

Interacties binnen het afvalwatersysteem

dr.ir. J.G. Langeveld

Inleiding

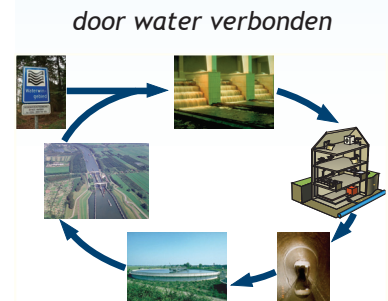
In Nederland is het optimaliseren van afvalwatersystemen sinds het eind van vorige eeuw gemeengoed geworden (Mameren, van, 2001). Daarnaast is de in de praktijk gegroeide methode voor het uitvoeren van optimalisatiestudies inmiddels vervat in Leidraad Riolering module B1000. Zo op het oog is daarmee het optimaliseren van afvalwatersystemen een goed ontwikkelde tak van sport. In het licht van de huidige normen, de basisinspanning en de effluenteisen, klopt dit beeld inderdaad redelijk. Desondanks bestaat het gevoel dat met de gangbare optimalisatiestudies niet het onderste uit de kan wordt gehaald. Met name de interacties binnen het afvalwatersysteem blijven namelijk onderbelicht in deze studies. Het is hierdoor heel goed mogelijk dat maatregelen die nu getroffen worden op basis van deze optimalisatiestudies bij een nadere analyse van de interacties binnen het afvalwatersysteem een stuk minder aantrekkelijk blijken te zijn. Een bekend voorbeeld hiervan is de negatieve doorwerking van extra berging in de riolering op het functioneren van een afvalwaterzuivering (Durchschlag, 1990). Hierbij wordt een deel van de winst bij de overstort teniet gedaan door een extra vuilast bij de AWZI.

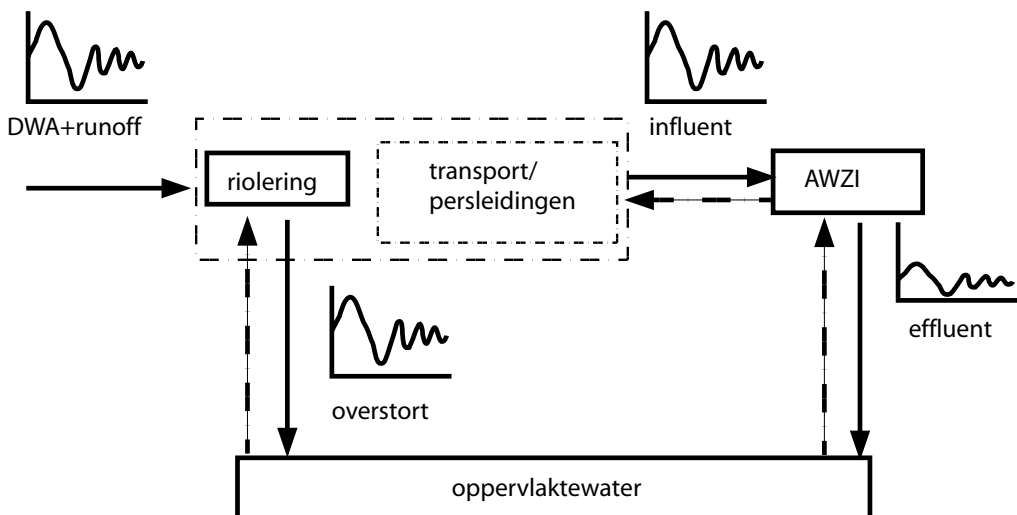
Om een beter beeld te krijgen van het belang van de interacties binnen het afvalwatersysteem is eind 1999 aan de TU Delft het promotieonderzoek 'Interacties binnen het afvalwatersysteem' gestart. Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van een afvalwatersysteem. De interacties omvatten hierbij conform een internationaal gangbare definitie (Foundation for Water Research, 1998) twee belangrijke aspecten:

- invloed van de riolering op het functioneren van de afvalwaterzuivering via haar invloed op het verloop van zowel het debiet als de samenstelling van het influent;
- het feit dat de oppervlaktewaterkwaliteit wordt beïnvloed door de combinatie van effluent van de afvalwaterzuivering en rechtstreeks via overstorten en uitlaten geloosd afvalwater.



