

Symposium

Interacties binnen het afvalwatersysteem III

12 juni 2003

ir. J.G. Langeveld



Grontmij

Witteveen

Bos

Interacties binnen het afvalwatersysteem III

Proceedings Middag Symposium

12 juni 2003

in het kader van het onderzoek:

Interacties tussen riolering en afvalwaterzuivering

in opdracht van:

**ARCADIS Heidemij Advies, HKVlijn in water en Vertis
Grontmij
Witteveen+Bos**

Oplage: 100 exemplaren

Inlichtingen:
Ir. J.G. Langeveld
Sectie Gezondheidstechniek
Subfaculteit Civiele Techniek
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
TU Delft
j.g.langeveld@citg.tudelft.nl

Voorwoord

In navolging van de succesvol verlopen symposia 'Interacties binnen het afvalwatersysteem I en II' wordt op donderdag 12 juni 2003 het derde symposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem III' gehouden in het kader van een gelijknamig promotieonderzoek aan de TU Delft.

Het onderzoek probeert een antwoord te vinden op de vragen die leven rondom de interacties tussen riolering en afvalwaterzuivering. Deze vragen zijn actueel geworden door de huidige tendens om afvalwatersystemen als geheel te optimaliseren. Dergelijke optimalisatiestudies beperken zich nu noodgedwongen tot de kwantitatieve hydraulische aspecten, doordat inzicht in de (kwalitatieve) interacties tussen de riolering en de afvalwaterzuivering ontbreekt.

Het onderzoek naar de interacties is in oktober 1999 onder begeleiding van Prof.ir. Jaap van der Graaf en Prof.dr.ir. François Clemens gestart en wordt uitgevoerd door ir. Jeroen Langeveld. In de eerste fase van het onderzoek is een brede inventarisatie en literatuurstudie uitgevoerd, waarin de nadruk zowel lag op het gedrag van de riolering en de afvalwaterzuivering als op hun interacties. De resultaten van deze eerste fase waren zo veelbelovend dat is besloten om het onderzoek in een breder kader voort te zetten.

Doordat binnen het onderzoek naar de interacties de grenzen van twee vakgebieden worden overschreden is gezocht naar partners die op beide deelgebieden reeds een hoog kennisniveau bezitten. Dit heeft een uniek samenwerkingsproject opgeleverd, waarin sinds september 2000 naast de TU Delft ARCADIS, i.s.m. HKV en Vertis, Grontmij en Witteveen+Bos participeren. De samenwerking heeft gestalte gekregen met de oprichting van een werkgroep, waarin namens elk adviesbureau in principe twee personen deelnemen.

Dit symposium is de laatste in een serie van 3 jaarlijkse symposia en is zowel bedoeld om de praktijk te informeren over de resultaten van het onderzoek als om van deskundigen/medewerkers van gemeenten en waterschappen feed-back te krijgen op deze resultaten en de onderzoeksaanpak. Daarnaast wordt tijdens het symposium een vooruitblik geboden op de ideeën voor het vervolgonderzoek 'Interacties binnen het afvalwatersysteem II' en op praktische toepassingsmogelijkheden van de onderzoeksresultaten.

Namens de werkgroep dank ik u voor uw komst en wens u een boeiend symposium toe,

Jeroen Langeveld

Samenstelling werkgroep

namens TU Delft

ir. Jeroen Langeveld

Prof.dr.ir. François Clemens en Prof.ir. Jaap van der Graaf

namens Arcadis, HKV en Vertis

ir. Hans Aalderink/ing. Jan Zuidervliet (Arcadis), ir. Hans Geerse (thans werkzaam bij Waterschap Reest en Wieden)/ir. Hans Hartong (HKV) en ing. Johan van Dijk (Vertis)

namens Grontmij

ir. Saskia Holthuijsen en drs.ing. Saskia van 't Veen

namens Witteveen+Bos

ir. Marcel Boomgaard en ir. Peter de Jong/dr.ir. Arjen van Nieuwenhuijzen

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Programma	5
Dynamiek AWZI: hoe gevoelig is een AWZI voor influentfluctuaties? <i>ir. J.G. Langeveld, TU Delft</i>	7
Interacties en riolering: zijn influentfluctuaties voldoende goed te voorspellen? <i>ir. J.G. Langeveld, TU Delft</i>	27
Interacties in het afvalwatersysteem: waar staan we nu? <i>ir. J.G. Langeveld, TU Delft</i>	41
Deelnemerslijst	55
Adressenlijst werkgroep interacties	57

Programma

- 13.30 uur Introductie onderzoek
 Prof.dr.ir. F.H.L.R. Clemens/Prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf
- 13.40 uur Dynamiek AWZI: hoe gevoelig is een AWZI voor influentfluctuaties? Resultaten metingen & modellering AWZI Katwoude + vertaling naar eisen aan influent
 ir. J.G. Langeveld
- 14.10 uur Dynamiek riolering: is het voldoende betrouwbaar berekenen van de influentsamenstelling mogelijk? Verwerken resultaten experimenten en modellering
 ir. J.G. Langeveld
- 14.40 uur Theepauze
- 15.10 uur Korte presentatie highlights onderzoek interacties: waar stonden we 3 jaar geleden en wat kunnen we nu?
 ir. J.G. Langeveld
- 15.30 uur Hoe verder? In deze sessie wordt een 6-7-tal ideeën en toekomstverwachtingen gepresenteerd door de partners van het onderzoek 'Interacties', waarna volop ruimte is voor discussie.
 Prof.dr.ir. F.H.L.R. Clemens/Prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf
- 16.40 uur Borrel

Dynamiek AWZI: hoe gevoelig is een AWZI voor influentfluctuaties?

ir. J.G. Langeveld (TU Delft)

Inleiding

In het onderzoek 'interacties binnen het afvalwatersysteem' speelt de dynamiek van de afvalwaterzuivering een grote rol. Immers, de capaciteit van een afvalwaterzuivering om variaties in het influent op te vangen bepaalt in hoge mate de speelruimte voor maatregelen aan de riolering die van invloed kunnen zijn op de variaties in het influent. De bekendste maatregel is aanpassing van de pompcapaciteit. Dit heeft een directe invloed op de hydraulische belasting van de AWZI. Daarnaast kan het ledigen van berg(bezink)bassins leiden tot grote variaties in de samenstelling van het influent, die doorgaans niet worden meegenomen bij de analyse van het effect van de aanleg van bergingsvoorzieningen.

Ook het afkoppelen van verhard oppervlak kan, bij een gelijkblijvende pompcapaciteit, leiden tot minder verdund influent, waardoor de influentvracht tijdens een bui stijgt.

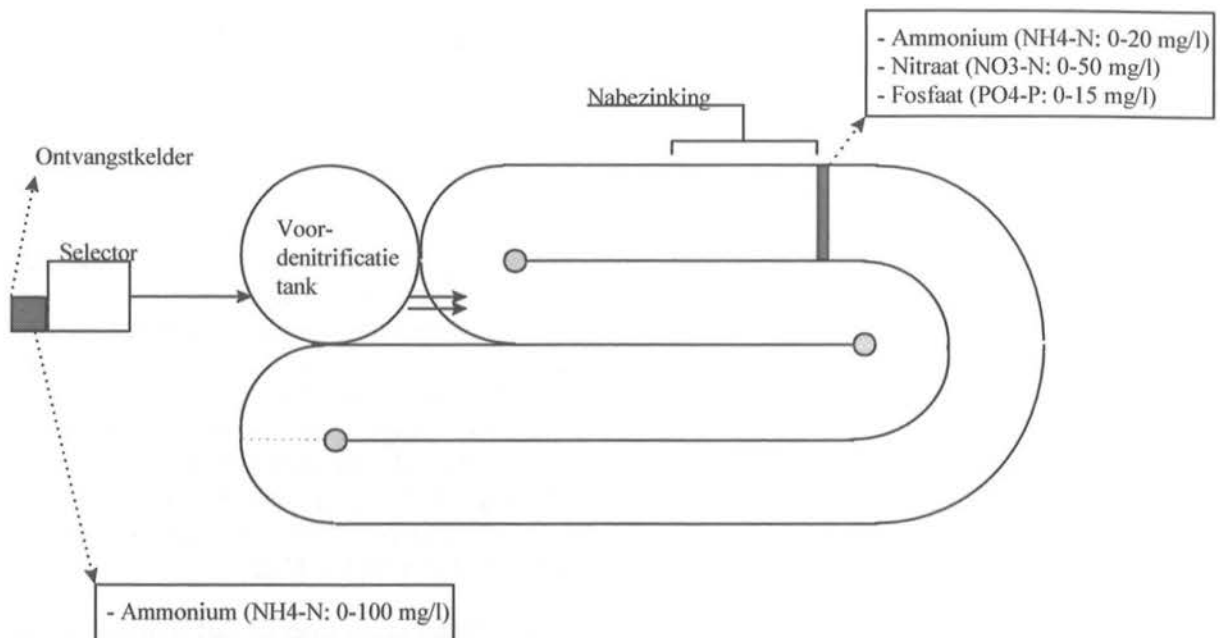
Het is de vraag in hoeverre veranderingen in de influentsamenstelling of het influentdebiet ten gevolge van maatregelen aan de riolering van belang zijn voor het functioneren van een afvalwaterzuivering. In deze bijdrage aan het middagsymposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem III' wordt aan de hand van de case 'AWZI Katwoude' uitgebreid ingegaan op de gevoeligheid van een afvalwaterzuivering voor influentfluctuaties. Deze bijdrage is voor een groot deel gebaseerd op materiaal dat is verzameld binnen het afstudeerwerk van Jeroen Stok (Stok, 2003).

Afvalwatersysteem Katwoude

AWZI 'Katwoude' van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft een capaciteit van 60.000 i.e. en verwerkt het afvalwater uit Katwoude, Edam, Volendam, Marken en Broek in Waterland. Het afvalwater wordt via een tweetal persleidingen naar de AWZI gevoerd. De laagbelaste AWZI is uitgevoerd als een omloopsysteem met voordennitrificatie en levert gemiddeld gezien prima effluent, zie tabel 1. Het Hoogheemraadschap heeft het voornemen om op de AWZI automatische processturing op basis van ammonium en nitraat in te voeren. Als voorbereiding hierop zijn in de periode september – december 2002 ammonium- en nitraatsensoren geplaatst bij de afloop van de beluchtingstank en een ammoniumsensor in de influentkelder, zie figuur 1. Deze sensoren hebben de waardevolle dataset opgeleverd die in dit onderzoek is gebruikt.

Tabel 1. Effluenteisen en effluent gehalten voor zuiveringsinstallatie Katwoude

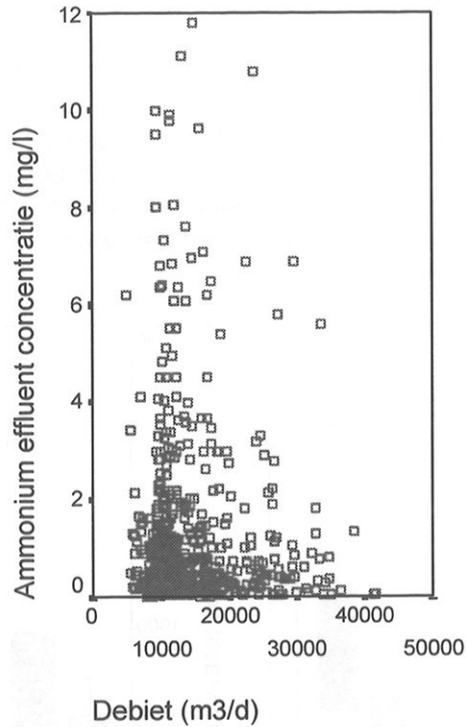
Parameter	Eenheid	Effluent eis	Gemeten in 2000
BZV	mg/l	10	4.6
N-totaal	mg/l	10	5.7
P-totaal	mg/l	2	0.6
Zwevende stof	mg/l	15	6.1



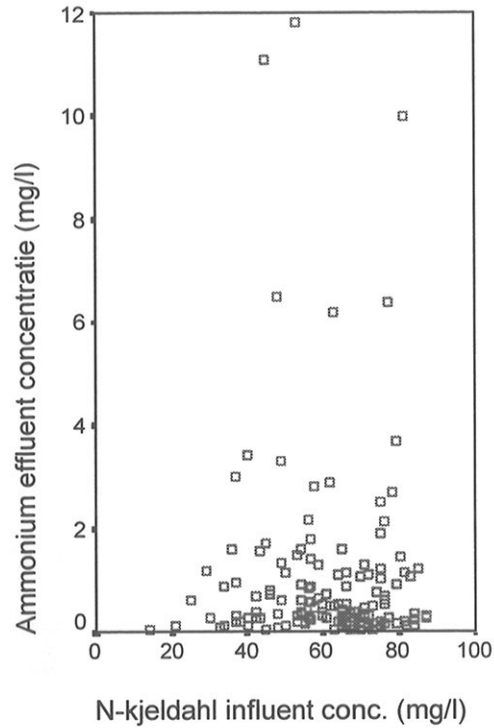
Figuur 1. Positionering van de sensoren

Analyse routinematige metingen

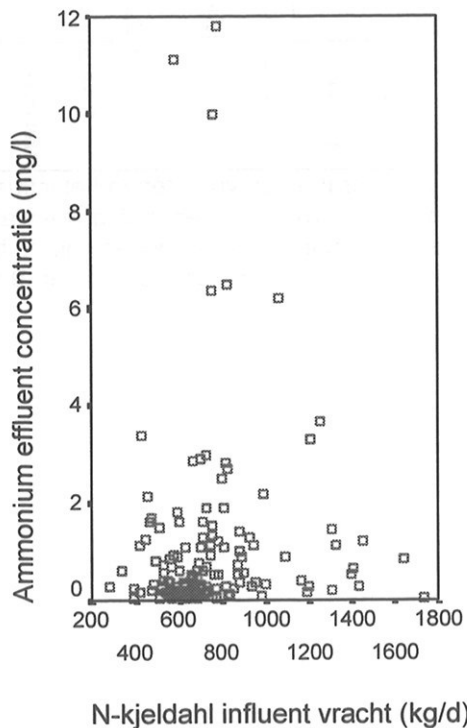
Voorafgaand aan de analyse van de meetgegevens uit de periode sept – dec 2002 is een analyse uitgevoerd van de routinematige (24-uurs) metingen uit de jaren 2000, 2001 en 2002. In figuur 2 tot 4 is de ammoniumconcentratie in het effluent uitgezet tegen resp. het debiet, de N-kjeldahl concentratie en de N-Kjeldahl vracht in het influent. De figuren geven niet de indruk dat er een relatie tussen influent parameters en de effluent concentraties bestaat. Zo komen ook zeer lage (< 1 mg/l) effluent ammoniumgehalten voor op dagen waarop de inkomende vracht 2 tot 3 keer de gemiddelde vracht bij DWA bedraagt. De keuze van de datumgrens en de doorwerking van buien op voorgaande dagen lijken hiervoor de meest plausibele verklaring.



Figuur 2. Verband tussen het dag-debiet en de daggemiddelde ammoniumconcentratie in het effluent



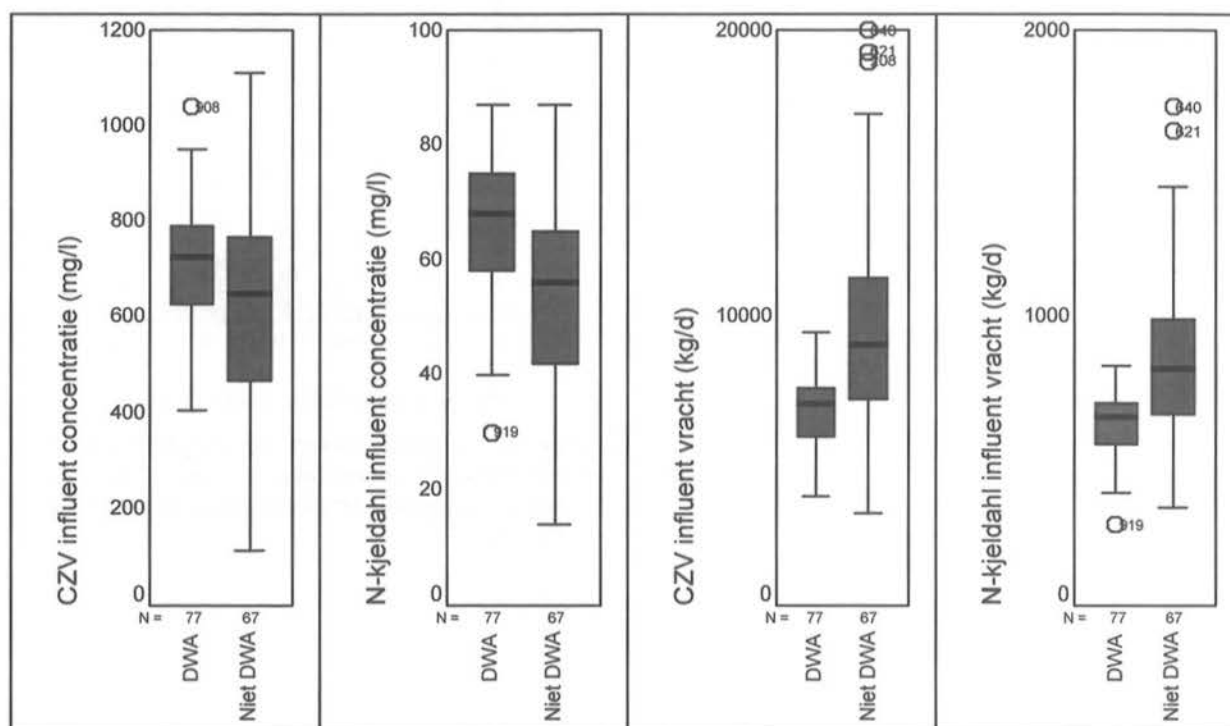
Figuur 3. Verband tussen de daggemiddelde Kjeldahl-stikstof concentratie in het influent en de daggemiddelde ammoniumconcentratie in het effluent



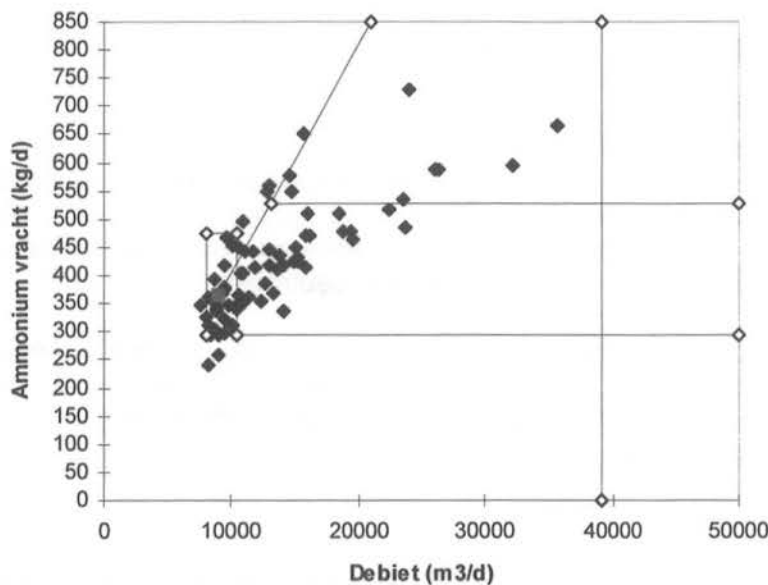
Figuur 4. Relatie influentvracht N-Kjeldahl en daggemiddelde ammoniumconcentratie in het effluent

De routinematige meetgegevens geven hierdoor geen beeld van de respons van de AWZI op fluctuaties in het influent. Wel kan op basis van de gegevens worden geconcludeerd dat regelmatig hoge ammoniumconcentraties optreden in het effluent.

