot aan het moment van een regengebeurtenis.

FIGUUR 4 VERLOOP VAN DEBIET EN CONCENTRATIE IN DE AANVOER



Voor een voorbeeldstof die redelijk goed wordt afgebroken, zijn de uitkomsten van de berekeningen gegeven in figuur 5.

FIGUUR 5 DYNAMISCHE SIMULATIE VAN HET VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE IN EFFLUENT (LINKS) EN SLIB (RECHTS) VAN EEN VOORBEELDSTOF MET WAARDEN ALS VOOR IBUPROFEN UIT DE BIJLAGE. DE INFLUENTCONCENTRATIE VAN IBUPROFEN IS 5 $\mu\text{G/L}$ IN HET INFLUENT BIJ DWA EN 0 $\mu\text{G/L}$ IN REGENWATER

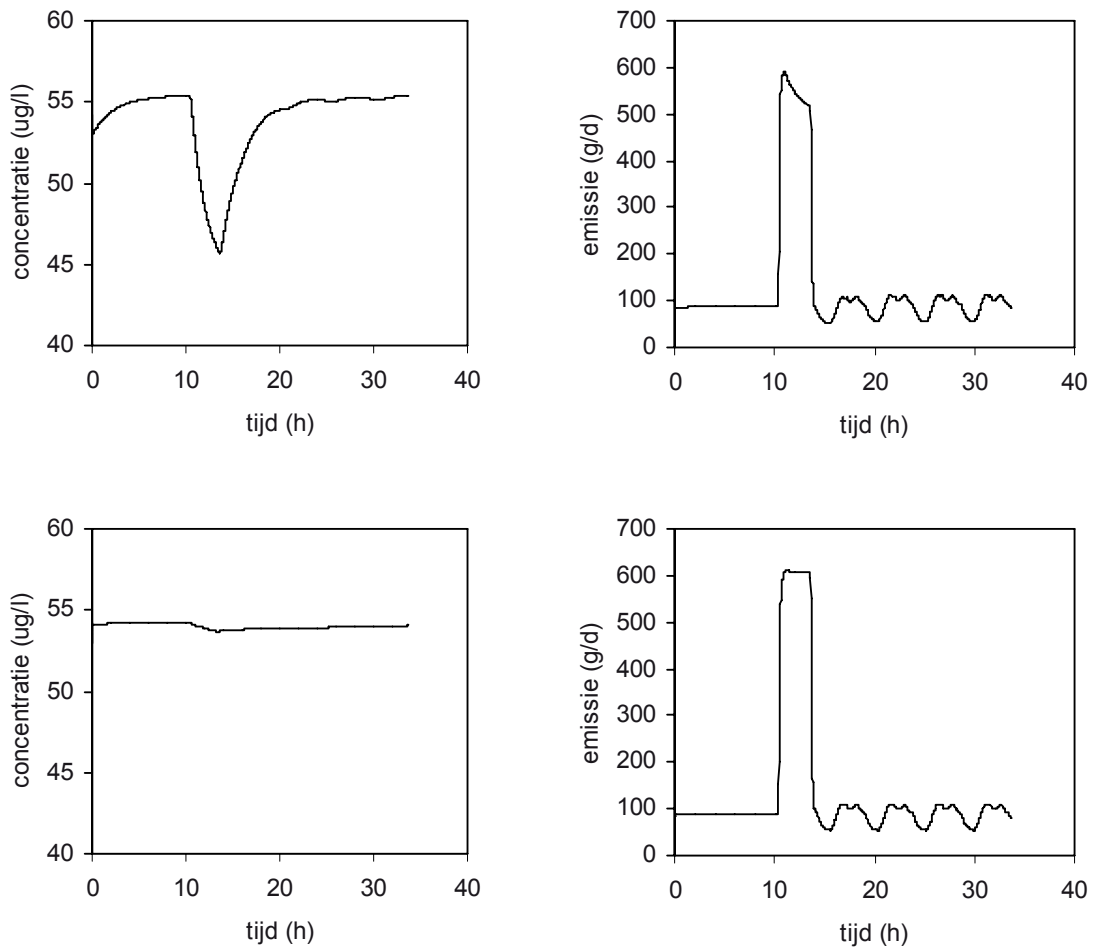


Uitkomsten van de simulaties geven een duidelijke indicatie voor de problemen met het model van Urase en Kikuta: de waarden voor Ibuprofen suggereren een hoge concentratie in het effluent, terwijl in werkelijkheid effluentwaarden beneden de detectiegrens liggen. Dit wordt veroorzaakt door de sterke samenhang voor de waarden van k_b en k_p bij de bepaling van de waarden van deze parameters uit de meetwaarden. Bij een hogere waarde van k_p wordt het effluentgehalte veel lager, meer in lijn met de realiteit. Er zijn echter niet veel gegevens om de juistheid van de waarden die bij het model zijn bepaald, te toetsen.