*dr.ir. J.G. Langeveld
Royal Haskoning / TU Delft*





Figuur 1: Afvalwatersysteem inclusief interacties

Het onderzoek naar de interacties binnen het afvalwatersysteem heeft een sterk verkennend karakter gekregen binnen een zeer breed onderzoeksveld. Om een dergelijk breed onderzoek goed van de grond te krijgen is een uniek samenwerkingsverband opgestart, waarin naast Arcadis, in samenwerking met HKV Lijn in water en Vertis, Grontmij en Witteveen+Bos participeerden. Mede dankzij de inzet en brede achtergrond van de door de partners afgevaardigde werkgroepsleden is het onderzoek succesvol verlopen met een proefschrift en een goed lopend vervolgonderzoek als tastbaar resultaat.

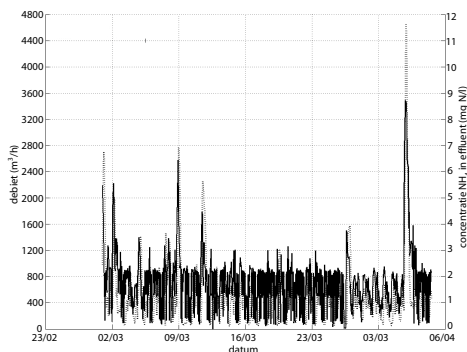
Dit artikel gaat in op de belangrijkste aspecten en resultaten van het onderzoek. Voor meer gedetailleerde informatie en een nadere onderbouwing wordt verwezen naar het proefschrift zelf.

Effect variaties in belasting afvalwaterzuivering

De influentvracht die moet worden verwerkt door afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI) kan sterk fluctueren, doordat zowel het debiet als de concentraties in het influent variëren. Afhankelijk van de situatie werken fluctuaties in de influentvracht

sterk door op de effluentkwaliteit, zoals geïllustreerd in figuur 2.

De variaties in influent vrachten worden niet alleen beïnvloed door variaties in de inloop van rioelstelsels tijdens DWA (droogweerafvoer) en RWA (regenweerafvoer), maar ook door de eigenschappen van rioelstelsels. Deze eigenschappen, zoals aanwezigheid persleidingen, dode berging en inslagpeilen van gemalen, bepalen in hoge mate welke pieken in belasting de benedenstroomse AWZI te verwerken krijgt. Het (operationeel) beheer van de riolering heeft hiermee een duidelijke doorwerking op het functioneren van de AWZI.



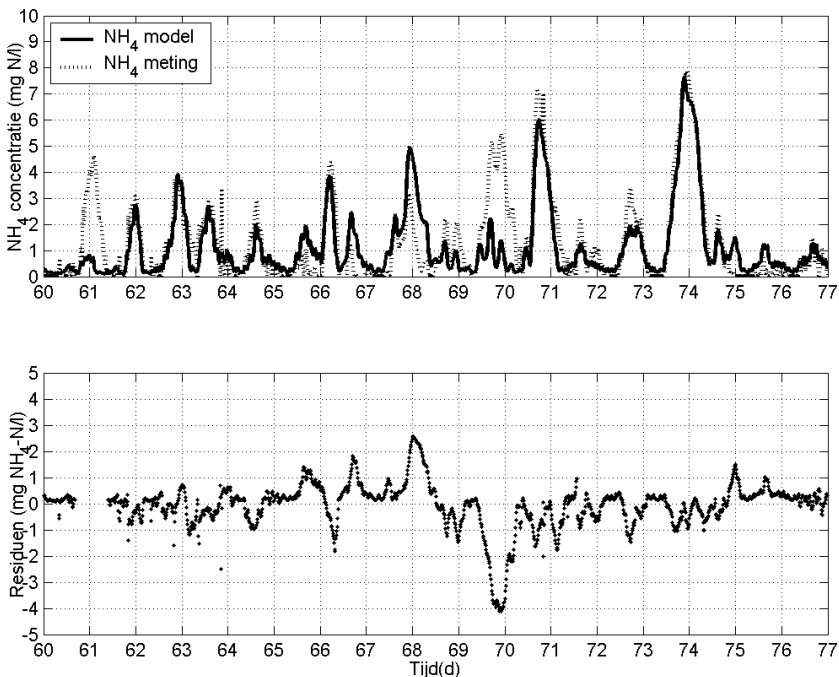
Figuur 2: Ammonium concentratie in het effluent uitgezet tegen het influentdebiet.

Intermezzo modelleren AWZI Katwoude

Voor AWZI Katwoude is een ASM1 model (Henze et al., 2000) opgesteld met behulp van het simulatiepakket SIMBA. Dit model is gekalibreerd aan de hand van de beschikbare metingen van de sensoren, aangevuld met een aantal monsternamesessies. Voor een uitgebreide discussie van de kalibratie en validatie wordt verwezen naar het originele werk. Hier wordt volstaan met de in figuur 3 gegeven vergelijking van het modelresultaat met de metingen van de ammoniumsensoren bij de afloop van de beluchtingstank. De overeenstemming tussen modelresultaat en meting is over het geheel gezien behoorlijk en het model kan daarom worden gebruikt voor een nadere analyse van de gevoeligheid van het functioneren van de AWZI voor influentfluctuaties.