In figuur 5 zijn de routinematige gegevens uitgezet in een aantal boxplots, waarbij onderscheid is gemaakt in DWA en RWA dagen. Zowel voor de concentratie CZV als N-Kjeldahl in het influent geldt dat het gemiddelde bij RWA lager ligt dan bij DWA, terwijl de spreiding juist veel groter is. De variatie in influentvracht bij DWA en RWA illustreert de grote invloed van het debiet. Duidelijk is dat de AWZI tijdens RWA te maken kan krijgen met aanzienlijk grotere influentvrachten. Dit kan wellicht voor een deel verklaard worden uit het feit dat in het afvalwatersysteem persleidingen aanwezig zijn. In deze persleidingen bevindt zich aan het begin van de bui afvalwater met DWA samenstelling dat vervolgens met RWA debiet op de AWZI arriveert, hetgeen een behoorlijke piek in de influentvracht kan veroorzaken. In figuur 6 is dit 'persleidingeneffect' uitgebeeld.



Figuur 5. Boxplotten voor de CZV en Kjeldahl stikstof influent concentraties en vrachten in het influent voor de periode 2000 tot en met 2002. De gekleurde rechthoeken 'boxen' geven het gebied aan waarbinnen 50 % van de metingen zich bevindt. De donkere lijn binnen deze 'boxen' geeft het gemiddelde weer, terwijl de lijnen boven en onder de boxen het gebied aangeven waarbinnen 95% van de metingen zich bevindt.



Figuur 6. Verband tussen het debiet en de ammonium vracht in het influent, en de kaders waarbinnen beiden kunnen variëren

Het vertrekpunt van figuur 6 is de gemiddelde ammonium vracht bij het gemiddelde DWA debiet. De werkelijke dagvracht ammonium en het werkelijke debiet kunnen hier in de praktijk in meer of mindere mate van afwijken.

- DWA. Het debiet en de ammoniumvracht bij DWA kennen een bepaalde variatie, die in figuur 6 is aangegeven met de kleine rechthoek;
- RWA. Tijdens RWA geldt dat het debiet en de influentvracht veel sterker kunnen fluctueren. Hierbij gelden als uitersten:
 - situatie waarbij geen verdunning optreedt zodat de influentvracht evenredig toeneemt met het debiet (zoals het geval is bij de aanwezigheid van een persleiding). Deze situatie is uiteraard begrensd doordat de inhoud van de persleiding niet oneindig is en op een gegeven moment ook met regenwater verdund afvalwater zal worden aangevoerd. De dagvracht ammonium bedraagt hierdoor maximaal de som van de normale DWA vracht en de in de persleiding geborgen vracht (bijna 550 kg N/d);
 - situatie waarbij alleen verdunning optreedt. De influentvracht blijft constant, doordat de toename van het debiet wordt gecompenseerd door de afname van de influentconcentratie door verdunning. Deze situatie wordt in de praktijk begrensd door de maximale pompcapaciteit (ruim 39.000 m³/d).

In principe zouden alle gemeten vrachten en debieten ingesloten moeten worden binnen de kleine rechthoek (bij DWA) of de daarnaast gelegen vijfhoek (bij RWA). Met name tijdens RWA blijkt de gemeten vracht behoorlijk te kunnen afwijken van het theoretisch bepaalde kader. Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat zich in het rioolstelsel nog een aanzienlijke hoeveelheid afvalwater bevindt (bijvoorbeeld in pompkelders of dode berging). Een interessante conclusie is dat voor dit afvalwatersysteem blijkt dat de dagvracht ammonium bij neerslag het midden houdt tussen volledige verdunning en geheel geen verdunning.

De analyse van de gemeten vrachten en debieten biedt een redelijk inzicht in de te verwachten dagelijkse variaties. Het ontbreken van een eenduidige relatie tussen de 24-uursvariaties in het influent (zowel vrachten, debieten als concentraties) en het effluent (concentratie) geeft aan dat wellicht de influentvariatie over de dag bepalend is voor de effluentkwaliteit.

Om dit te kunnen achterhalen is een analyse uitgevoerd op de beschikbare meetgegevens van de sensoren en is geprobeerd het dynamisch gedrag van de AWZI te modelleren.

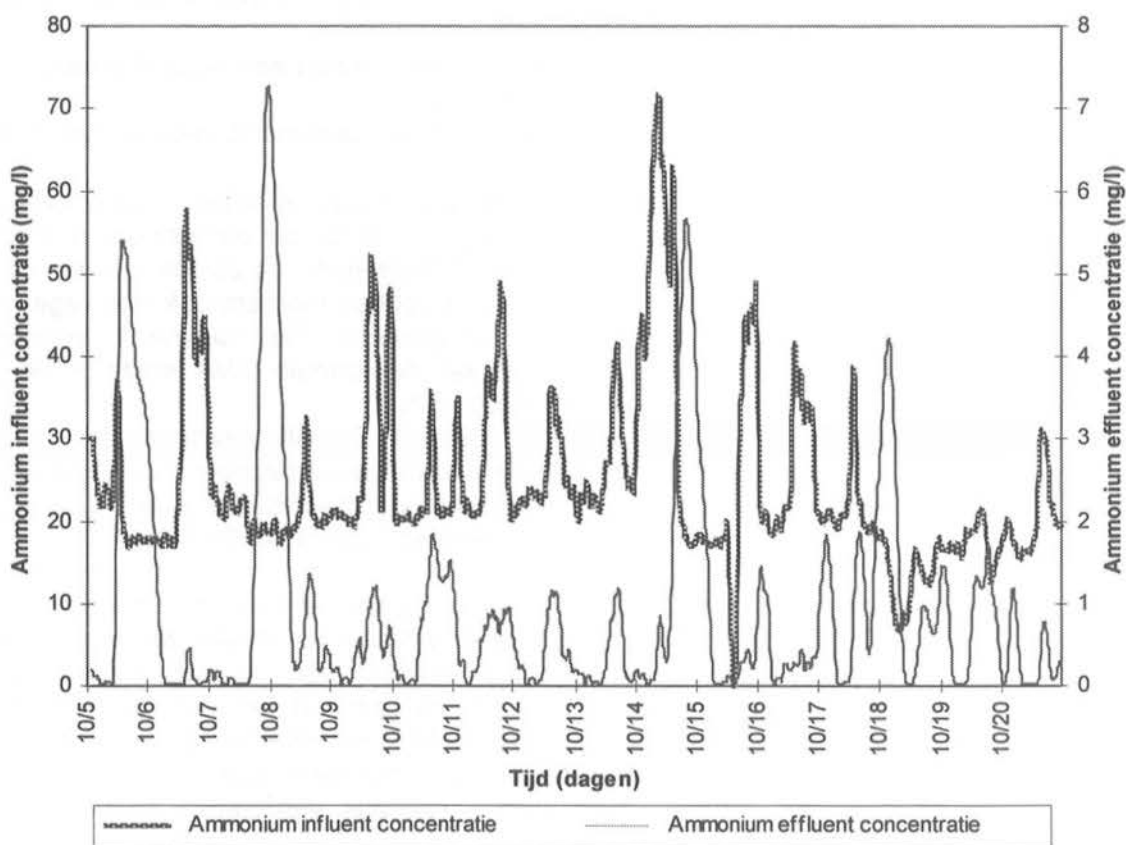
Analyse invloed influentfluctuaties m.b.v. meetgegevens sensoren

Figuur 1 geeft een overzicht van de positionering van de sensoren in de influentkelder en bij de afloop van de beluchting. In het influent is continue de ammoniumconcentratie bepaald, terwijl bij de afloop van de beluchtingstank ammonium, fosfaat en nitraat zijn bemeaten. De nitraatsensor heeft gedurende de meetperiode slecht gefunctioneerd, waardoor in deze paragraaf slechts wordt stilgestaan bij de gemeten ammoniumconcentraties.

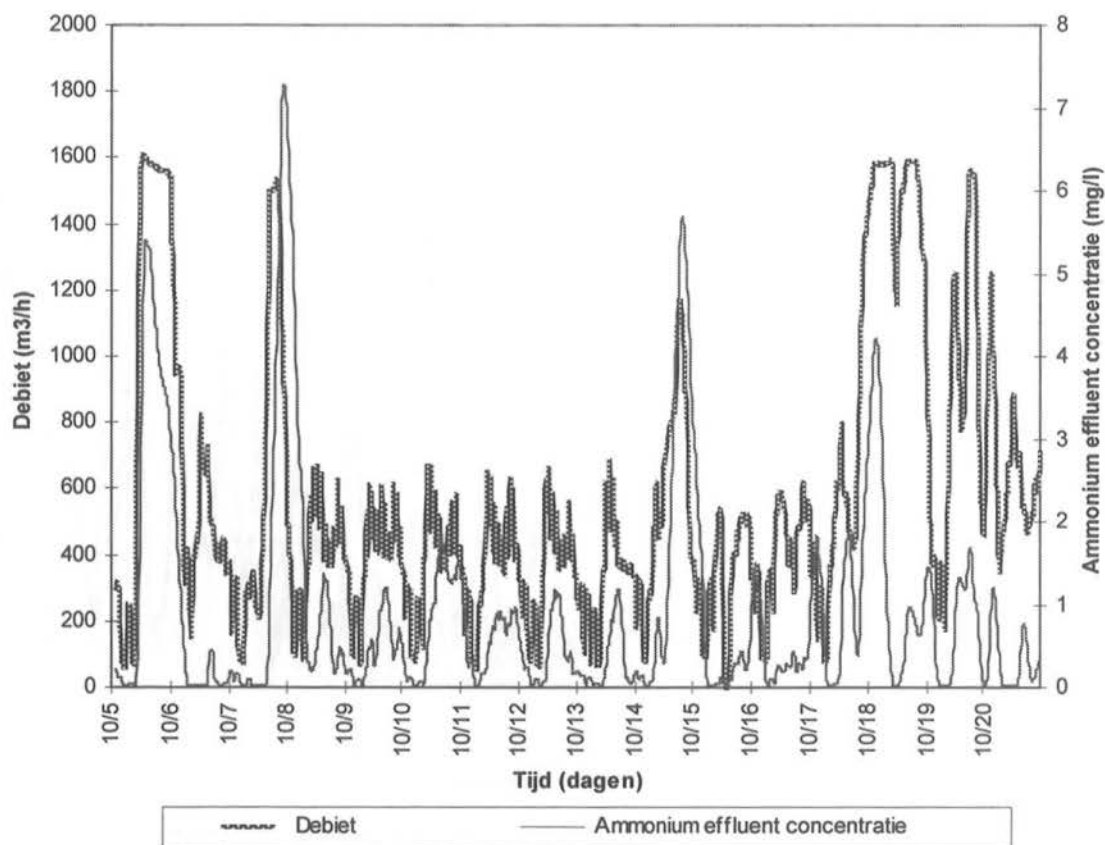
Aangezien het in het kader van de interacties van belang is om te weten welke influentfluctuaties van belang zijn voor het functioneren van de AWZI is de ammoniumconcentratie in de afloop van de beluchting achtereenvolgens uitgezet tegen:

- ammoniumconcentratie in het influent;
- influentdebiet;
- ammoniumvracht in het influent.

Figuur 7 geeft het verloop van de ammoniumconcentratie in zowel het influent als de afloop van de beluchtingstank (voor het gemak verder 'afloop' genoemd) voor een deel van de meetperiode. Met name de hogere pieken in de afloop kunnen niet worden verklaard uit pieken in het influent.

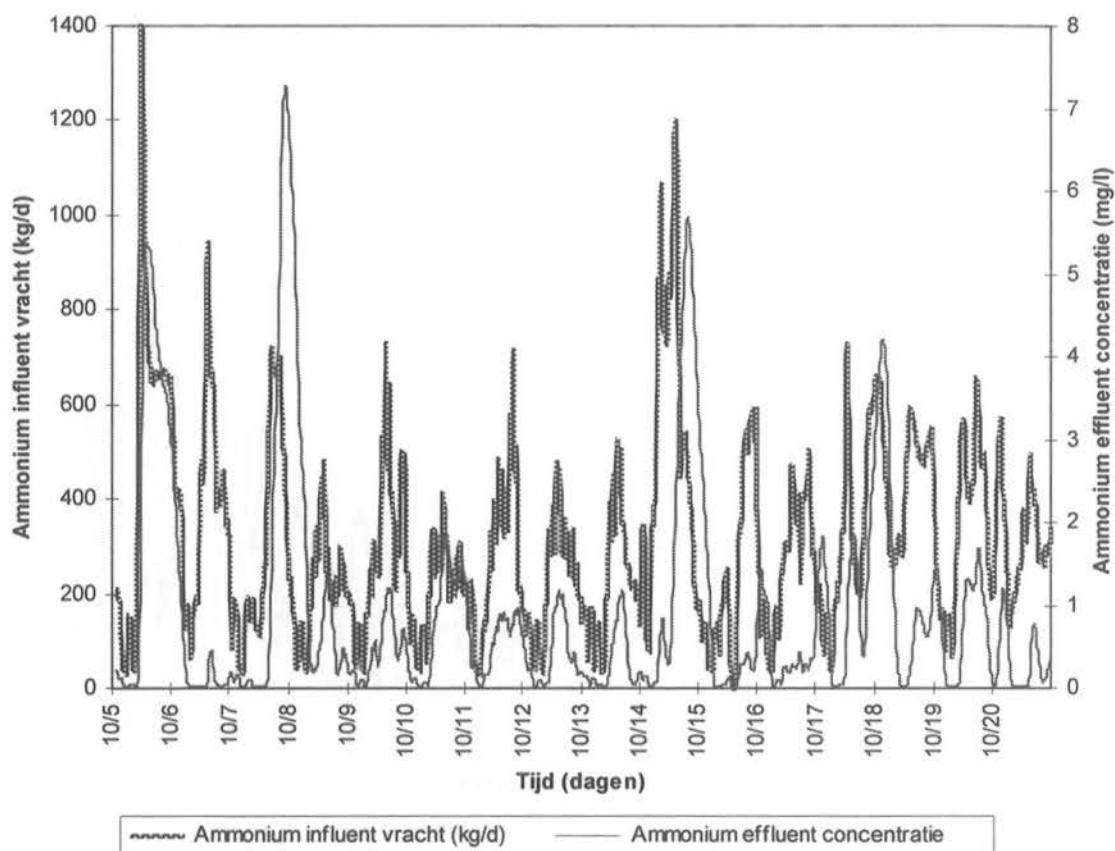


Figuur 7. Ammoniumconcentratie verlopen in het in- en effluent voor 5 tot 20 oktober



Figuur 8. Debiet en ammoniumconcentratie in het effluent voor 5 tot 20 oktober

In figuur 8 is het influentdebiet uitgezet tegen de concentratie ammonium in de afloop. De belangrijkste pieken in de afloop vallen samen, hoewel met name bij de grotere buien (5 oktober en 18 oktober) de terugloop in effluentconcentratie niet volgt uit het verloop van het influentdebiet. Uiteindelijk blijkt het verloop van de ammoniumvracht in het influent het meest overeen te komen met het gemeten concentratieverloop in de afloop, zie figuur 9. Elke belangrijke piek in de afloop kan worden verklaard uit pieken in de influentvracht. Omgekeerd geldt echter niet dat elke piek in de influentvracht ammonium ook wordt gevolgd door een hogere concentratie ammonium in de afloop. Kennelijk is niet alleen het verloop van het influent bepalend voor de werking van de AWZI.