Voor de sorptie van zware metalen aan slib wordt in het algemeen gesteld dat de snelheid van de adsorptie redelijk snel is. De snelheid van de sorptie heeft wel degelijk enig effect op de emissies. Dit is geïllustreerd in figuur 6.

FIGUUR 6

ILLUSTRATIE VAN HET EFFECT VAN DE TIJDSCHAAL VAN DE SORPTIE OP HET EFFLUENTGEHALTE EN DE EMISSIES. BOVEN: $K_p=0.1 \text{ h}^{-1}$, BENEDEN $K_p=10 \text{ h}^{-1}$; LINKS: CONCENTRATIES IN HET EFFLUENT; RECHTS: EMISSIES. DE INFLUENTCONCENTRATIE VAN HET METAAL (BIJVOORBEELD KOPER) IS $70 \mu\text{G/L}$ IN HET INFLUENT BIJ DWA EN $20 \mu\text{G/L}$ IN REGENWATER. DE BIJBEHORENDE SLIBCONCENTRATIE BEDRAAGT ONGEVEER 540 MG/KG DS



Aan het verloop in het effluent is te zien dat het erop lijkt dat de tijdschaal van de adsorptie aan en in het slib slechts weinig effect heeft op de effluentkwaliteit en de emissies.

Hiermee lijkt een statische aanpak van de verwijdering van moeilijk afbreekbare stoffen en van zware metalen gerechtvaardigd te zijn.

Het lijkt overigens niet onredelijk om aan te nemen dat de desorptie van metalen en organische verbindingen aan slib aanzienlijk langzamer verloopt dan de sorptie. Dit zou betekenen dat fluctuaties in het gehalte van bijvoorbeeld koper aanzienlijk sneller omhoog dan omlaag verlopen. De consequenties van deze veronderstelling kunnen eenvoudig worden geïllustreerd. Toch is het niet erg gebruikelijk om voor sorptie en desorptie verschillende kinetische parameters te hanteren.

BIJLAGE II

PRESTA MODEL

In deze bijlage wordt ingegaan op de berekeningen voor de emissies van metalen als gevolg van een veranderd aanvoerpatroon zoals ze zijn uitgevoerd in het model Presta+.

Het model Presta+ is opgesteld in opdracht van vijf waterschappen, om inzicht te krijgen in de invloed van veranderde aanvoer van afvalwater op de bedrijfsvoering van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties.

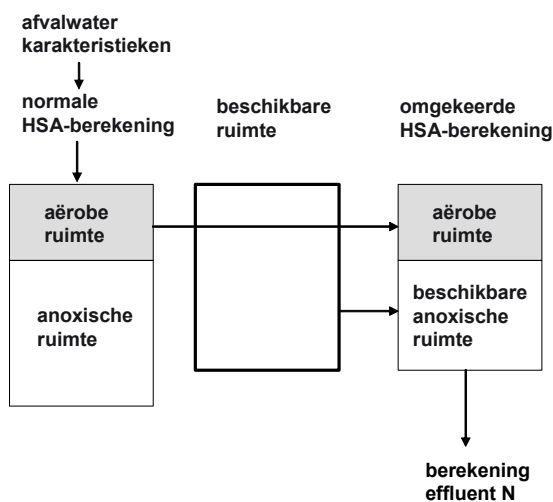
In het Presta+-model zijn de volgende componenten opgenomen:

- De frequentieverdeling van het debiet.
- De berging van afvalwater in riool of buffer, en een eventuele vertragingstijd.
- De concentraties van de verschillende componenten in regenwater.
- De eventuele aanvoer van 'extra afvalwater', gedurende een deel van het jaar.
- De eventuele aanvoer van 'extra slib', gedurende een deel van het jaar.
- Model voor de afbraak van drogestof tijdens de gisting.
- Een 'omgekeerde versie' van de HSA-berekening, die normaal wordt gebruikt voor de berekening van de verwijdering van stikstof.
- Een berekening van het zuurstofverbruik en een koppeling aan het energieverbruik.
- De koppeling van de effluentconcentraties van stikstofcomponenten en fosfaat aan de dimensies van de RWZI.
- Berekening voor het verbruik van chemicaliën voor de P-verwijdering.
- Een exploitatiekostenberekening op basis van in te voeren kengetallen.