Om te kunnen achterhalen welke variaties in de influentvrucht kunnen worden verwerkt op een AWZI is een uitgebreide gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met behulp van een gekalibreerd model voor AWZI 'Katwoude', zie intermezzo.

Deze gevoeligheidsanalyse heeft aangetoond dat een laagbelaste AWZI (meest toegepaste type AWZI in Nederland) wel gevoelig is voor variaties in het debiet en de stikstofvrucht, maar niet voor variaties in de CZV-vracht. Dit houdt in dat rioleringsmodellen goed in staat moeten zijn om het debiet en de stikstof concentratie te simuleren, terwijl het simuleren van de CZV concentraties minder van belang is in relatie met de AWZI. Aangezien stikstof zich in de riolering voornamelijk bevindt als opgelost of fijn gesuspendeerd materiaal is het met het oog op de relatie met de AWZI voldoende als rioleringsmodellen in staat zijn om de hydrodynamica (debiet) en het transport van opgeloste stof (ammonium, CZV_{opgelost}) te beschrijven.



Figuur 3: Simulatie resultaten voor nitrificatie. De bovenste grafiek toont de berekende en de gemeten ammoniumconcentratie in de afloop van de beluchtingstank. De onderste grafiek toont de residuen (= verschil tussen model en meting). Voor dag 60 werd aangetoond dat de ammoniumsensoren in het influent onbetrouwbare resultaten gaf. Hetzelfde is waarschijnlijk het geval op dag 69.

Inloed riolering op influentfluctuaties: state of the art van rioleringsmodellen

In het onderzoek is voor vier belangrijke processen nagegaan in hoeverre gangbare rioleringsmodellen te gebruiken zijn voor een analyse van de interacties tussen riolering en afvalwaterzuivering:

- Hydrodynamica
- Transport opgelost materiaal (en materiaal <math>< 63 \mu\text{m}</math>)
- Transport gesuspendeerd materiaal
- Omzettingen

Hydrodynamica

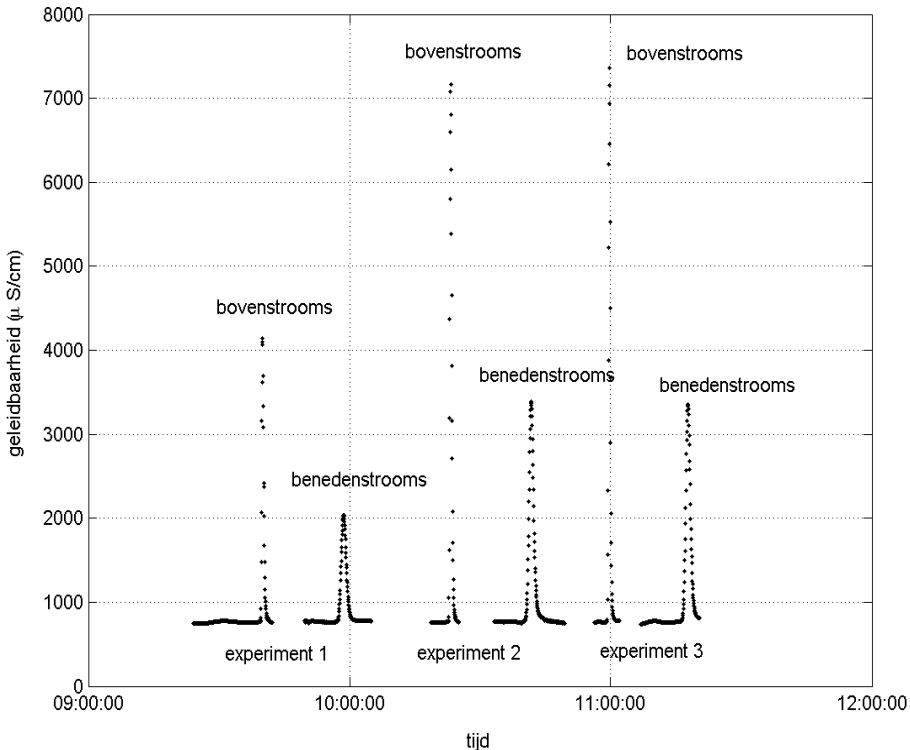
Het kalibreren van hydrodynamische modellen voor de riolering is inmiddels de kinderschoenen voorbij. De door Clemens (2001) ontwikkelde methode voor kalibratie is op een aantal verschillende riool-

stelsels met succes toegepast. In het kader van dit onderzoek zijn voor het rioolstelsel van Loenen 15 buien gekalibreerd. De gekalibreerde buien dienen tevens als basis voor de analyse van de huidige kennis van het transport van gesuspendeerd materiaal. De gesimuleerde waterstanden hebben een afwijking die ligt in de orde van grootte van enkele centimeters en ook het verloop van het debiet in meting en model blijkt goed overeen te komen tijdens een bui.