Figuur 9 Ammoniumvracht in het influent en ammoniumconcentratie in het effluent voor 5 tot 20 oktober

Op basis van de analyse van alle beschikbare meetgegevens wordt geconcludeerd dat het voor het verklaren van pieken in de afloop van de beluchting (en daarmee in het effluent) noodzakelijk is om het verloop van de influentvracht ammonium te kennen. Dit houdt in dat niet alleen het verloop van het influentdebiet, maar ook van de ammoniumconcentratie in het influent van belang is.

Analyse invloed influentfluctuaties m.b.v. ASM 1 model AWZI Katwoude

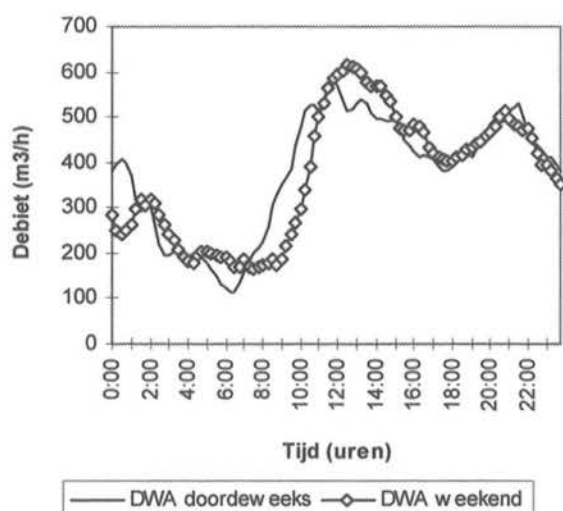
De invloed van influentfluctuaties op het functioneren van de AWZI Katwoude is ook geanalyseerd met behulp van een dynamisch model. In dit geval is een bestaand ASM 1 model (opgesteld door Hielke van der Spoel, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) als basis gebruikt. De keuze voor een ASM 1 model houdt in dat niet is gekeken naar de modellering van de biologische fosfaatverwijdering. Aangezien de eventuele terugloop in de fosfaatverwijdering ten gevolge van influentfluctuaties eenvoudig kan worden opgevangen met behulp van chemicaliëndosering is hier alleen gekeken naar de effecten van influentfluctuaties op de nitrificatie.

In deze bijdrage wordt niet ingegaan op alle aspecten van het modelleren, maar wordt alleen een drietal belangrijke zaken besproken:

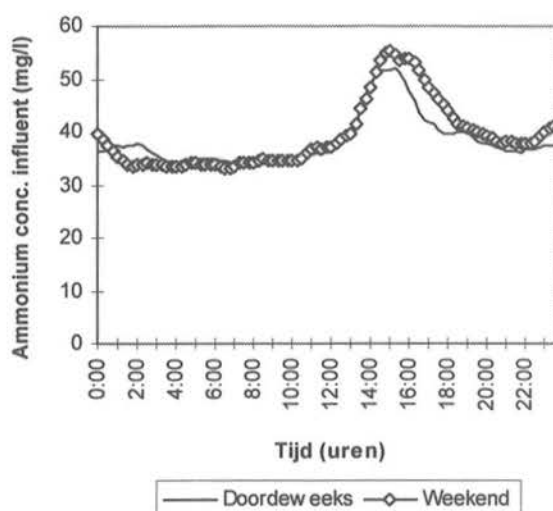
- influentverloop
- kalibratie model
- reeksberekening

Influentverloop

Voor het instellen van het model is een gemiddelde DWA dag nodig. Het verloop van het influentdebiet en de concentratie ammonium in het influent worden continue gemeten. Het gemiddelde verloop voor een week- en werkdag van beide parameters is weergegeven in de figuren 10 en 11.



Figuur 10. Verloop van het DWA debiet voor doordeweekse dagen en het weekend



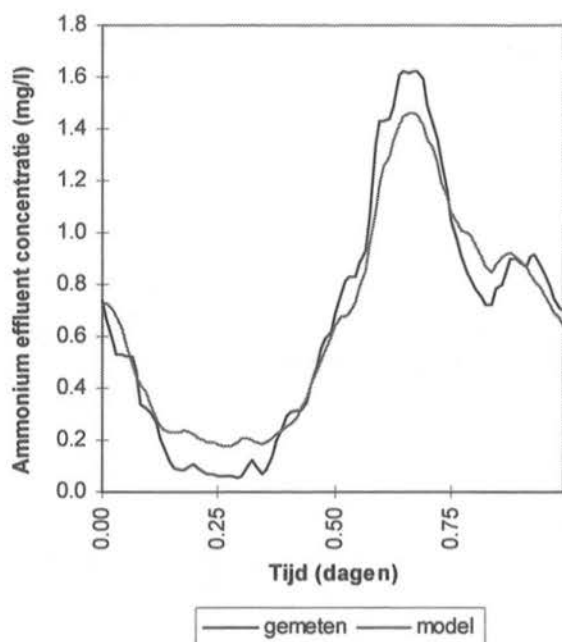
Figuur 11. Verloop van de ammoniumconcentratie in het influent bij DWA voor doordeweekse dagen en het weekend

Naast het verloop van de influentconcentratie ammonium en het influentdebiet is het van belang het verloop van alle belangrijke influentfracties (verschillende CZV en N-fracties) te kennen. Op een aantal dagen zijn hiertoe aanvullende uursmetingen verricht. Het bleek dat de systematiek zoals beschreven in STOWA 99-13 (STOWA, 1999) tot goede resultaten leidde, waarbij moet worden aangetekend dat de verhouding tussen XS en XI (resp. langzaam afbreekbaar en inert gesuspenseerd CZV) is bepaald op basis van de bekende slijbleeftijd.

Verder is aangenomen dat de verhouding tussen alle influentfracties constant blijft tijdens een bui. Metingen tijdens een bui hebben aangetoond dat dit in de praktijk een te eenvoudige voorstelling van zaken is, aangezien bijvoorbeeld gesuspenseerd CZV een ander verloop kent dan opgelost CZV of ammonium. Aangezien het functioneren van de awzi juist het minst gevoelig is voor de fracties die wat het verloop van de concentratie tijdens een bui betreft het meest afwijken van ammonium (nl. de niet-opgeloste CZV fracties), leidt deze aanname toch tot goede modelresultaten. Uit een controle op basis van het per uur gemeten influentverloop volgt dat het gedetailleerd beschrijven van het verloop van alle afzonderlijke CZV fracties niet leidt tot betere modelresultaten, hetgeen de aanname van een constante verhouding in het influent rechtvaardigt.

Kalibratie model

Bij de kalibratie van het model is zo veel mogelijk gewerkt volgens het SIMBA-protocol (STOWA, 2000). Uiteindelijk is slechts een drietal modelparameters, de verzadigingscoëfficiënten voor nitraat K_{NO} , ammonium K_{NH4} en zuurstof K_{O2} , aangepast. De modelparameters zijn zodanig aangepast dat het gemiddelde van het gekwadrateerde verschil tussen meting en model voor ammonium gelijk is aan nul. Het gevolg van deze werkwijze is dat het model de metingen over de hele linie goed volgt, zie figuur 12, in plaats van alleen de pieken te kunnen reproduceren zoals in veel studies het geval is.



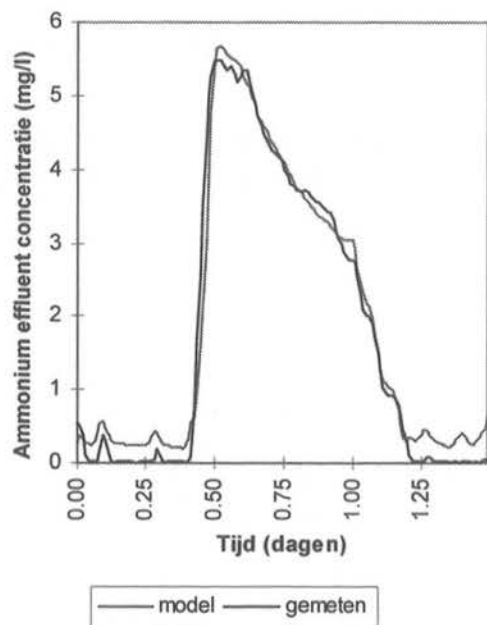
Figuur 12. Modelresultaat voor de gemiddelde DWA dag met de aangepaste parameters

Het feit dat met name hele lage concentraties door het model niet worden gevolgd is het gevolg van de gekozen modelopzet met eenvoudige Monod-kinetiek in het ASM 1 model (Henze et al., 2000).

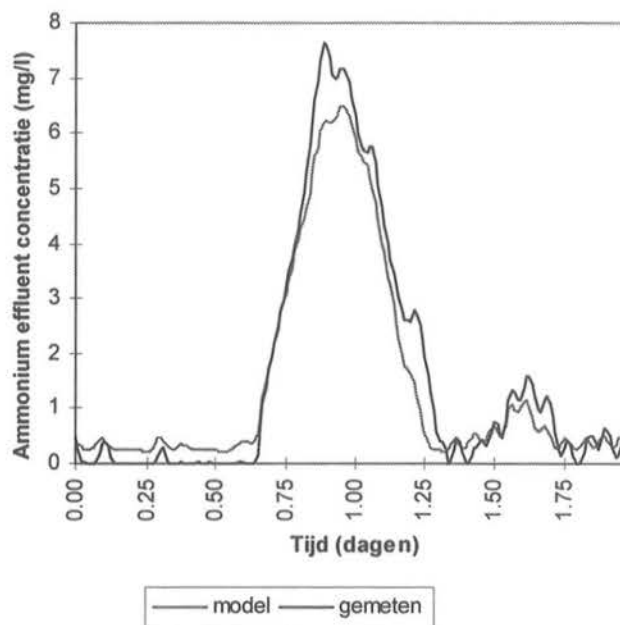
Reeksrekening

Nadat de modelparameters zijn ingesteld voor de gemiddelde DWA is de volledige meetreeks doorgerekend. Tijdens dit doorrekenen zijn de modelinstellingen ongewijzigd gebleven en zijn alleen de zuurstofsetpoints en de temperatuur aangepast overeenkomstig de praktijk. Op 3 momenten is extern ingegrepen in de berekeningen omdat op dat moment de slibconcentratie in de beluchting om onduidelijke redenen ineens uit de pas liep. Dit kan het gevolg zijn van een onverwacht grote aanvoer van rioolslib of van een verstoorde werking van de slibpompen. In de volgende paragraaf wordt voor een aantal dagen nader ingegaan op het modelresultaat.

Een totaaloverzicht van alle modelresultaten en metingen is weergegeven in bijlage I. In deze paragraaf wordt volstaan met een korte blik op deze resultaten aan de hand van een 6-tal voorbeelden.



Figuur 13. Modelresultaten 5 oktober

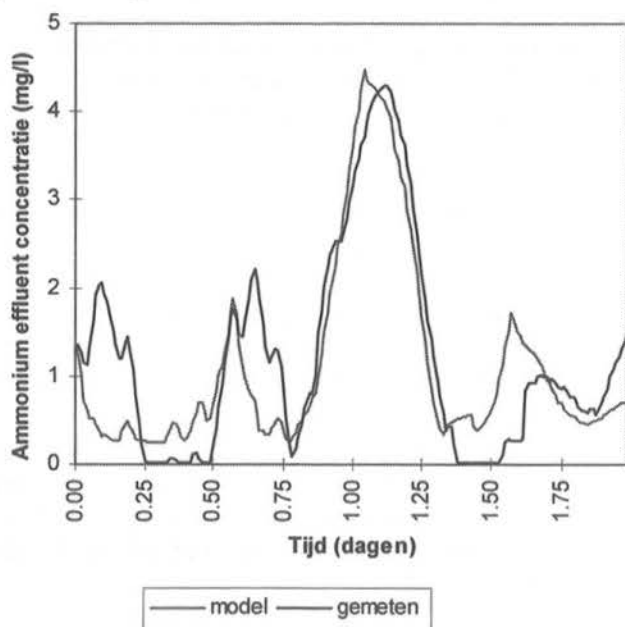


Figuur 14. Modelresultaten 7 en 8 oktober

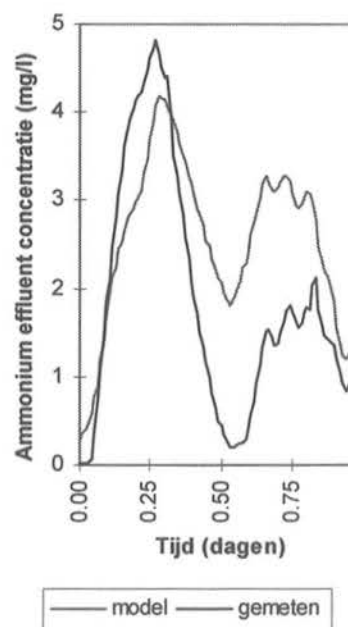
5 oktober. Deze dag, met een totale neerslag van 16 mm, geeft het beste resultaat van alle regendagen. Alleen voor en na de bui is een significant verschil aanwezig tussen model en meting, zoals te zien is in figuur 13.

Gemeten neerslag: 16 mm

7 en 8 oktober. Ook voor deze twee dagen, met een neerslag van resp. 24 en 3 mm, beschrijft het model de metingen behoorlijk goed. De berekende ammonium concentratie loopt weliswaar niet geheel door tot de gemeten 7.7 mg/l, maar de beschrijving van het patroon is goed.



Figuur 15. Modelresultaten 17 en 18 oktober

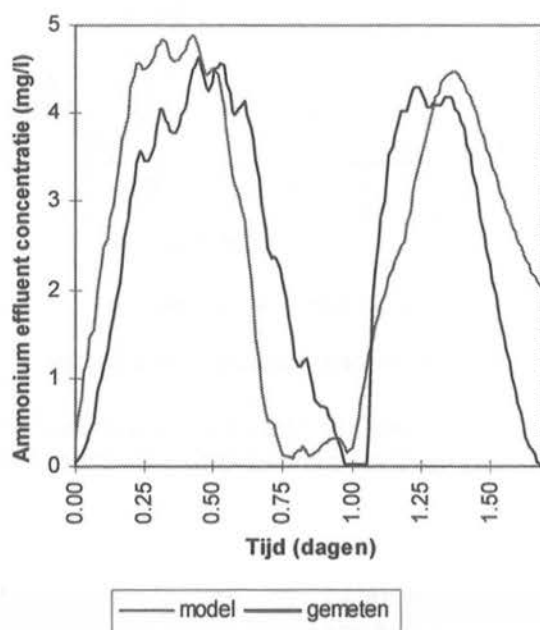


Figuur 16. Modelresultaten 3 november

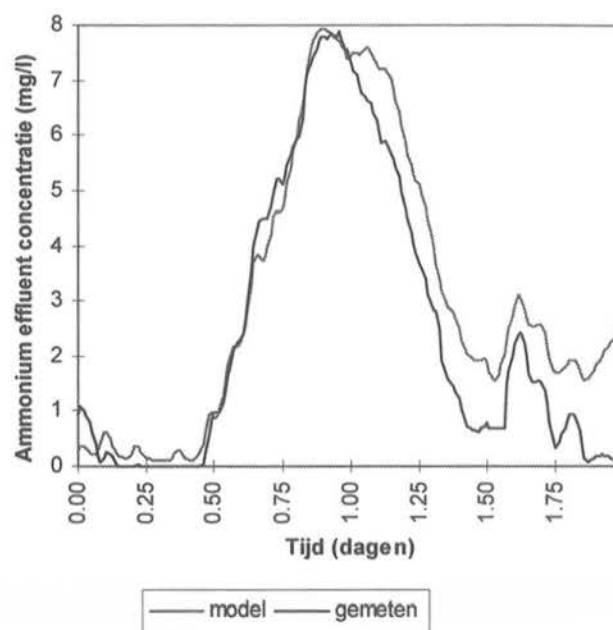
17 en 18 oktober. Met name aan het begin van 17 oktober en het eind van 18 oktober beschrijft het model de metingen minder goed dan bij de voorgaande regendagen, hoewel de belangrijkste piek wel goed wordt beschreven. De gemeten neerslag bedraagt resp. 24 en 12 mm.

3 november. Op 3 november lijkt het patroon in de ammonium concentratie op zich goed beschreven te worden, maar is het belangrijkste probleem dat de ammonium concentratie na de eerste piek in het model veel te langzaam daalt.

Gemeten neerslag: 20 mm



Figuur 17. Modelresultaten 7 en 8 november



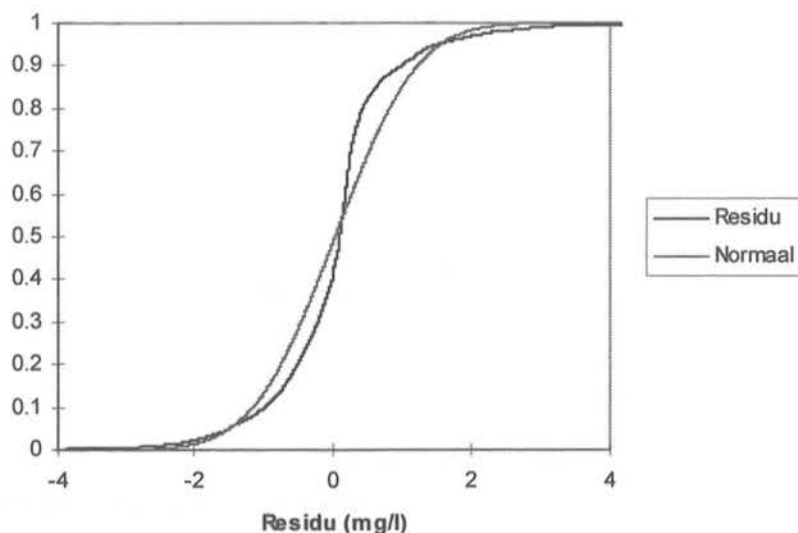
Figuur 18. Modelresultaten 1 en 2 december

7 en 8 november. De modelwaarden en de gemeten waarden komen voor deze dagen, met een neerslag van 4 en 9 mm weer goed overeen. Op 8 november dalen de modelwaarden voor de ammonium concentratie wederom wat te langzaam maar het algemene patroon klopt goed.