Het model is een spreadsheetmodel, en berekent voor iedere dag het effect van de wateraanvoer op de concentraties en vrachten in het effluent van de voornaamste vervuilingcomponenten CZV, BZV, zwevende stof, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P}$. Aan de hand van de berekeningen worden slibhoeveelheden geschat, en verbruiken van energie en chemicaliën. In figuur 1 is een schematische weergave van de 'omgekeerde HSA-berekening' voor de berekening van de concentraties nitraat in het effluent gegeven.

FIGUUR 1

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE 'OMGEKEERDE HSA-BEREKENING'



Het model kan worden gebruikt om effecten van ingrepen in de aanvoer naar een rwzi in te schatten, maar ook om de kosten voor de behandeling en extra water of slib in te schatten.

Met behulp van het model wordt de slibproductie geschat, en daarom is het model gebruikt om de emissies aan zware metalen te schatten. Deze zijn verondersteld in evenwicht te zijn met de berekende dagelijkse slibproductie. De berekening van de uitwisseling van zware metalen is uitgevoerd zoals is aangegeven in § 3.2 van de hoofdtekst.

In een later stadium, en dat zijn de gegevens die voor deze rapportage zijn gebruikt, is uitgegaan van schattingen op uurbasis van zowel debiet als slibproductie, en werden de evenwichtsconcentraties per uur berekend. De gegevens voor de debieten werden ontleend aan het bakmodel dat ook de gegevens leverde voor de berekeningen in SIMBA, en de slibproducties werden ontleend aan de SIMBA-simulaties.

BIJLAGE III

UITGANGSPUNTEN SIMBA MODEL

De dimensies en andere parameters van het SIMBA model van de rwzi zijn verzameld in Tabel 1. Het temperatuurprofiel over het jaar is weergegeven in Tabel 2. Het rwzi model zoals dat is weergegeven in SIMBA is opgezet is in Figuur 1 weergegeven.

TABEL 1 DIMENSIES EN OVERIGE PARAMETERS VAN RWZI'S

Onderdeel	Eenheid	Waarde rwzi zonder vbt
Anaërobe tank volume	m ³	2400
Aëratiecircuit volume	m ³	14130
Nabezinking volume	m ³	11178
Slibdeken in nabezinking volume	m ³	3000
Slibgehalte in beluchting	g ds/l	4,0
Beluchting		
alfa-factor	-	0,7
specifieke zuurstofinbreng	g O ₂ / m ³ .m'	18
diepte beide beluchtingstanks	m	4
Verhouding retourslib/influentdebiet		0,9
Recirculatiefactor van nitrificatietank naar anoxische ruimte		6

TABEL 2 TEMPERatuurPROFIEL RWZI'S (MAANDGEMIDDELDE)

Maand	Temperatuur (C°)
Januari	11
Februari	10
Maart	11
April	14
Mei	16
Juni	18
Juli	20
Augustus	20
September	18
Oktober	18
November	15
December	11

Tabel 3 geeft de modelparameters voor de rwzi zonder voorbezinking. Tevens zijn in deze bijlage de startpagina's van het SIMBA model toegevoegd met daarin weergegeven de belangrijkste parameters voor het model. De weergegeven invoerparameters betreffen de startsituatie. Op basis van het gehanteerde model voor het rioleringsysteem is een uurgemiddelde variatie in de aanvoerparameters als invoer gebruikt in het SIMBA model van de rwzi. Op uurgemiddelde basis geeft het SIMBA model de effluentgegevens (COD_t, COD_{mf}, COD_{vfa}, COD_{ts}, TSS, TKN, NH₄, NO₃, P_t, PO₄ en debiet) en de surplusslib productie.