Transport opgeloste stof

Voor twee modellen, SOBEK en Hydroworks, is de kwaliteit van de modelresultaten getoetst aan de hand van tracerexperimenten en metingen.

In twee rioolstelsels, Loenen en Beekbergen, zijn op een viertal locaties in totaal 9 succesvolle tracer experimenten uitgevoerd. In elk experiment was



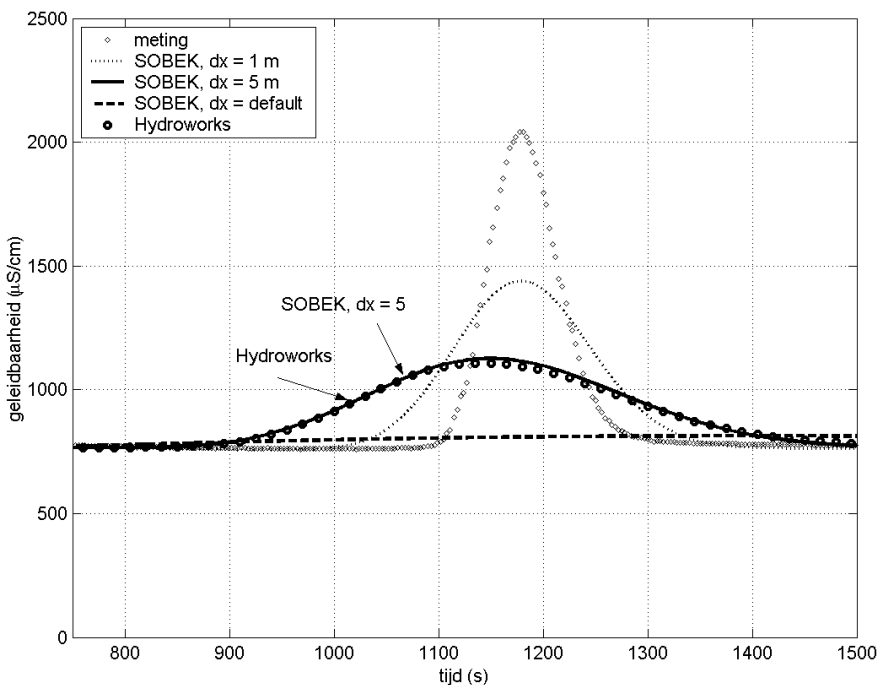
Figuur 4. Resultaat tracer experiment in Loenen. In het Matlab model is een dispersie coëfficiënt van $0,14 \text{ m}^2/\text{s}$ gebruikt.

een duidelijke afvlakking van de tracer waarneembaar. De resultaten van de tracerexperimenten zijn gebruikt om te toetsen of de wijze waarop het transport van opgeloste stof in de modelpakketten SOBEK en Hydroworks is opgenomen juist is. Hiertoe is in eerste instantie via een Matlab model geanalyseerd of de in deze modellen opgenomen advectie-dispersie vergelijking wel geldig is in de onderzochte rioolstrengen. Figuur 4 laat zien dat het opgestelde Matlab model goed in staat is om het gemeten concentratieverloop te simuleren.

Volgens de literatuur vertonen de commercieel verkrijgbare rioleringsmodellen een grote numerieke dispersie. Dit wordt bevestigd door de resultaten van een modelvergelijking in figuur 5. Deze figuur geeft de resultaten van het doorrekenen van het verloop van de geleidbaarheid

met behulp van SOBEK en Hydroworks voor hetzelfde experiment als weergegeven in figuur 4. Geen van de modellen (3 varianten in SOBEK, 1 in Hydroworks) komt in de buurt van resultaten die kunnen worden behaald met een model dat geen numerieke dispersie vertoont.