1 en 2 december. Op de laatste paar uur van 2 december na, beschrijft het model de metingen goed. De gemeten neerslag bedraagt resp. 12 en 3 mm

In figuur 19 is de verdeling van de residuen (model waarden minus gemeten waarden), voor alle dagen uit de meetreeks weergegeven. De dagen 23 tot 25 september, 14 oktober, 13 tot 16 november en 19 november zijn hierbij wegens onbetrouwbare of niet weggeschreven metingen buiten beschouwing gelaten.

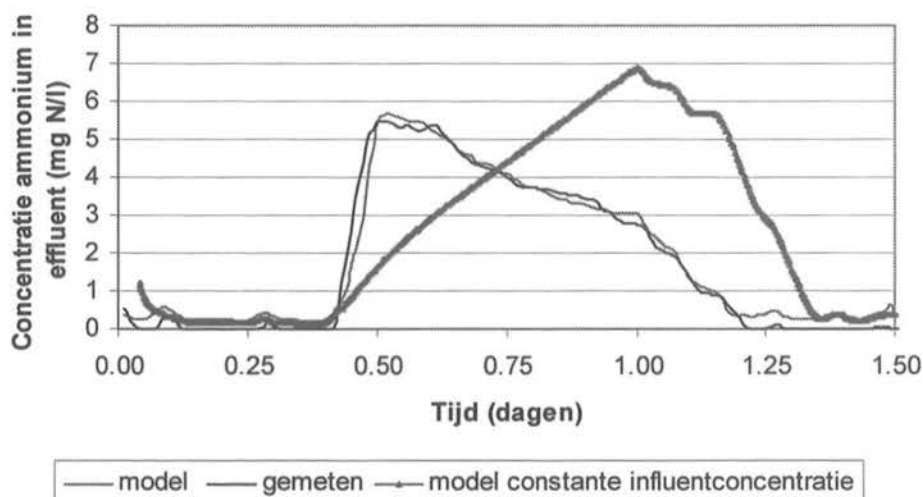
De verdeling van de residuen is uitgezet naast een normale verdeling met dezelfde standaardafwijking. De figuur laat zien dat in vergelijking met de normale verdeling veel kleine residuen (< 0.5 mg N/l) aanwezig zijn, hetgeen duidt op een systematische fout. In dit geval is deze fout voor een groot deel eenvoudig te verklaren uit de modelopzet, waarmee lage concentraties niet goed kunnen worden gereproduceerd.



Figuur 19. Verdeling van het residu voor alle dagen uit de meetreeks uitgezet tegen de normale verdeling

De modelresultaten laten zien dat het ASM1 model goed in staat is om de fluctuaties die tijdens een bui optreden op de AWZI te beschrijven, zoals op basis van de literatuur (Seggelke en Rosenwinkel, 2001) ook verwacht mocht worden.

Dit houdt in dat de simulaties een redelijk beeld opleveren van het gemeten gedrag van de AWZI tijdens een bui. Op basis hiervan is het mogelijk om na te gaan of de eerdere conclusie dat het noodzakelijk is om naast het verloop van het debiet ook het verloop van de influentconcentratie te kennen gerechtvaardigd is. Figuur 20 geeft een overzicht van de gemeten en gesimuleerde concentratie ammonium in de afloop van de beluchtingstank tijdens de bui van 5 oktober. De figuur laat zien dat de lijn met de titel 'model' het gemeten verloop goed volgt, zoals ook in figuur 13 is weergegeven. De andere, dikke, lijn is het modelresultaat bij constante influentconcentratie tijdens de bui. Het enorme verschil in modelresultaat (terwijl bij deze bui het influent niet eens zo heel sterk was verdund) onderstreept nogmaals de noodzaak om bij de analyse van het effect van influentfluctuaties ook het verloop van de influentconcentratie te kennen.



Figuur 20. Modellerings concentratie ammonium in afloop beluchtingstank met variabele (gemeten) en constante (gem. DWA) influentconcentratie

Conclusies

De metingen op AWZI Katwoude en het afstudeerwerk van Jeroen Stok (2003) hebben een grote hoeveelheid waardevolle informatie opgeleverd. De, voor het onderzoek 'Interacties binnen het afvalwatersysteem' belangrijkste conclusies zijn:

- het ASM1 model is goed in staat om de tijdens neerslag optredende dynamiek op de AWZI te beschrijven voor wat de nitrificatie betreft
- zowel de metingen als de modellering laten zien dat kennis van zowel het verloop van het debiet als de ammoniumconcentratie in influent noodzakelijk zijn bij de analyse van de doorwerking van influentfluctuaties op de prestaties van de AWZI
- de metingen laten zien dat significante variaties in effluentkwaliteit optreden ten gevolge van influentfluctuaties. Bij afvalwatersysteemoptimalisaties is het daarom raadzaam om dit aspect mee te nemen in de beschouwing.

Dankwoord

De auteur wil Jeroen Stok (TU Delft) bedanken voor zijn inzet voor het onderzoek 'Interacties' en daarnaast zijn dank uitspreken voor de goede samenwerking met de medewerkers van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, in het bijzonder Hielke van der Spoel, tijdens de metingen in Katwoude.

Literatuur

- 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
- Seggelke, K. and Rosenwinkel, K.-H. (2001): Online-simulation of the WWTP to minimise the total emission of WWTP and sewer system. In: 2nd International Conference INTERACTIONS BETWEEN SEWERS, TREATMENT PLANTS AND RECEIVING WATERS IN URBAN AREAS – INTERURBA II, Lisbon, Portugal 19-22 february 2001
- Stok, J. (2003). Invloed influentfluctuaties op de werking van een afvalwaterzuivering. Afstudeerverslag TU Delft, Delft, mei 2003
- STOWA (1999): Influentkarakterisering van ruw en voorbehandeld afvalwater. De invloed van voorbezinking en voorprecipitatie. STOWA rapport 99-13
- STOWA (2000): SIMBA-PROTOCOL. Richtlijnen voor het dynamisch modelleren van actief slibsystemen. STOWA rapport 2000-16

Bijlage I. Overzicht werking van de sensoren en functioneren van het model

In deze bijlage wordt een totaal overzicht weergegeven van de werking van de sensoren, de meetgegevens en de modelresultaten.

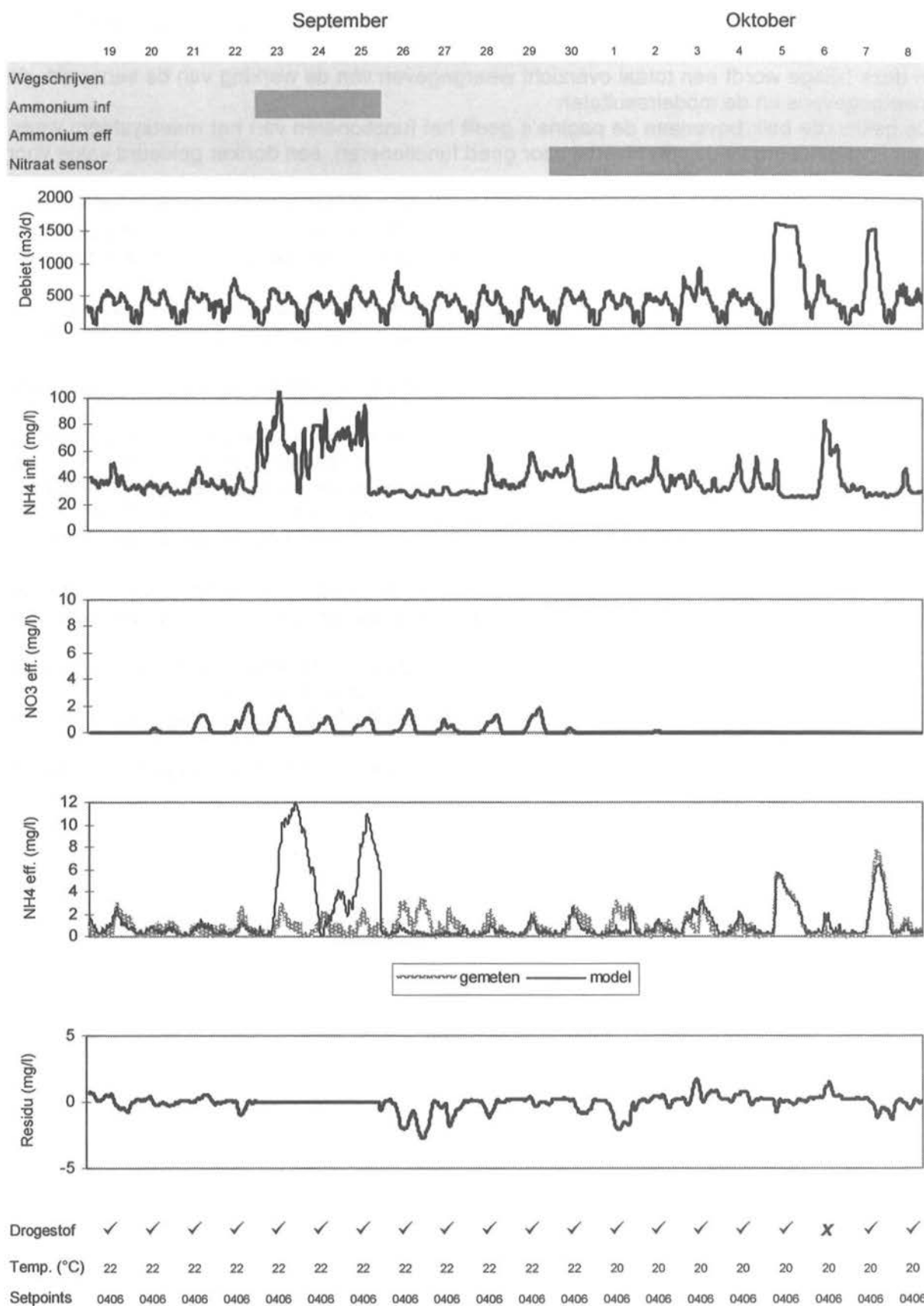
De gekleurde balk bovenaan de pagina's geeft het functioneren van het meetsysteem weer. Een licht gekleurd vakje staat hierbij voor goed functioneren, een donker gekleurd vakje voor niet of verkeerd functioneren.

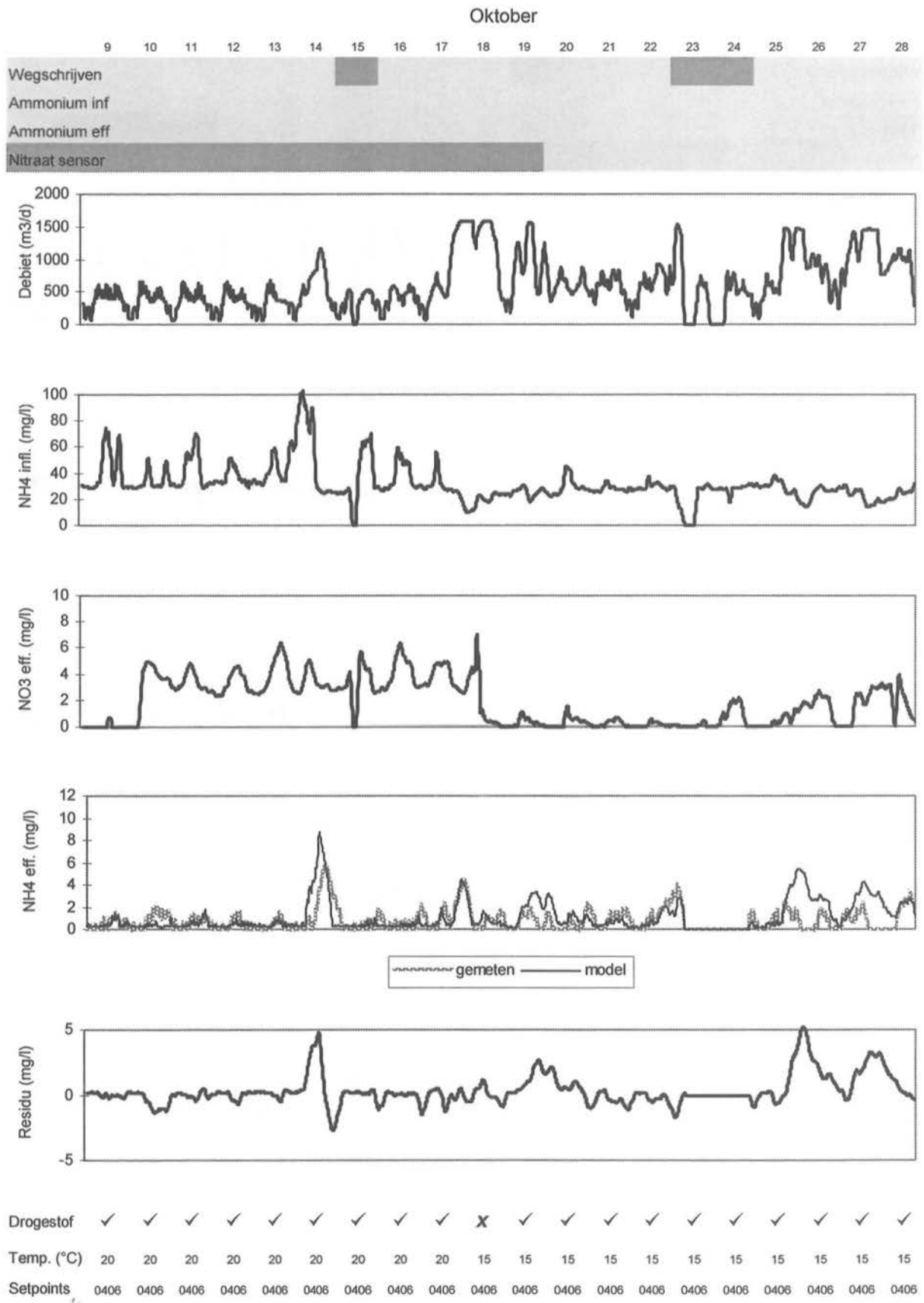
Vervolgens zijn de meetgegevens voor het debiet, de ammoniumconcentratie in het influent, de nitraat- en ammoniumconcentratie in het effluent voor de gehele meetperiode weergegeven. Met effluent wordt hier uiteraard de afloop van de beluchtingstank bedoeld, aangezien hier de sensoren zijn gepositioneerd.

In hetzelfde plaatje waarin de meetgegevens van de ammonium effluent sensor zijn weergegeven, zijn ook de modelresultaten getekend, het verschil tussen beide curven (residu) staat in de laatste plot.

Op het eind van de pagina is aangegeven op welke tijdstippen wijzigingen in condities optraden:

- het drogestofgehalte in de beluchtingstank. Het model volgde over het algemeen het verloop in het drogestofgehalte in de beluchtingstank goed, behalve op drie momenten waarop het drogestofgehalte in het model is bijgesteld. De drie dagen waarop deze aanpassingen zijn verricht staan weergegeven met een **X**, de dagen waarop het model het gemeten drogestofgehalte goed volgde, staan weergegeven met een **V**.
- de temperatuur van het actief slib. Binnen het model is de temperatuur aangepast aan de gemeten temperatuur op de betreffende dagen. De temperatuur staat per dag weergegeven.
- set points beluchting. Na verloop van tijd zijn op de AWZI de setpoints van de beluchters gewijzigd. De gebruikte setpoints zijn als volgt weergegeven:
 - 0406 staat voor een nachtsetpoint van 0.4 mg O₂/l en een dagsetpoint van 0.6 mg O₂/l
 - 0608 staat voor een nachtsetpoint van 0.6 mg O₂/l en een dagsetpoint van 0.8 mg O₂/l









Interacties en riolering: zijn influentfluctuaties voldoende goed te voorspellen?

ir. J.G. Langeveld

Inleiding

De mogelijkheid om de dynamische interacties binnen het afvalwatersysteem mee te nemen binnen bijvoorbeeld afvalwatersysteemoptimalisaties staat of valt met de mogelijkheid om met behulp van rioleringsmodellen de dynamiek binnen de riolering voldoende te beschrijven. Uit de voorgaande bijdrage aan dit symposium (Langeveld, 2003) volgt dat het voor het beschrijven van de effecten van influentfluctuaties op het functioneren van de awzi voldoende is om een goed beeld te hebben van het verloop van het debiet en de concentraties opgeloste stoffen. Rioleringsmodellen dienen daarom in staat te zijn om naast de hydrodynamica ook het transport van opgeloste stoffen goed te beschrijven.