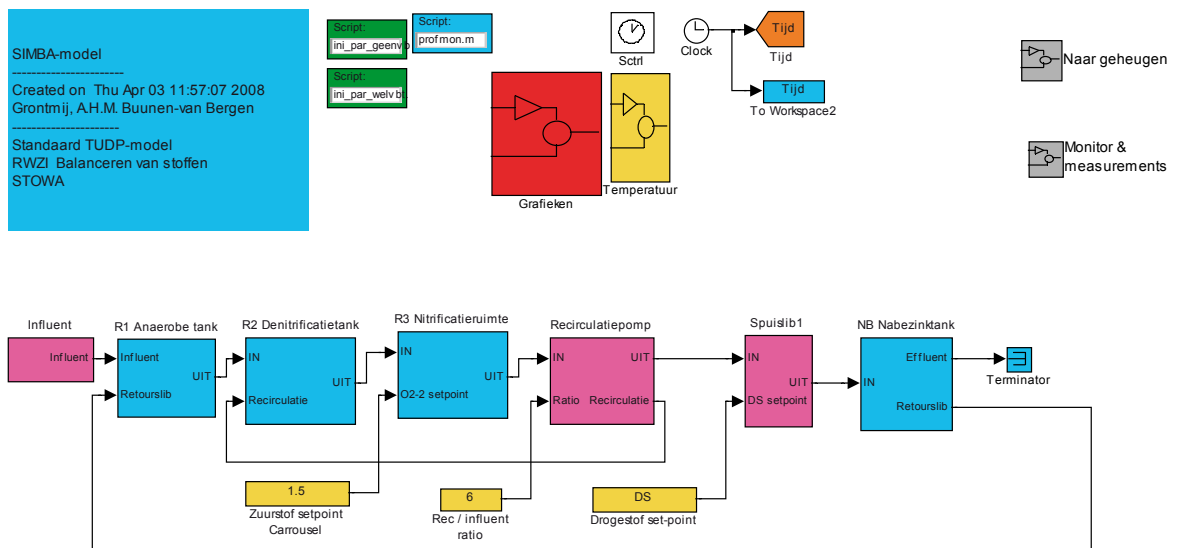
TABEL 3 MODELPARAMETERS RWZI ZONDER VOORBEZINKING

Invoerparameter	Eenheid	Waarde	Modelfracties	Eenheid	Waarde
Influent			So	mg O ₂ /l	0,001
Debiet	m ³ /d	17166	Sf	mg CZV/l	131
TCZV	mg/l	548	Sa	mg CZV/l	100
CZVmf	mg/l	264	SNH ₄	mg N/l	40,2
VFA	mg/l	100	SN03	mg N/l	0,001
BOD	mg/l	211	SN ₂	mg N/l	0
TKN	mg/	53	SPO ₄	mg P/l	2,15
TP	mg/l	6,3	Si	mg CZV/l	33
Zwevende stof	mg/l	213	Salk	mmol HCO ₃	8
			Xi	mg CZV/l	92,3
			Xs	mg CZV/l	191,7
Effluent			Xh	mg CZV/l	0,1
Zwevende stof	-	0,0005*	Xpao	mg CZV/l	0,1
BOD	mg/l	2	Xpp	mg P/l	0,01
CZVmf	mg/l	40	Xpha	mg CZV/l	0,01
			Xgly mg	CZV/l	0,01
			Xaut mg	CZV/l	0.01
			Xtss	mg ds/l	213,2
			XmeOH	mg MeOH/l	0,001
			XMeP	mg MeP/l	0,001

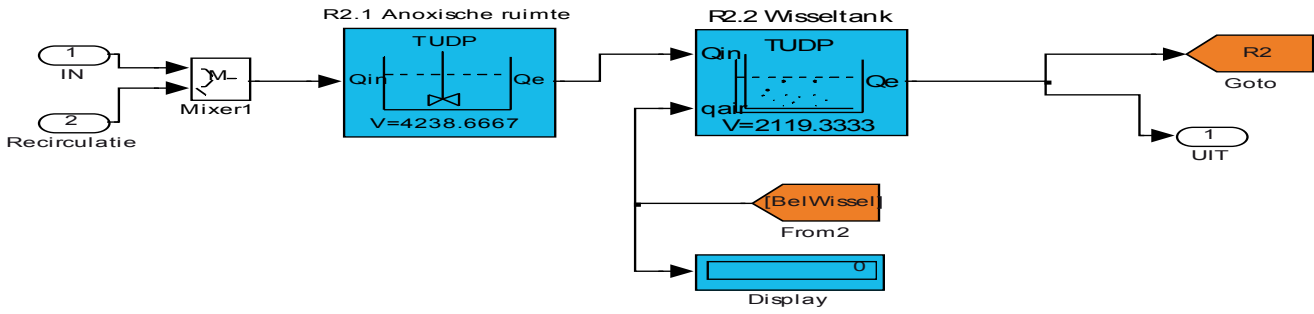
*als fractie van retourslib drogestof

De wisseltank (Figuur 2) is facultatief belucht. De facultatieve beluchting is of 100% aangeschakeld of helemaal uitgeschakeld. In- en uitschakelen gebeurt o.b.v. de ammoniummeting aan het einde van het omloopsysteem (Figuur 3).

FIGUUR 1 SIMBA-MODEL VAN DE RWZI



FIGUUR 2 LAYOUT ANOXISCHE RUIMTE EN WISSELTANK



FIGUUR 3 LAYOUT OMLOOPSYSTEEM (NITRIFICATIERUIMTE)