De resultaten uit figuur 5 laten zien dat de optredende numerieke dispersie aan de hoge kant is. Dit houdt in dat deze modellen pieken in concentraties meer afvlakken dan op basis van metingen mag worden verwacht. Hierbij moet worden aangetekend dat de veranderingen in concentraties in de tracerproeven veel groter is dan in de praktijk in een rioolstelsel optreden. Om na te gaan of de modellen in de praktijk wel voldoen is in het rioolstelsel van Ulvenhout een week lang het verloop van de ammoniumconcentratie



Figuur 5: Gemeten geleidbaarheid in het benedenstroomse meetpunt in Loenen (14/12/01, experiment 1) vergeleken met modelresultaten verkregen met Hydroworks en 3 verschillende SOBEK versies, waarbij is gevarieerd met de ruimtestap dx . De numerieke dispersie in Hydroworks en in SOBEK bij een ruimtestap dx van 5 meter bedraagt $1.1 \text{ m}^2/\text{s}$. Bij een dx van 1 meter bedraagt de numerieke dispersie in SOBEK nog altijd $0.4 \text{ m}^2/\text{s}$, hetgeen ruim een factor 10 is dan de fysieke dispersie van $0.14 \text{ m}^2/\text{s}$.

tratie gemeten. Deze meetperiode heeft, naast een DWA profiel, ook zeer waardevolle metingen opgeleverd tijdens de bui van 01/03/04. In dezelfde periode was in het stelsel van Ulvenhout een hydraulisch meetnet geïnstalleerd. De kalibratie van het hydrodynamisch model is uitgevoerd in opdracht van de gemeente door Witteveen+Bos. Met behulp van dit gekalibreerde model is vervolgens de ammoniumconcentratie tijdens de bui doorgerekend. Een gekalibreerd hydrodynamisch Hydroworks model blijkt in staat om het verloop van de ammoniumconcentratie behoorlijk goed te beschrijven, zie figuur 6.

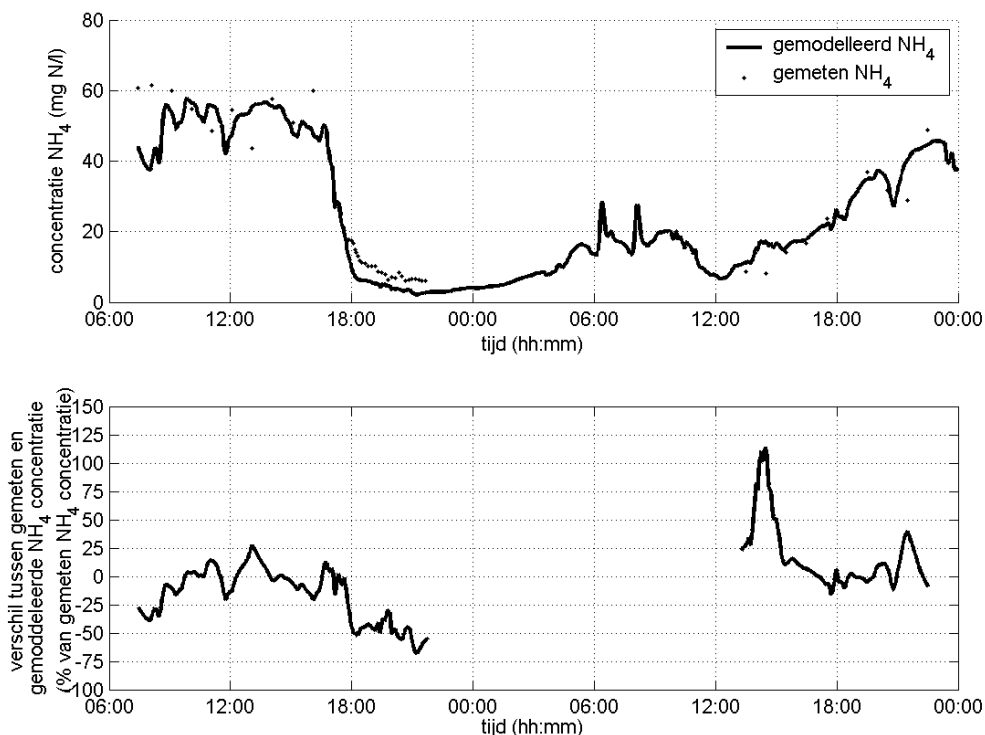
Transport gesuspendeerd materiaal

Het transport van gesuspendeerd materiaal is onderzocht op basis van troebelheidsmetingen in het rioolstelsel van Loenen. Uit een analyse van de resultaten van het per bui gekalibreerde hydrodynamische model en de gemeten troebelheid volgt