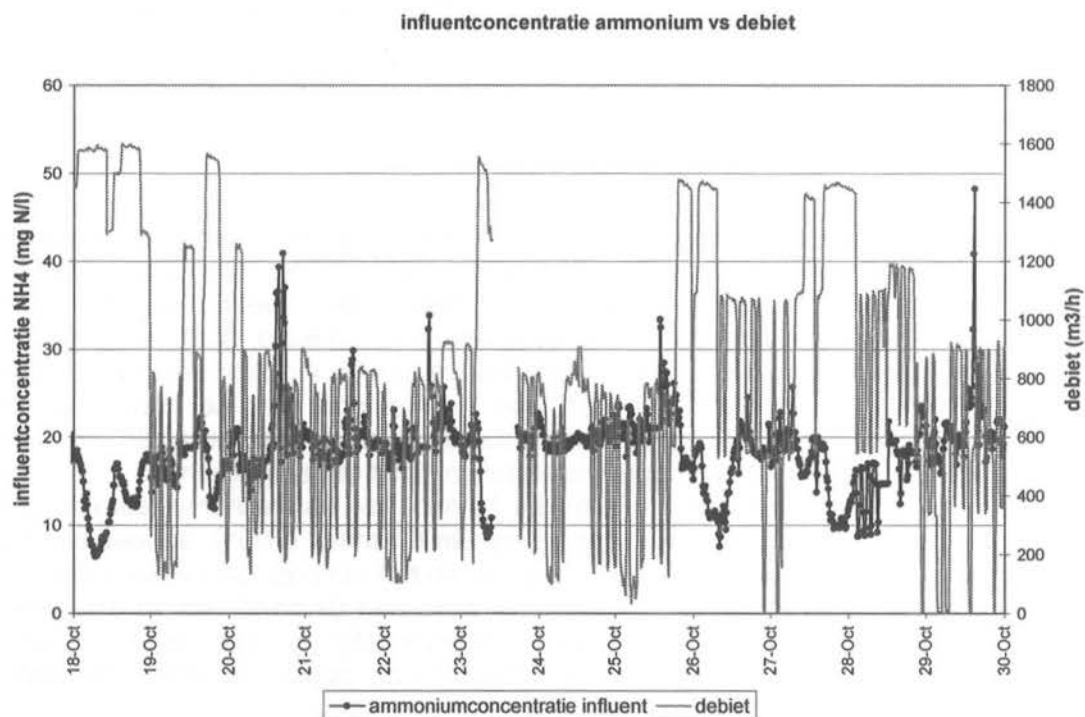
Op het voorgaande middagsymposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem II', dat werd gehouden op donderdag 12 juni, is, in navolging van Clemens (2001), aangetoond dat de huidige generatie rioleringsmodellen goed in staat is om het verloop van de waterstanden en debieten tijdens een bui te beschrijven. Daarnaast werd aan de hand van tracerproeven aangetoond dat de 1-dimensionale advection-dispersievergelijking een redelijk goede benadering geeft voor de beschrijving van het transport van opgeloste stof onder DWA omstandigheden. (Langeveld, 2002).

Inmiddels is het onderzoek weer een stap verder en zijn de beschikbare modelpakketten Hydroworks en SOBEK tegen het licht gehouden wat de modellering van het transport van opgeloste stof betreft. De resultaten van deze vergelijking zijn reeds gepubliceerd (Langeveld en Clemens, 2003) en zullen hier slechts kort worden behandeld. Daarnaast zijn in het rioolstelsel van Ulvenhout metingen uitgevoerd tijdens een bui om zo te kunnen achterhalen in hoeverre het concentratieverloop aan ammonium tijdens een bui kan worden beschreven. De analyse van de metingen en de vergelijking van de metingen met modelresultaten is op dit moment in volle gang en deze bijdrage aan het middagsymposium zal uitgebreid ingaan op de voorlopige resultaten.

Optredende influentvariëaties tijdens neerslag

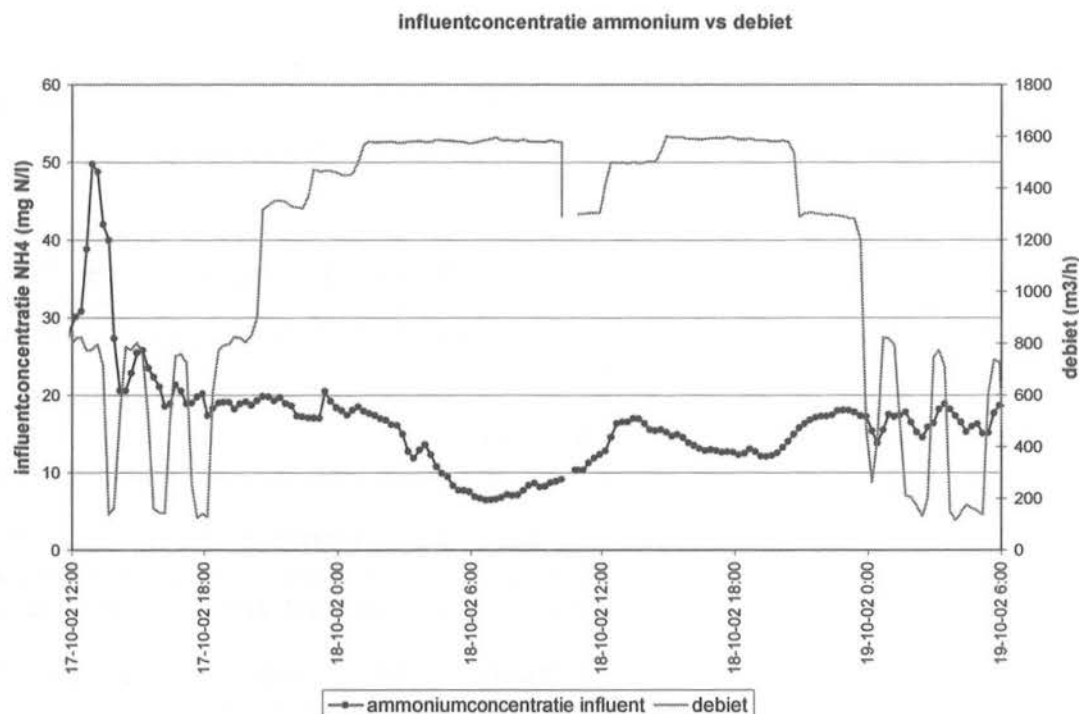
Om het belang van de analyse van de rioleringsmodellen te onderstrepen wordt hier een illustratie gegeven van gemeten variaties in influentconcentraties tijdens neerslag. Op AWZI Katwoude is in het kader van het afstudeerproject van Jeroen Stok (2003) gedurende ruim 3 maanden elk kwartier het ammoniumgehalte in het influent gemeten. Deze metingen geven een duidelijk beeld van de variaties in de influentconcentratie ammonium zoals die tijdens een bui optreden. Figuur 1 geeft een overzicht van het verloop van het debiet tegen de influentconcentratie ammonium gedurende de tweede helft van oktober 2002.

Het verloop van het debiet vertoont een kenmerkend patroon, waarin heel duidelijk het in- en uitslaan van resp. de DWA en RWA pompen te herkennen is. De ammoniumconcentratie begint altijd na een bepaalde tijd te dalen (aan het begin van de bui wordt nog afvalwater aangevoerd uit de persleiding, de verdunning met neerslag is in die periode nog niet zichtbaar bij de AWZI). Op een gegeven moment houdt het op met regenen en stopt de toevoer van regenwater. Vanaf dat moment wordt het rioolstel, dat nog vol staat met de mix van afvalwater en regenwater, leeggepompt en begint de concentratie in het influent weer langzaam terug te lopen naar het normale DWA niveau.



Figuur 1. Verloop debiet en ammoniumconcentratie in influent

Figuur 2 geeft het verloop van de bui op 18 en 19 oktober in iets meer detail. Duidelijk herkenbaar is het teruglopen van de concentratie tussen 0:00 en 6:00 uur op 18 oktober, waarna langzaam de concentratie weer begint op te lopen. Rond 12:00 is het weer gaan regenen en treedt wederom verdunning op, totdat ongeveer om 20:00 de concentratie weer begint op te lopen. Opvallend is dat, hoewel het patroon gelijk is, het verloop van de concentratie telkens anders is, afhankelijk van de bui en het moment van de dag (het aanbod aan afvalwater).



Figuur 2. Verloop debiet en ammoniumconcentratie in influent tijdens bui

De vraag is nu of rioleringsmodellen in staat zijn om een dergelijk verloop van de concentratie goed te beschrijven.

Modellering transport opgeloste stof: een kort literatuuroverzicht

De modellering van het transport van opgeloste stof vormt de basis voor waterkwaliteitsmodellering in rioolstelsels. Desondanks wordt hier in de vakliteratuur binnen de (internationale) rioleringswereld maar heel beperkt aandacht aan geschonken, waarschijnlijk omdat algemeen gedacht wordt dat processen die eenmaal zijn opgenomen in modelpakketten goed bekend zijn. Voor het beschrijven van de concentratie opgeloste stof bestaan 2 verschillende benaderingen (Rauch et al., 2002):

- conceptuele (reservoir) modellen
- mechanistische modellen gebaseerd op advectie-dispersie vergelijkingen.

Binnen het onderzoek 'Interacties' zijn we in eerste instantie vooral geïnteresseerd in de tweede benadering, omdat deze inzicht geeft in wat werkelijk gebeurt in een rioolstelsel. De belangrijkste rioleringspakketten op de Nederlandse markt (Hydroworks, SOBEK en Mouse) beschikken over een waterkwaliteitsmodule waarin de tweede benadering, de toepassing van advectie-dispersie vergelijkingen, is geïmplementeerd. Voor de eenvoud wordt in alle pakketten gebruik gemaakt van de bekende 1 –dimensionale beschrijving van advectie-dispersie, zie vergelijking 1. (Bouteligier et al., 2002).

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} - K \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

waarbij

- c = concentratie (kg/m³)
- u = stroomsnelheid (m/s)
- t = tijd (s)
- x = ruimtecoördinaat (m)
- K = dispersiecoëfficiënt (m²/s)

Het advectioneel transport wordt beschreven door de eerste twee termen uit vergelijking (1) en kan worden bepaald zodra de stroomsnelheid van het rioolwater bekend is uit metingen of een goed gekalibreerd hydrodynamisch model. Het dispersief transport wordt beschreven door de derde term uit vergelijking (1). De dispersiecoëfficiënt K geldt hierbij als de te kalibreren parameter.

De wijze waarop vergelijking 1 in de rioleringspakketten wordt toegepast is echter niet eenduidig. SOBEK en MOUSE bijvoorbeeld passen de volledige vergelijking toe, terwijl Hydroworks alleen het advectioneel transport meeneemt, hetgeen echter niet van doorslaggevend belang is voor de berekeningsresultaten. De kwaliteit van de simulatieresultaten wordt met name beïnvloed door:

- gekozen rekenschema. De stabiliteit van de berekening wordt hierbij door de modelontwikkelaars doorgaans als belangrijker beschouwd dan het voorkomen van numerieke diffusie, terwijl rekenschema's beschikbaar zijn die op beide aspecten goed scoren (zie o.a. Vreugdenhil en Koren, 1993).
- schematisering. In alle pakketten wordt bijvoorbeeld aangenomen dat het rioolwater in de rioolputten volledig gemengd is, terwijl het in de praktijk kan voorkomen dat bovenin de put een laag water aanwezig is die zich onttrekt aan deze opmenging (Guymer et al., 1998).
- programmeerfouten. Fouten in de software komen regelmatig voor doordat onvoldoende capaciteit is bij de ontwikkelaars om uitvoerig te testen.

Gezien de verscheidenheid aan mogelijke bronnen van berekeningsfouten bij het gebruik van de genoemde rioleringspakketten is het verbazingwekkend dat in de literatuur zo weinig aandacht is besteed aan het toetsen van de kwaliteit van de modelresultaten. Welkome uitzonderingen hierop zijn:

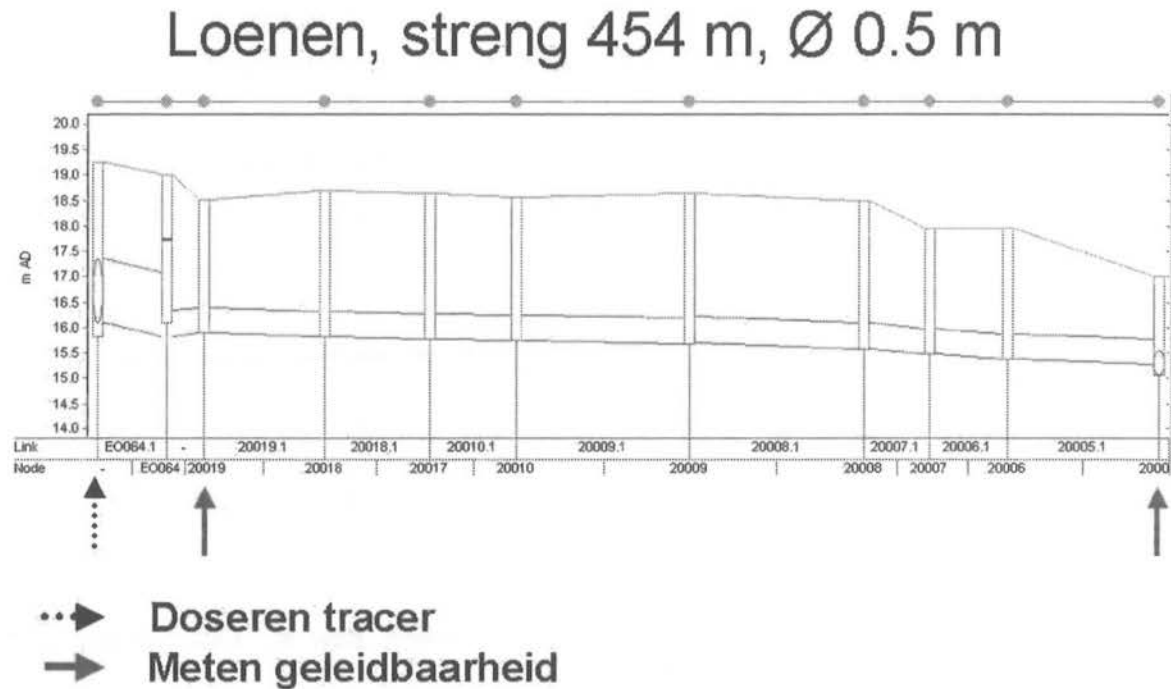
Huisman et al. (2000) rapporteren dat de numerieke dispersie in Mouse duidelijk groter is dan de werkelijke dispersie, waardoor Mouse niet te gebruiken is voor bijvoorbeeld het analyseren van tracer experimenten.

Bouteligier et al., (2001) hebben voor een tweetal cases uitgetest in hoeverre het mogelijk is om met Infoworks de gemeten debieten en ammoniumconcentraties te reproduceren. Het verloop van de ammoniumconcentraties kan goed worden beschreven zolang ook de debieten goed worden beschreven. De juiste beschrijving van de hydrodynamica bleek (zoals bekend) een keiharde randvoorwaarde voor het modelleren van de ammoniumconcentratie.

Op basis van de literatuur en de ervaringen bij het toetsen van de kwaliteit van hydrodynamische berekeningen is besloten om de modellering van het transport van opgeloste stof in de riolering aan een confrontatie met metingen te onderwerpen. Hiertoe zijn zowel tijdens DWA als tijdens RWA metingen uitgevoerd in het rioelstelsel van Loenen en Ulvenhout.

Vergelijking beschrijving transport opgeloste stof onder DWA omstandigheden met SOBEK en Hydroworks

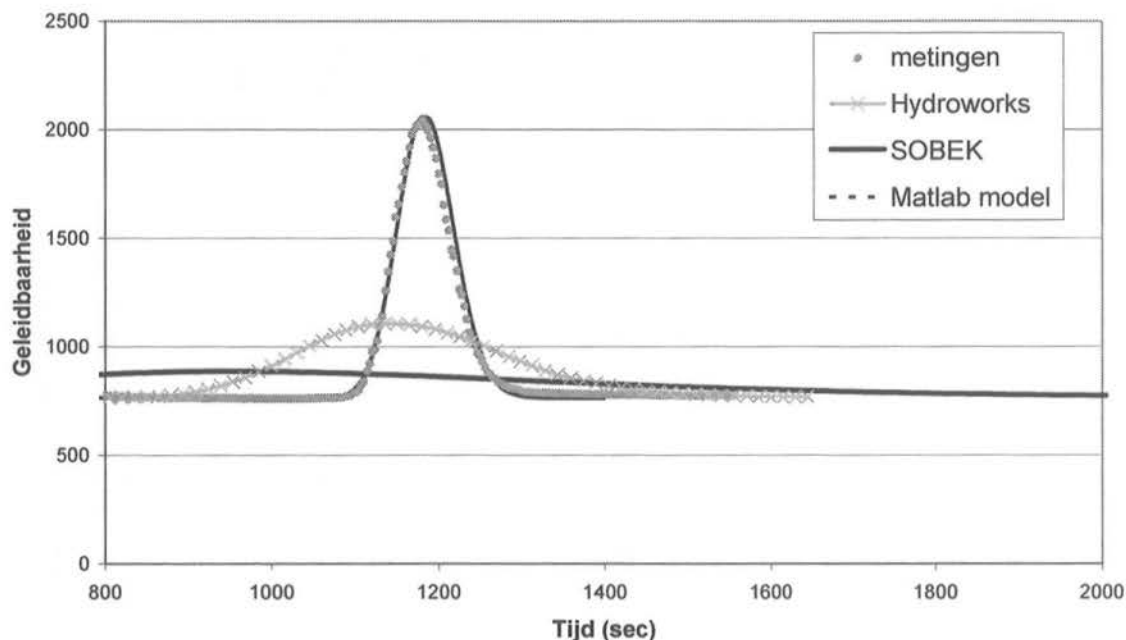
Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van het in het rioelstelsel van Loenen uitgevoerde tracerexperiment. De leiding heeft over de gehele lengte van 454 meter een diameter van 500 mm, bij een gemiddeld bodemverhang van 1.4 ‰. In de leiding bevinden zich 8 tussenputten op onderlinge afstanden variërend van 17 tot 80 meter. In de doseerput is zout water met een concentratie van 200 g/l gedoseerd, waarna in de beide meetputten het verloop van de geleidbaarheid in de tijd is gemeten. De bovenstroomse metingen zijn vervolgens als modelinvoer gebruikt.



Figuur 3. Overzicht tracerexperiment

Figuur 4 geeft een overzicht van de resultaten zoals deze met Hydroworks en met de meest eenvoudige variant binnen SOBEK, de combinatie van de sewer flow en water quality module, berekend zijn. Om een juiste vergelijking mogelijk te maken en Hydroworks alleen advectioneel transport modelleert is in SOBEK de dispersie uitgeschakeld door een dispersiecoëfficiënt van 0 aan te nemen.

Tracerexperiment: modelresultaten Hydroworks, SOBEK en Matlab

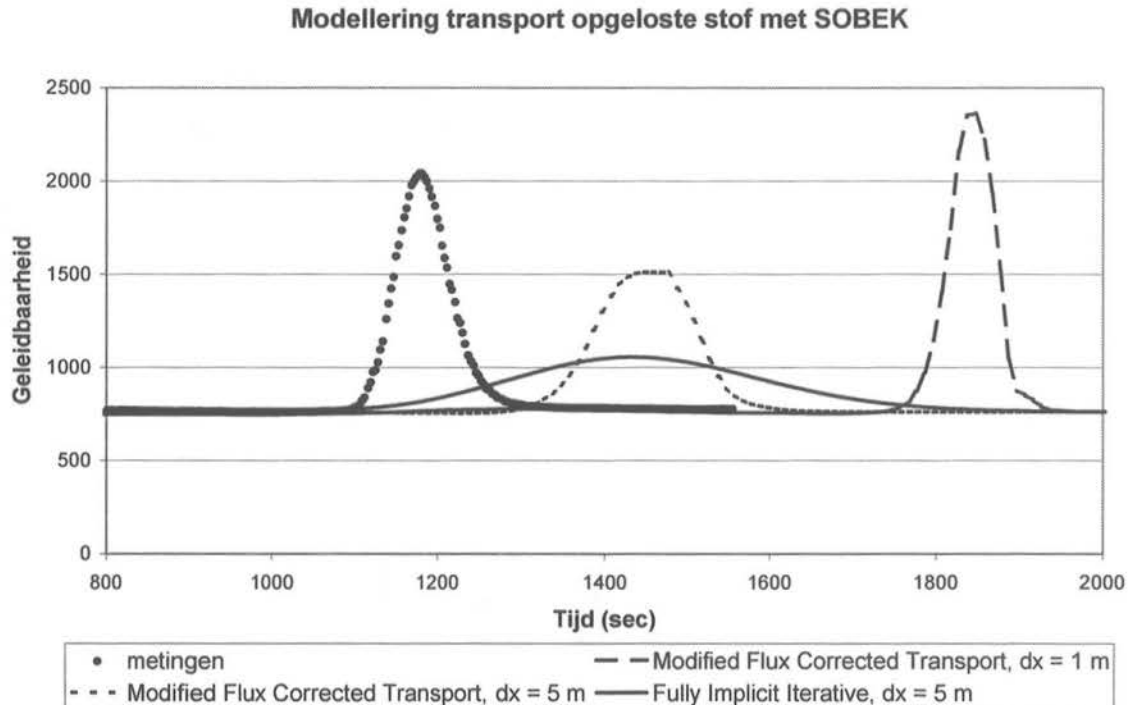


Figuur 4. Vergelijking Hydroworks en SOBEK, modules sewer flow en water quality met metingen en Matlab model (Langeveld en Clemens, 2003)

Beide modellen blijken het gemeten verloop niet goed te kunnen reproduceren. Hydroworks beschrijft het moment waarop de piek langskomt redelijk, maar onderschat het maximum. Dit wordt deels veroorzaakt doordat de minimale tijdstap in zowel de invoer als de uitvoer in Hydroworks 15 seconden bedraagt en deels door numerieke diffusie. Het moment waarop de piek langskomt wordt bepaald door de stroomsnelheid in het model. Aangezien deze stroomsnelheid afhankelijk is van het invoerdebiet en dit in m^3/s met maximaal 3 decimalen moet worden ingegeven, bleek het in dit geval niet mogelijk om het moment van de piek exact goed te krijgen.

In het modelresultaat van SOBEK is met moeite nog een piek te herkennen. Terwijl SOBEK de eerder genoemde beperkingen van Hydroworks niet kent, het aantal decimalen bij de invoer van het debiet is ruim voldoende en de instelbare minimale tijdstap bedraagt 1 seconde, vormt in dit geval het feit dat de ruimtestap gelijk is aan de lengte van de buis de bottleneck. Het gevolg is een zeer grote numerieke dispersie.

Figuur 5 geeft de resultaten van simulaties met behulp van de tweede beschikbare variant binnen SOBEK, de combinatie van de modules sewer flow, channel flow en water quality. Hierbij is een tweetal rekenschema's, 'Fully implicit iterative method' en 'Modified flux corrected transport' doorgerekend met verschillende ruimtestappen.



Figuur 5. Tracerexperiment, resultaten SOBEK (modules sewer flow, channel flow en water quality)

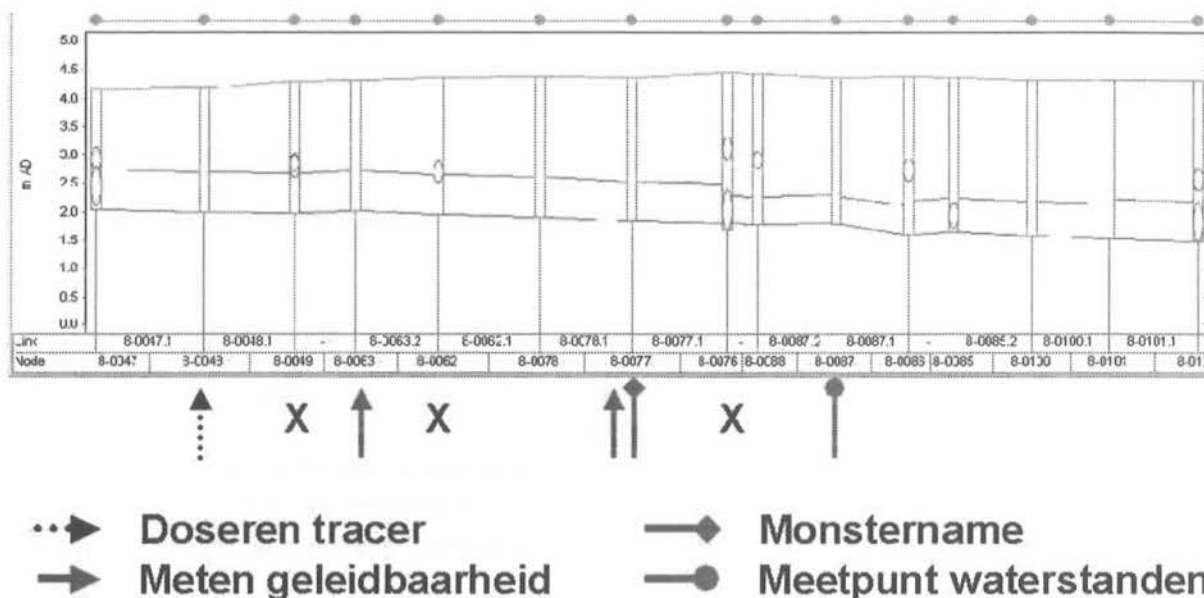
In vergelijking met de vorige variant valt op dat de berekende piekwaardes veel beter overeenkomen met de gemeten waardes, maar dat het moment van de piek afhankelijk blijkt te zijn van de gekozen ruimtestap! Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat aan de rekenpunten in het model een oppervlak wordt toegekend, waardoor in feite de totale leiding een stukje langer wordt. Met een dx van 1 meter levert dit op deze streng van 454 meter een extra vertraging op van ongeveer 7 minuten. Omgerekend naar een compleet rioolstelsel, waarin transportafstanden bijvoorbeeld 2 km bedragen, levert dit al snel een fout op van bijna een half uur, hetgeen voor bijvoorbeeld RTC toepassingen tot significante fouten kan leiden. Overigens werkt het WL aan een verbeterde SOBEK versie waarin deze fout niet meer optreedt.

Metingen tijdens RWA: experiment Ulvenhout

In het rioolstelsel van Ulvenhout is sinds het najaar van 2002 een hydraulisch meetnet ingericht, gericht op het kalibreren van een hydrodynamisch model. Aansluitend op dit meetproject heeft de gemeente Breda toestemming gegeven om in Ulvenhout aanvullende metingen uit te voeren. In Ulvenhout zijn parallel 2 experimenten uitgevoerd in de streng uit figuur 6:

- tracerexperiment, analoog aan het experiment in Loenen, maar dan tijdens RWA
- monsternamen en meten ammoniumconcentratie rioolwater van 31 maart tot 8 april 2003

Ulvenhout, streng 142 m, Ø 0.7 m

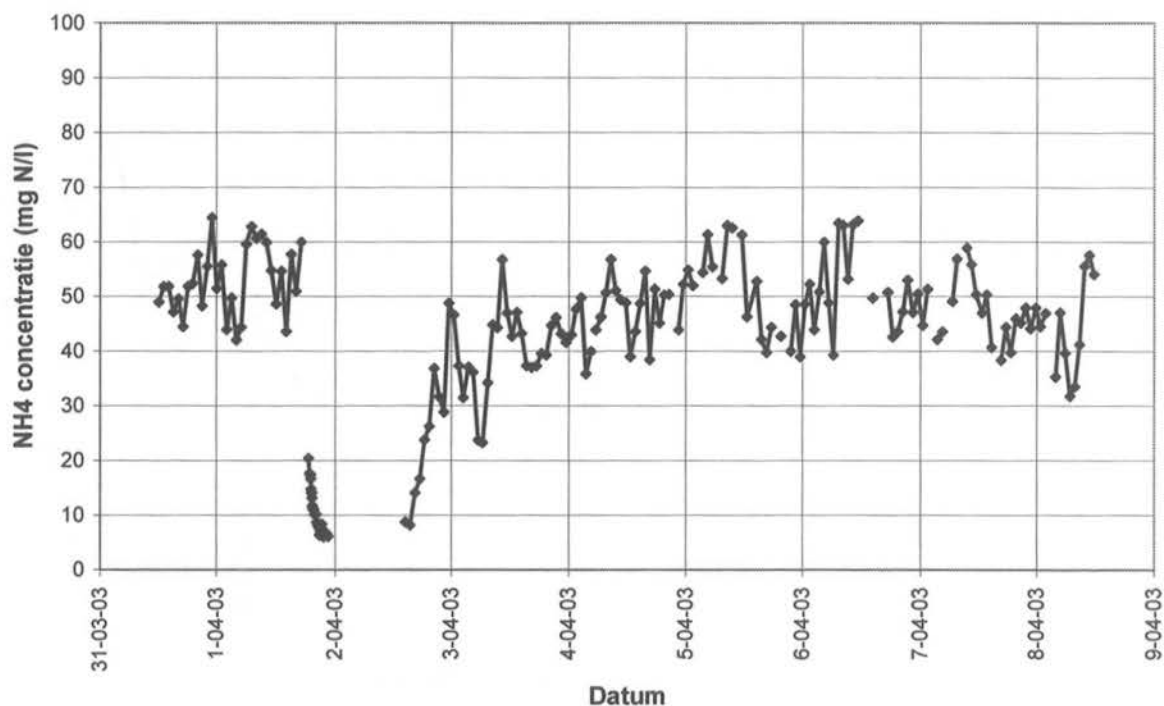


Figuur 6. Experimenten Ulvenhout (X houdt in: put op kruising wegen, meten niet mogelijk)

Het tracerexperiment in Ulvenhout tijdens de bui is in feite mislukt. De zoutoplossing (200 g/l NaCl) bleek naar de bodem te zakken en daar door een gebrek aan menging ook te blijven. Tijdens de metingen bleek een laag van ongeveer 20 cm dik zich langzaam door het riool te verplaatsen en zich nauwelijks met de bovenliggende lagen te vermengen. Het gebruik van een geconcentreerde NaCl-oplossing als tracer lijkt hierdoor alleen voorbehouden aan lokaties met voldoende menging, zoals in het experiment in Loenen of zoals aangegeven door Rieckermann and Gujer. (2002). Dit is jammer, omdat het uitvoeren van tracerexperimenten met een keukenzoutoplossing zowel milieuvriendelijk als erg goedkoop en eenvoudig (meten geleidbaarheid) is. De inzet van een andere tracer en het waarborgen van een goede menging op de doseerlokatie zijn belangrijke aandachtspunten bij mogelijke volgende experimenten.

De monsternamen en het meten van de ammoniumconcentratie hebben daarentegen wel bruikbare en waardevolle informatie opgeleverd. Figuur 7 geeft een overzicht van het verloop van de ammoniumconcentratie gedurende de meetperiode.

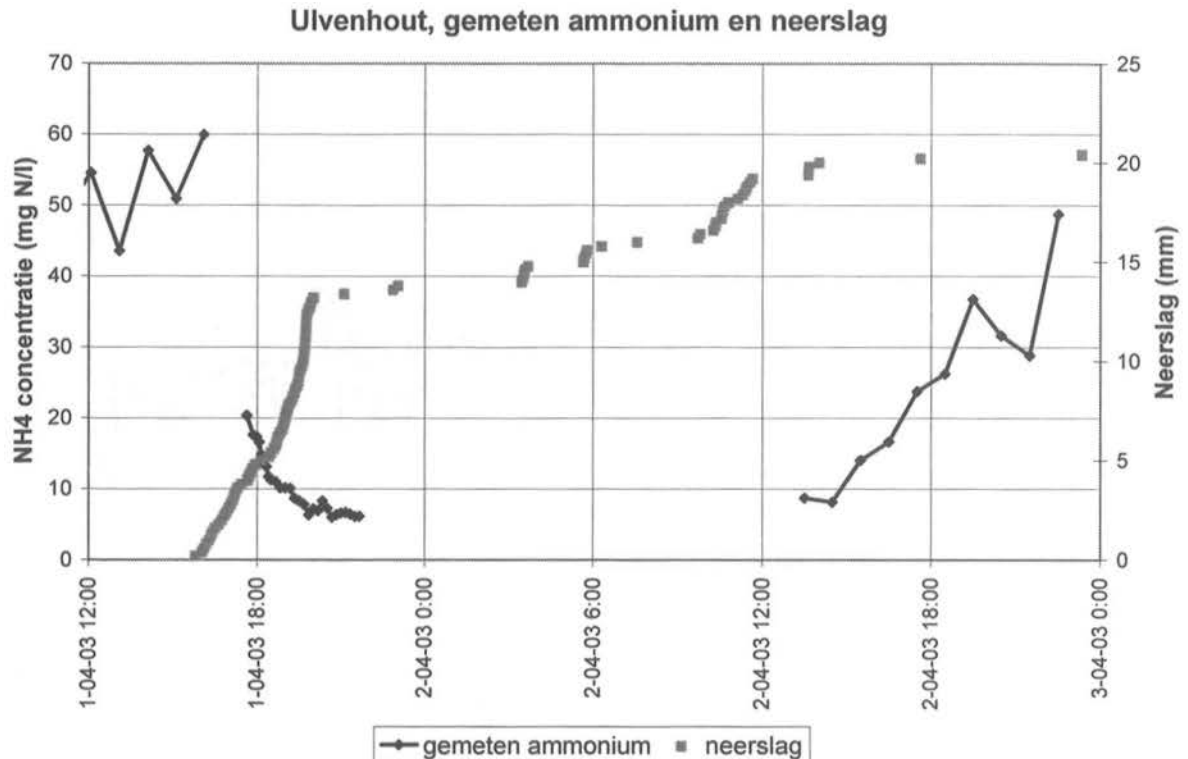
Verloop ammoniumconcentratie



Figuur 7. Gemeten ammonium concentratie rioolwater

De ammoniumconcentratie beweegt zich tijdens DWA rond een niveau van 50 mg N/l, terwijl tijdens de bui van 1 april (totale neerslag 1 april = 13.2 mm) de concentratie is gedaald tot een niveau van ongeveer 6 mg N/l. Deze lage concentratie komt goed overeen met de lage concentraties die bij de AWZI Katwoude zijn gevonden tijdens RWA.

Figuur 8 geeft meer in detail het verloop van de ammoniumconcentratie tijdens de bui.