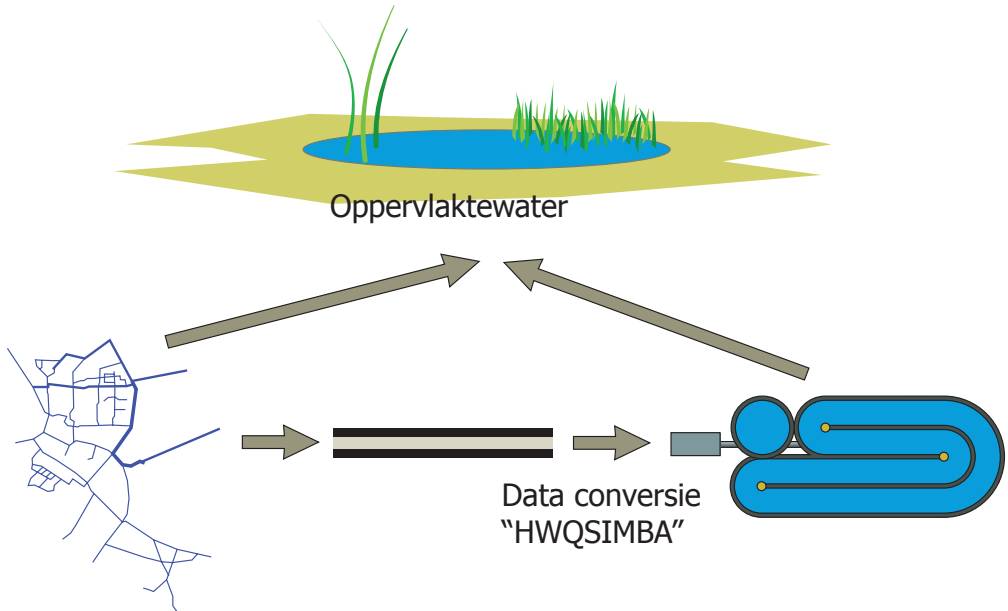
dat het verloop van de troebelheid een duidelijke relatie heeft met hydraulische parameters als stroomsnelheid en schuifspanning. Een eenduidige relatie is niet te bepalen, waarschijnlijk vanwege de sterke variatie in eigenschappen van het gesuspendeerd materiaal. Nader onderzoek moet uitwijzen in hoeverre het inzicht in de relatie tussen hydraulische omstandigheden en troebelheid uiteindelijk kan leiden tot een betere voorspelling van de vuilvracht over de overstort.

Omzettingen in de riolering

Op basis van literatuuronderzoek en een experiment uitgevoerd in het rioolstelsel van Beekbergen is geconstateerd dat de variaties in CZV concentraties over de dag aanzienlijk groter zijn dan de verandering in CZV concentraties door omzettingen in de riolering. Dit leidt tot de conclusie dat de omzettingen in de riolering alleen in heel spe-



Figuur 6: Boven: Gemeten en gemodelleerd verloop van de waterstand. Onder: Gemeten en gemodelleerd verloop ammoniumconcentratie bui 01/04/03, Ulvenhout.



Rioolstelsel Loenen
Hydroworks QM vs. 6

Transport systeem
"Plugflow"

AWZI 'Katwoude'
SIMBA 3.4 + ASM 1

Figuur 7: Semi-hypothetisch stedelijk afvalwatersysteem

cifieke gevallen van belang kunnen zijn voor het analyseren van het functioneren van een AWZI.

van Loenen en Katwoude is opgegeven door het rioolstelsel op te schalen. In dit artikel wordt het effect van de interacties geïllustreerd aan de hand van een bui van 21 mm met een herhalingstijd van 1 jaar.

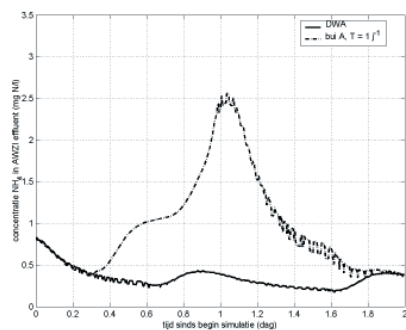
Praktijkvoorbeeld

In de praktijk is het van belang om te weten op welke wijze de interacties binnen een afvalwatersysteem doorwerken op het functioneren van een afvalwatersysteem. Dit is onderzocht voor de volgende parameters, waarbij zowel naar concentraties in het effluent als naar de totale vrachten is gekeken:

- ammonium
- totaal stikstof
- biodegradeerbaar CZV.