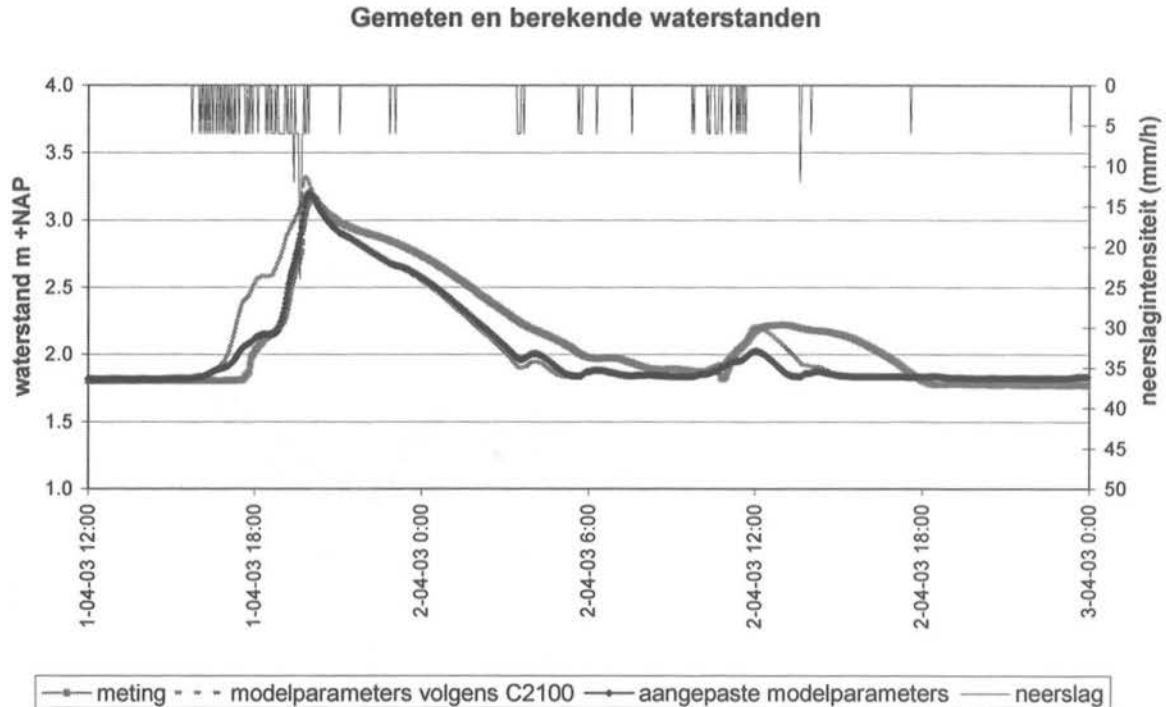


Figuur 8. Bui 1 april. Gemeten neerslag en gemeten ammoniumconcentratie rioolwater

In figuur 8 is te zien dat een deel van de metingen ontbreekt. Dit is te wijten aan een verstopte monsternameslang. Desondanks leveren de metingen een interessant beeld omdat zowel de initiële verdunning als de terugkeer naar DWA omstandigheden goed waarneembaar zijn.

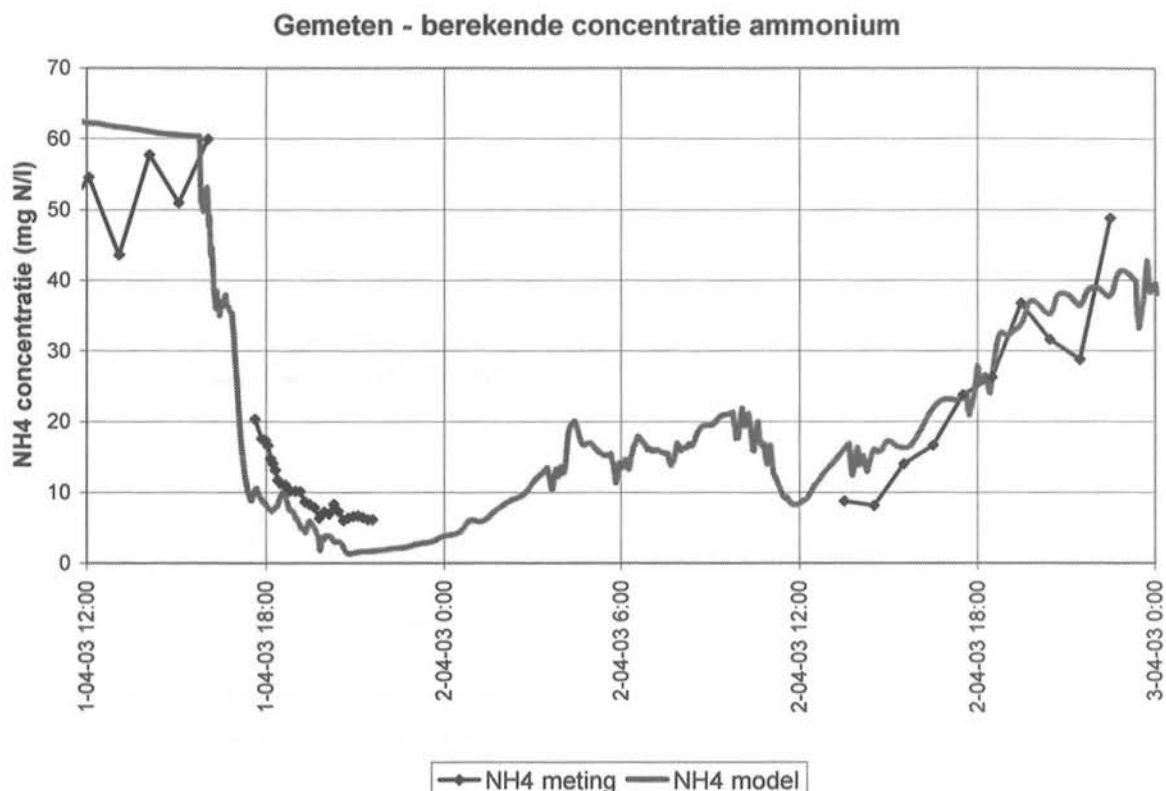
Tijdens de bui viel het met name op dat het heel lang duurde voordat enige afstroming van betekenis van het verharde oppervlak optrad. Het duurde ruim 2 uur (waarin zoals achteraf bleek ruim 5 mm neerslag was gevallen) voordat neerslag de straatkolken bereikte. De afvoer in het riool zelf kwam eerder op gang, doordat het regenwater van schuine daken eerder begon af te stromen.

Het experiment is uiteindelijk opgezet om te kunnen bepalen of rioleringsmodellen in staat zijn om het verloop van de concentratie tijdens een bui goed te voorspellen. Hiertoe is het noodzakelijk om eerst de hydrodynamica op orde te hebben. Op dit moment is het hydrodynamisch model (in Hydroworks) nog niet helemaal op orde, hoewel het met een eenvoudige handmatige aanpassing van een tweetal modelparameters (berging op straat en de afstromingsvertraging) wel mogelijk bleek het gemeten verloop van de waterstanden redelijk te volgen, zie figuur 9.



Figuur 9. Bui 1 april. Berekende en gemeten waterstanden in meetpunt waterstanden uit figuur 6

Figuur 9 laat duidelijk zien dat in de beginfase van de bui (tijdens het vullen van het riool) het model de metingen redelijk goed volgt, dit in tegenstelling tot tijdens het leegpompen het model de metingen nog niet goed volgt. Een verdere systematische kalibratie zal de kwaliteit van de berekeningsresultaten naar verwachting nog een heel stuk verder verbeteren. Desalniettemin wordt hier reeds een doorkijk geboden op het resultaat van de berekening van de concentratie ammonium in het rioolwater. Het resultaat van deze berekening, zie figuur 10, is zeer bemoedigend, omdat het algehele beeld vrij aardig klopt. Dit komt goed overeen met de bevindingen van Bouteligier et al., (2001), zoals geïllustreerd in de bijlage. Zolang de hydrodynamica op orde is blijkt in hun onderzoek de ammoniumconcentratie ook goed berekend te kunnen worden.



Figuur 10. Bui 1 april. Berekende en gemeten concentraties ammonium

Conclusies

De vergelijking van modelresultaten met de metingen uit Ulvenhout en Loenen heeft een redelijk beeld gegeven van de huidige mogelijkheden om het verloop van de concentratie ammonium in het rioolwater (en daarmee in het influent) te beschrijven. De belangrijkste conclusies zijn:

- de huidige modellen zijn in principe in staat om het transport van opgeloste stof in het riool goed te beschrijven. Het versturende effect van de optredende numerieke dispersie blijft binnen de perken zolang de concentratiegradiënten niet te groot worden. Het onderzoek leert dat deze bij tracerexperimenten te groot zijn, maar onder normale omstandigheden voldoende klein blijven.
- uit de uitgevoerde tests met Hydroworks blijkt dat het verloop van de concentratie ammonium redelijk kan worden beschreven zodra het hydrodynamisch model goed is gekalibreerd en het DWA verloop van de ammoniumconcentraties bekend is.
- Hydroworks, en wellicht binnenkort ook SOBEK, lijkt te kunnen worden gebruikt voor het inschatten van het effect van maatregelen aan de riolering (zoals aanleg extra berging) op de influentsamenstelling, waarna met behulp van een ASM model kan worden geanalyseerd of dit leidt tot een significante verandering van de effluentsamenstelling. Aanvullende metingen in een andere case moeten hierover uitsluitsel geven.
- met het oog op de reductie van de vuiluitwerp bij overstorten is verder onderzoek nodig naar de mogelijkheden om ook het verloop van andere stoffen dan ammonium (CZV, P) in het rioolwater te modelleren.

Dankwoord

De auteur wil Paul van Berkum (gemeente Apeldoorn), Marie-Claire ten Veldhuis en Edomon Hak (beiden gemeente Breda) bedanken voor hun toestemming voor aan de experimenten in resp. Loenen en Ulvenhout. Daarnaast wil hij Lennard Stigter (Witteveen+Bos), Rob Veldkamp, Tonny Schuit, Cees Boeter, Martijn Klootwijk en Roel de Waard (allen TU Delft) bedanken voor de hulp bij het experiment in Ulvenhout.

Literatuur

- Bouteligier R., Vaes G., Berlamont J., Assel J. van, and Gordon D. (2001). Water Quality Model set-up and Calibrating - a case study. *WaPUG Autumn Conference*, 14-16th November 2001, Blackpool, UK, 10 p.
- Clemens F.H.L.R. (2001) *Hydrodynamic models in urban drainage: application and calibration*. PhD-thesis Delft University of Technology, Delft
- Guymer, I., O'Brien, R., Mark, O. and Dennis, P., (1998). An investigation of fine sediment mixing within free-flowing and surcharged manholes. *Wat.Sci.Tech.* vol 37, No 1, pp 215-222
- Huisman J.L., Burckhardt S., Larsen T.A., Krebs P., and Gujer W. (2000). Propagation of waves and dissolved compounds in a sewer. *ASCE J.Env. Eng.*, **126**(1), 12-20.
- Langeveld, J.G. en Clemens, F.H.L.R. (2002) Meten in de riolering: het transport van opgeloste stoffen in gedeeltelijk gevulde leidingen. *Rioleringswetenschap en techniek*, jaargang 2, nr 6, juni 2002. pp. 27-39
- Langeveld, J.G. en Clemens, F.H.L.R. (2003). Het transport van opgeloste stoffen in de riolering: een vergelijking van beschikbare modellen. *H2O*, 2-2003, pp. 23-25
- Langeveld, J.G., (2002). Processen in de riolering en hun relatie met de interacties binnen het afvalwatersysteem. In: Langeveld, J.G. (ed.) *Proceedings symposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem'*, 13 juni 2002. Delft, TU Delft, 2002
- Rauch, W., Bertrand-Krajewski, J.-L., Krebs, P., Mark, O., Schilling, W., Schütze, M. and Vanrolleghem, P.A. (2002). Deterministic modelling of integrated urban drainage systems. *Wat.Sci.Tech.* vol 45, No 3, pp 81-94
- Rieckermann, J. and Gujer, W., (2002). Quantifying exfiltration from leaky sewers with artificial tracers. In: Campisano, A.P. (ed.) *Proceedings 16th European Junior Scientist Workshop Real Time Control and measurement in urban drainage systems*. Valle dei Marge, Grammichele, Catania, Italy. 7-10 November 2002
- Stok, J. (2003). Invloed influentfluctuaties op de werking van een afvalwaterzuivering. *Afstudeerverslag TU Delft*, Delft, mei 2003
- Vreugdenhil, C.B. and Koren, B. (1993) *Numerical methods for advection diffusion problems*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1993

Bijlage I Resultaten modellering ammoniumconcentratie (uit: Bouteligier et al., 2001)

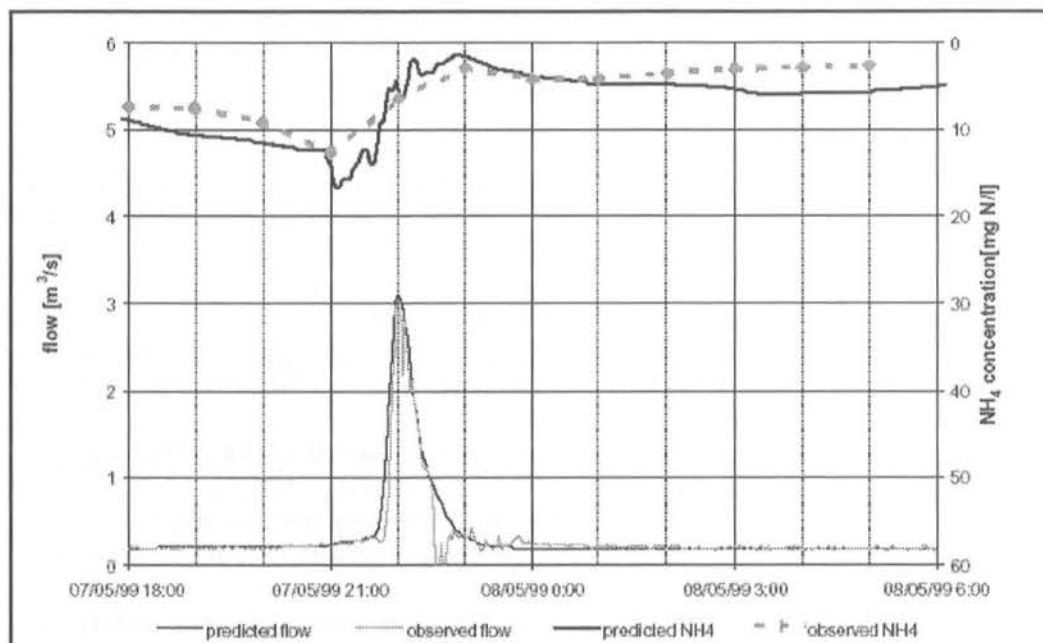


Figure 6 Wezembeek Oppem – Storm of 07/05/99 – Predicted and observed flow and NH_4 concentration

Figuur I.1. Het verloop van het debiet en van de ammoniumconcentratie worden goed gevolgd

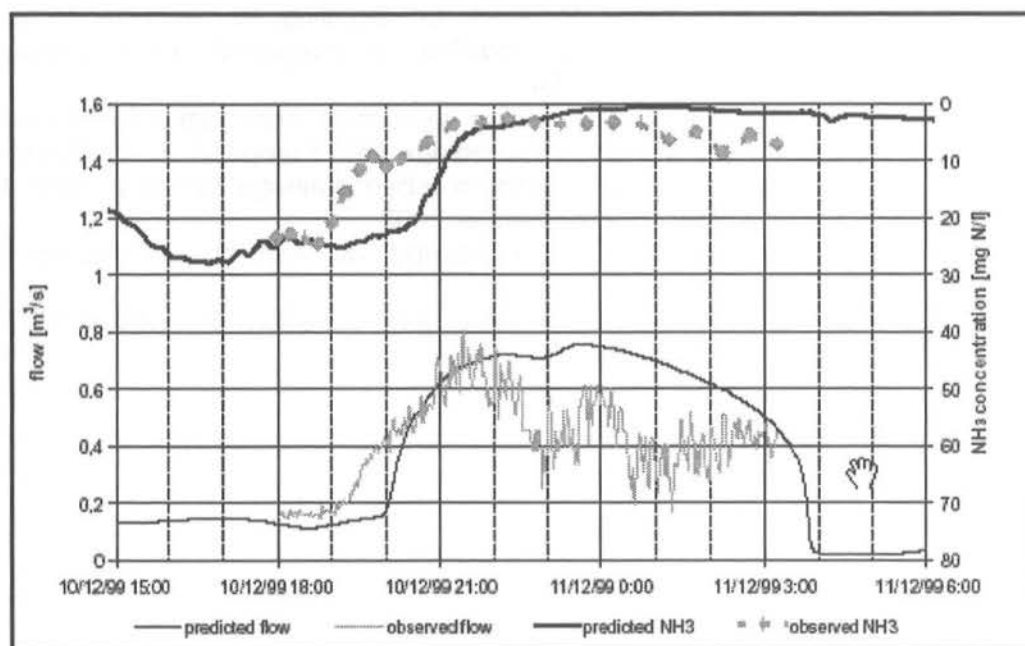


Figure 10 Burslem Tunstall – Storm of 10/12/99 – Predicted and observed flow and NH_3 concentration

Figuur I.2. De beschrijving van de hydrodynamica is niet op orde, waardoor ook het berekende verloop van de ammoniumconcentratie de metingen niet volgt.

Interacties in het afvalwatersysteem: waar staan we nu?

ir. J.G. Langeveld

Inleiding

Het onderzoek 'Interacties binnen het afvalwatersysteem' is opgestart in 1999. De aanleiding voor het onderzoek is de overtuiging dat binnen de toenmalige studies naar afvalwatersysteemoptimalisatie niet het onderste uit de kan werd gehaald, doordat deze studies zich, conform de geldende regelgeving, beperkten tot een strikt kwantitatieve benadering voor de riolering en een statische aanpak voor de afvalwaterzuivering. In de voorgaande 2 bijdragen aan dit symposium is reeds aangegeven dat het functioneren van het afvalwatersysteem juist zeer dynamisch is, waarbij zowel kwantitatieve als kwalitatieve aspecten een rol van betekenis kunnen spelen. In deze bijdrage aan het symposium wordt kort ingegaan op de achtergronden van het onderzoek en waar we nu, aan het eind van het onderzoek, staan. Deze bijdrage fungeert hierbij vooral als springplank voor de volgende sessie op dit symposium, waarin het thema 'Hoe verder?' centraal staat.