Beschrijving case

Op basis van de gekalibreerde modellen van het rioolstelsel 'Loenen' en AWZI 'Katwoude' is een semi-hypothetisch afvalwatersysteem opgesteld, dat loost op een locatie op het oppervlaktewater, zie figuur 7. Het verschil in schaalgrootte



Figuur 8: Gesimuleerde ammonium concentratie in het effluent van de AWZI tijdens DWA en bui A (T = 1 j). Na de bui daalt de ammoniumconcentratie tot het normale DWA niveau. De tijd op de x-as is relatief ten opzichte van de start van de simulatie om 17:30. De bui

Tabel 1: Geloosde vracht tijdens de bui, beginnend om 22:30

Locatie	Ammonium (kg NH ₄ -N)			N _{totaal} (kg N)			CZV _{afbreekbaar} (kg CZV)		
	0.7 mm/h	0.6 mm/h	0.5 mm/h	0.7 mm/h	0.6 mm/h	0.5 mm/h	0.7 mm/h	0.6 mm/h	0.5 mm/h
Overstort	13	14	16	23	24	29	154	164	196
AWZI	39	28	19	239	207	176	79	74	69
totaal	52	42	35	262	231	204	233	238	264

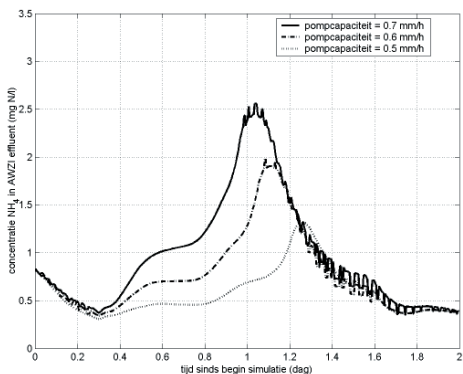
Figuur 8 toont het verloop van de ammoniumconcentratie in het effluent van de AWZI tijdens DWA en tijdens bui A. De ammoniumconcentratie in het effluent begint bij de normale DWA concentratie van ongeveer 0.5 mg N/l en loopt op tot 2.5 mg N/l tijdens de bui. Na de bui neemt de concentratie weer snel af tot het DWA niveau.

Naast de concentratie ammonium zijn ook de concentratie totaal stikstof en afbreekbaar CZV bepaald. In tegenstelling tot het verloop van de ammoniumconcentratie kon voor deze parameters de kwaliteit van de simulatie met SIMBA niet gekwantificeerd worden wegens een gebrek aan data. Dit heeft tot gevolg dat ten aanzien van deze parameters de simulatie resultaten moeten worden gezien als een indicatie van het functioneren van de AWZI. In de rest van dit artikel worden de fracties totaal stikstof en afbreekbaar CZV alleen nog beschouwd als totaal vrachten.

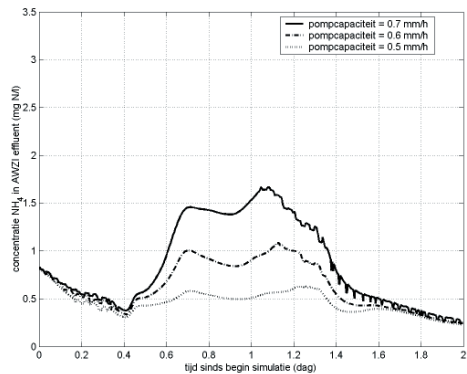
Effect variatie pompcapaciteit

Figuur 9 laat zien dat de piek in de ammoniumconcentratie in het effluent van de AWZI tijdens een bui afneemt met de pompcapaciteit. Een verlaging van de pompcapaciteit leidt ook tot een verhoging van het overstortend volume. Welk effect dominant is blijkt af te hangen van de parameter op basis waarvan het functioneren van het afvalwatersysteem wordt beoordeeld, zie tabel 1. Een lagere pompcapaciteit leidt in dit geval tot een reductie van de in totaal geloosde ammonium- en stikstofvracht, maar tot een hogere CZV_{afbreekbaar} vracht.

Indien dezelfde bui niet om 22:30 valt, maar om 08:00, dan heeft dit een duidelijk effect op de verdeling van de vuilvracht via het effluent en via de overstort. Figuur 10 laat zien dat de ammoniumconcentratie in het effluent, zoals in de vorige situatie, afneemt bij een reductie van de pompcapaciteit. Met het oog op de totaal op het oppervlaktewater geloosde vuilvracht, zie tabel 2 valt op dat het verlagen van de pompcapaciteit



Figuur 9: Doorwerking pompcapaciteit op ammoniumconcentratie in het effluent van de AWZI tijdens de bui. De aanvangstijd van de bui is in dit geval 22:30.



Figuur 10: Effect van het verlagen van de pompcapaciteit op de ammoniumconcentratie in het effluent van de AWZI. Bui A (T= 1 j), beginnend om 08:00

Tabel 2: Geloosde vracht tijdens bui A, beginnend om 08:00

Locatie	Ammonium (kg NH ₄ -N)			N _{totaal} (kg N)			CZV _{afbreekbaar} (kg CZV)		
	0.7 mm/h	0.6 mm/h	0.5 mm/h	0.7 mm/h	0.6 mm/h	0.5 mm/h	0.7 mm/h	0.6 mm/h	0.5 mm/h
Overstort	62	69	83	107	121	145	735	825	991
AWZI	37	24	15	212	183	157	76	69	62
totaal	99	94	98	320	304	302	812	895	1053

tot 0.6 mm/h positief werkt, maar dat het verder verlagen van de pompcapaciteit tot 0.5 mm/h de totaal geloosde ammoniumvracht juist weer doet stijgen. Daarnaast geldt voor afbreekbaar CZV dat de in totaal geloosde vuilvracht stijgt bij een afnemende pompcapaciteit, net zoals bij bui A beginnend om 22:30.

Op basis van deze resultaten kan wederom geconcludeerd worden dat de verdeling van de vuilvracht over het effluent van de AWZI en de overstort het totaal effect van maatregelen binnen het afvalwatersysteem bepaalt. Daarnaast wordt geconcludeerd dat het moment waarop een bui plaatsvindt bepalend is voor de optimale instelling van de gemaalcapaciteit.

Een soortgelijk effect treedt ook op bij maatregelen als het aanpassen van de berging in het rioolstelsel. Daarnaast volgt uit de resultaten van het onderzoek dat het effect van maatregelen op de in totaal geloosde vuilvracht niet alleen varieert per parameter, maar ook per bui. De pompcapaciteit waarbij de in totaal geloosde vuilvracht minimaal is, is hiermee afhankelijk geworden van de eigenschappen van een bui.

Conclusie

De hoofdconclusie van het onderzoek is dat de interacties tussen riolering en afvalwaterzuivering daadwerkelijk van belang zijn voor het functioneren van het afvalwatersysteem als geheel. Daarnaast is geconcludeerd dat de parameter waarop het functioneren van een afvalwatersysteem wordt beoordeeld, zoals overstortingsvolume, ammonium, totaal stikstof of CZV, voor een groot deel de uitkomst van een afvalwatersysteem optimalisatie bepaalt. Deze conclusie is met het

oog op de verschillen tussen de huidige wijze van het beoordelen van het functioneren van de riolering, de basisinspanning, en de in de nabije toekomst in het kader van de Kaderrichtlijn Water te verwachten wijze van groot belang.

Een andere voor de praktijk interessante conclusie is dat de ruimte voor optimalisatie binnen een afvalwatersysteem bui-afhankelijk is. Sturing op afvalwatersamenstelling is een zeer interessante optie voor het omgaan met de in de tijd variërende belasting van afvalwatersystemen. De kennis over de interacties binnen het afvalwatersysteem zal in het vervolgonderzoek gebruikt worden om nieuwe sturingsstrategieën te ontwikkelen.

Tenslotte volgt uit het onderzoek dat het operationeel beheer van de riolering niet alleen doorwerkt op de lozingen via de overstort, maar ook op de effluentlozingen via de afvalwaterzuivering. Het operationeel beheer van de riolering verdient daarom veel meer aandacht dan te doen gebruikelijk binnen afvalwatersysteem optimalisatiestudies.

Literatuur

- Clemens, F.H.L.R. (2001). Hydrodynamic models in urban drainage: application and calibration. Proefschrift Technische Universiteit Delft
- Durchschlag, A. (1990). Longterm simulation of pollutant loads in wastewater treatment plant effluents and combined sewer overflows. *Wat.Sci. Tech.* 22(10/11), pp.69-76
- Foundation for Water Research (FWR), (1998). *Urban Pollution Management Manual. 2nd Edition. A planning guide for the management of*

urban wastewater discharges during wet weather.
FR/CL 0009

Henze, M., Gujer, W., Mino, T. en Loosdrecht, M. van. (2000). *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3*. IWA Scientific and Technical Report No. 9, 2000

Langeveld, J.G. (2004). Interactions within wastewater systems. Proefschrift Technische Universiteit Delft.

Mameren, van, H. (2001). Afvalwater systeem studies in Nederland. Voordracht namens ONRI Werkgroep Riolering, *Vakbeurs riolering* 9 oktober 2001