Achtergronden onderzoek interacties

De riolering en de afvalwaterzuivering zijn in de praktijk twee gescheiden werelden, met elk hun eigen organisatie, specialisme, belang en jargon, terwijl zij beiden deel uitmaken van het afvalwatersysteem. Het inzicht dat beide deelsystemen deel uitmaken van een groter geheel is inmiddels wijdverbreid, hetgeen heeft geleid tot een verschuiving van de optimalisatie van de deelsystemen riolering, transportsysteem en afvalwaterzuivering afzonderlijk naar optimalisatie van het afvalwatersysteem als geheel. Hoewel deze ontwikkeling op zich interessant is, is er vakinhoudelijk eigenlijk weinig nieuws onder de zon. Een echt integrale aanpak, redenerend vanuit het oppervlaktewater, zoals voorgesteld in de redeneertrant OAS (RIZA et al., 1997), is niet van de grond gekomen omdat steeds is vastgehouden aan de huidige eisen per deelsysteem (basisinspanning voor riolering en effluentnormen voor AWZI). Daarnaast speelt ook de historische ontwikkeling op beide vakgebieden een grote rol.

Riolering

Het bekende NWRW (Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit) onderzoek uit de jaren '80 van de vorige eeuw heeft laten zien dat naast inzicht in het overstortende volume ook kennis van de kwaliteit van het overstortende rioolwater onontbeerlijk is bij de beoordeling van het functioneren van het rioolstelsel en de effecten op het ontvangende oppervlaktewater. Begin jaren '90 had daarom elk zichzelf respecterend ingenieurbureau zijn eigen vuiluitworpmodel, waarmee werd berekend of rioolstelsels voldeden aan de basisinspanning. Een vergelijkend onderzoek (Aalderink, 1994) heeft aangetoond dat de resultaten van deze modellen, en daarmee ook de te nemen maatregelen, enorm uiteenliepen. Met dit onthutsende resultaat was men terug bij af: de volumebenadering voor het bepalen van de basisinspanning.

In principe is sindsdien weinig veranderd, hoewel de laatste jaren, samenhangend met het promotieonderzoek van Clemens (2001), een sprong voorwaarts is gemaakt op het gebied van modelkalibratie en het ontwerp van meetnetten. Daarnaast mag het werkelijk functioneren van rioolsystemen zich in een steeds grotere belangstelling verheugen. Het onderzoek van Kamma aan de TU Delft naar veroudering van persleidingen en Korving (2003) naar pompstoringen zijn exponenten hiervan. Het wordt niet langer geaccepteerd dat een rioolstelsel alleen op papier aan de basisinspanning voldoet, maar de geïnstalleerde ontwerpafvoercapaciteit dient ook in de praktijk voortdurend aanwezig te zijn!

De hang naar inzicht in het werkelijk functioneren van de riolering en de nog steeds benodigde enorme investeringen voor het voldoen aan de basisinspanning hebben een klimaat geschapen waarin vernieuwing weer een kans gaat krijgen.

Afvalwaterzuivering

Binnen de afvalwaterwereld is in de jaren '90 flink geïnvesteerd in het realiseren van vergaande nutriëntverwijdering en wordt reeds gefilosofeerd over vergaande zuivering (Graaf, van der, 2001). Toch wordt nog steeds niet overal voldaan aan de eisen, zoals bleek op een recent NVA symposium (Velde, van de, 2002) en zijn nog steeds aanvullende investeringen noodzakelijk. Daarnaast liggen nieuwe, strengere normen in het verschiet in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water, waardoor ook de komende jaren de nodige investeringen zullen moeten worden gedaan.

OAS

De optimalisatiestudies die in Nederland zijn uitgevoerd komen in de praktijk neer op (Mameren, van, 2001):

- zoeken naar minimale kosten bij gelijkblijvende emissie naar oppervlaktewater
- zoeken naar minimale emissie bij gelijkblijvende kosten.

Gezien de normstelling en de achtergrond van de participanten aan een OAS is het niet verwonderlijk dat zelfs binnen een OAS voor de riolering alleen wordt gekeken naar de overstortende volumes en voor de AWZI naar de maximale hydraulische verwerkingscapaciteit.

Internationaal

In de internationale literatuur is de integrale aanpak en direct daarna integrale modellering van afvalwatersystemen al jarenlang de dominante stroming. Echter, nadere bestudering van de literatuur leert dat het veelal gaat om theoretische cases waarin gebruik wordt gemaakt van gekoppelde, bestaande, submodellen. Praktische toepassingen blijven uit, met name doordat de integrale modellen niet speciaal zijn toegesneden voor het gebruiksdoel en door de veelheid aan processen en modelparameters niet te kalibreren zijn (Rauch et al; 2002).

Onderzoek interacties

De ontwikkelingen binnen de afvalwater- en rioleringswereld lieten zien dat er, mede gezien de grote benodigde investeringen, behoefte bestond aan verdere afvalwatersysteemoptimalisatie, maar dat inzicht in de rol van de interacties nog ontbrak. Het in 1999 opgestarte onderzoek 'Interacties binnen het afvalwatersysteem' is in grote lijnen dan ook opgezet om antwoord te geven op de vraag:

In hoeverre is het mogelijk en zinvol om de interacties binnen het afvalwatersysteem gedetailleerder te beschouwen dan in de huidige praktijk gangbaar is?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk om inzicht te hebben in:

- de invloed van (en doorwerking van maatregelen aan) de riolering op de hoeveelheid en samenstelling van het influent;
- invloed influent op werking zuivering en mogelijkheden bij de zuivering om op influentfluctuaties in te spelen.

Belangrijkste resultaten onderzoek 'Interacties'

Het onderzoek 'Interacties' heeft zich gericht op het verkennen van een relatief groot aantal deelaspecten, hetgeen een grote stroom publicaties heeft opgeleverd, zie bijlage I. In deze paragraaf wordt kort op de belangrijkste resultaten van het onderzoek ingegaan en wordt tevens aangegeven wat deze resultaten voor de praktijk kunnen betekenen.

Het onderzoek interacties heeft als belangrijkste resultaten het volgende opgeleverd:

- a) inzicht in het belang van (werkelijk optredende) fluctuaties in het influent op het functioneren van (voor Nederland kenmerkende, laagbelaste) afvalwaterzuiveringen
- b) inzicht in de mogelijkheden om de dynamische respons van een afvalwaterzuivering op influentfluctuaties te modelleren met behulp van algemeen beschikbare modellen

- c) inzicht in mogelijkheden van de huidige generatie rioleringsmodellen om de fluctuaties in het influent te beschrijven (inclusief inzicht in de beperkingen ten aanzien van vuiluitworpmoedellering)
- d) methodiek voor het selecteren van modellen en procesbeschrijvingen voor de riolering en de awzi binnen afvalwatersysteemoptimalisaties op basis van de optimalisatiedoelen en afvalwatersysteemkarakteristieken
- e) inzicht in de potentie van optimalisatiealgoritmes voor toepassing binnen OAS
- f) inzicht in belang externe randvoorwaarden op afvalwatersysteem optimalisatie
- g) handleiding voor selectie van een optimalisatiestrategie (aanpak + optimalisatietechnieken) binnen OAS

ad a) de fluctuaties in het debiet blijken *in combinatie met* de fluctuaties in de concentratie opgeloste stikstof in het influent (dus: influentvracht per tijdseenheid) van groot belang te zijn voor het functioneren van de afvalwaterzuiveringen.

ad b) de ASM modellen (bijv. geïmplementeerd in SIMBA) zijn in staat om het dynamisch gedrag van de afvalwaterzuivering voldoende goed te beschrijven.

Conclusies ad a) en b):

- *het inzicht in het dynamisch functioneren van een awzi geeft ook inzicht in de ruimte die een awzi nog heeft gedurende een deel van het jaar/de dag, hetgeen kan worden gebruikt binnen afvalwatersysteemstudies;*
- *de gevoeligheid voor influentfluctuaties is vooral belangrijk zodra een stapje verder wordt gekeken dan de huidige effluenteisen: met het oog op de kaderrichtlijn water is het mogelijk dat heel andere eisen worden gesteld aan het functioneren van een awzi: bijvoorbeeld de concentratie ammonium in het oppervlaktewater slechts met een bepaalde frequentie en duur mag worden overschreden. Met het oog op toekomstige afvalwatersysteemoptimalisaties is het belangrijk om te weten wat wel en niet te verwachten is van de huidige generatie modellen.*

ad c) huidige rioleringsmodellen beschrijven:

- hydrodynamica goed (debieten, waterstanden)
- verloop concentratie opgeloste stoffen goed
- verloop concentratie niet-opgeloste stoffen (gesuspendeerd materiaal, sediment) onvoldoende door gebrek aan proceskennis: op dit moment ontbreekt inzicht in belang verschillende aan te wijzen invloedsfactoren als schuifspanning, inloop en verdunning => concentratie van rioolwater geloosd via overstorten kan slechts worden beschreven voor zover het gaat om opgelost (en op de tijdschaal van enkele uren) inert materiaal, zoals ammonium. De concentratie CZV_{totaal} bijvoorbeeld kan op dit moment nog niet goed worden beschreven
- omzettingsprocessen in de riolering redelijk: de bruikbaarheid is beperkt, doordat de variaties in de inloop een orde groter liggen dan de variaties in concentratie veroorzaakt door de omzettingsprocessen

Conclusie ad c):

- *huidige rioleringsmodellen zijn goed bruikbaar om verloop influentconcentraties te simuleren (immers, de concentratie niet-opgelost materiaal is niet van groot belang);*
- *huidige modellen zijn in principe niet bruikbaar als totaal vuiluitworpmoedellering voor de riolering.*

ad d) 'deze methodiek adviseert, op basis van de afvalwatersysteemkarakteristieken (persleidingen, DWA berging, etc.) en de uitgangspunten van een OAS, welke modelopzet zinvol kan worden gebruikt en welke niet. De methode bestaat uit een aantal beslisbomen waarmee heel snel inzicht wordt gegeven in welke mate van detail in de procesbeschrijving (wel of niet verloop concentraties in influent meenemen?) kansrijk zou kunnen zijn.

ad e) voor een tweetal algoritmes (Genetisch Algoritme (GA) en Simulated Annealing (SA)) is aangetoond dat zij geschikt zijn voor toepassing binnen afvalwatersysteem optimalisatiestudies. De combinatie van kostenminimalisatie en toetsing aan verschillende randvoorwaarden, zoals effluenteisen of basisinspanning, (hier komt een OAS veelal op neer) is voor deze algoritmes geen probleem.

ad f) voor een eenvoudige case is aangetoond dat een variatie in de randvoorwaarden (in dit geval de lozingseisen) leidt tot wezenlijk andere oplossingen.

ad g) op basis van de eigenschappen van een (afvalwatersysteem)optimalisatievraagstuk wordt aangegeven welke van de beschikbare algoritmes in principe tot goede resultaten kunnen leiden.

Conclusies ad d), e), f) en g):

- *het verworven inzicht in (het beschrijven van) de dynamiek binnen een afvalwatersysteem is toegankelijk gemaakt voor gebruik binnen een OAS. Daarnaast is aangegeven hoe en wanneer optimalisatiealgoritmes als GA en SA zinvol kunnen worden ingezet binnen een OAS.*

Literatuur

- Aalderink, R.H., 1994, Een vergelijkend onderzoek naar vuiluitworpmodellen voor rioolstelsels, Landbouw Universiteit Wageningen, Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie, Wageningen, December 1994.
- Clemens F.H.L.R. (2001) *Hydrodynamic models in urban drainage: application and calibration*. PhD-thesis Delft University of Technology, Delft
- Graaf, J.H.J.M. van der, (2001). What to do after nutrient removal? *Wat.Sci.Tech.* Vol 44 No 1 pp 129-135
- Korving, H. (2003). Analyse pompstoringen Gemeentewerken Rotterdam. Rapport TU Delft
- Mameren, van, H. (2001). Afvalwater systeem studies in Nederland. Voordracht namens ONRI Werkgroep Riolering, 9 oktober 2001
- Rauch, W., Bertrand-Krajewski, J.-L., Krebs, P., Mark, O., Schilling, W., Schütze, M. and Vanrolleghem, P.A. (2002). Deterministic modelling of integrated urban drainage systems. *Wat.Sci.Tech.* vol 45, No 3, pp 81-94
- RIZA, STOWA en RIONED (1997). OAS, Redeneertrant voor optimalisatie van afvalwatersystemen.
- Velde, O., van de (2002). Hoe presteren RWZI's in Nederland in Europees perspectief? Symposium Rioolwaterzuivering: steeds op zoek naar de juiste balans tussen geld en milieu. NVA, programmagroep 3: Hilversum, 13 November 2002.

Bijlage I Publicaties onderzoek interacties in het afvalwatersysteem

- Langeveld, J.G., Verbeteringsmaatregelen aan bestaande riolering: gevolgen voor het totale afvalwatersysteem, PAO cursus Het stedelijk waterbeheer van de toekomst, april 2000
- Langeveld, Jeroen G. and Jaap H.J.M. van der Graaf (2000), Interactions between sewerage and wastewater treatment. In: CD-ROM poster proceedings 1st WorldWatercongress of the IWA, July 2000
- Langeveld, J.G. (2000), 'Interacties binnen het afvalwatersysteem' Verslag literatuurstudie in opdracht van ARCADIS, Grontmij en Witteveen+Bos. Internrapport TUDelft, augustus 2000
- Langeveld, Jeroen G. (2000). Meer afstemming tussen riolering en awzi. Onderzoek naar interacties binnen het afvalwatersysteem. Land+Water nr. 9/2000
- Langeveld, Jeroen (2000), Interactions within the wastewater system: influence of sewer processes on WWTP performance. In: Proc. Seminar on sewer processes – current needs and opportunities & the launch of sewnet network. Sheffield: University of Sheffield, 21 september 2000
- Willemsen, N., Langeveld, J., Clemens, F. en Boomgaard, M. (2000). Optimalisatie van afvalwatersystemen met behulp van genetische algoritmes. H₂O (22) 2000
- Langeveld, J.G. (2001) 'Interacties binnen het afvalwatersysteem' Invloed influentfluctuaties op functioneren awzi. Deel 1. Gevoeligheidsanalyse modellering awzi. Internrapport TUDelft in opdracht van ARCADIS, Grontmij en Witteveen+Bos., augustus 2000
- Langeveld, Jeroen G., Clemens, François, H.L.R. and Jaap H.J.M. van der Graaf (2001), Increasing wastewater system performance – the importance of interactions between sewerage and wastewater treatment. Proceedings 2nd International Conference INTERACTIONS BETWEEN SEWERS, TREATMENT PLANTS AND RECEIVING WATERS IN URBAN AREAS – INTERURBA II, Lisbon, 9-22 February 2001
- Boomgaard, Marcel E., Jeroen G. Langeveld and François H.L.R. Clemens (2001), Wastewater system Optimisation using Genetic Algorithms. Bridging the Gap. Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges. Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress May 20-24, 2001, Orlando, Florida (CD ROM)
- Boomgaard, Marcel E., Jeroen G. Langeveld and François H.L.R. Clemens (2001), Wastewater system Optimisation using Genetic Algorithms. In: Brashear, R.W. and Maksimovic, C. (eds.) Urban Drainage Modelling. Proceedings of the Specialty Symposium of the World Water and Environmental Resources Congress
- Boomgaard, Marcel E., Jeroen G. Langeveld and François H.L.R. Clemens (2001): Genetic Algorithms as a tool for Wastewater System Optimisation. In: proceedings Novatech 2001 volume 2, pp.903-910
- Langeveld, J.G. (2001): Interacties tussen riolering en zuivering: focus op operationeel beheer. PAO Cursus Rioleringsbeheer, april 2001
- Langeveld, J.G. (2001) Invloed influentfluctuaties op werking awzi. In: Langeveld, J.G. (ed.) Proceedings symposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem', 14 juni 2001. Delft, TU Delft, 2001
- Graaf, J.H.J.M., van der en Langeveld, J.G. (2001). Interacties binnen het afvalwatersysteem: State of the art. In: Langeveld, J.G. (ed.) Proceedings symposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem', 14 juni 2001. Delft, TU Delft, 2001
- Langeveld, J.G. (2001): Relatie modellen voor riolering, oppervlaktewater en afvalwaterzuivering. PAO Cursus Modelleren van riolering, november 2001
- Langeveld, J.G. (2001). Interacties binnen het afvalwatersysteem. Meetrapport 'Experiment transport opgeloste stoffen'. Zoutdosering en geleidbaarheidsmetingen in het rioolstelsel van Loenen. Internrapport TU Delft in opdracht van ARCADIS, Grontmij en Witteveen+Bos.
- Langeveld, J.G. (2002). Interacties binnen het afvalwatersysteem. Deelrapport Invloed influentfluctuaties op werking AWZI. Internrapport TU Delft in opdracht van ARCADIS, Grontmij en Witteveen+Bos. Januari 2002

- Langeveld, J.G., Clemens, F.H.L.R. and Graaf, J.H.J.M. van der. (2002). Interactions within the wastewater system: requirements for sewer processes modelling. Proceedings of 3rd International Conference on Sewer Processes and Networks, Paris, France, 15-17 april 2002.
- Boomgaard, Marcel E., Jeroen G. Langeveld and François H.L.R. Clemens (2002): Optimisation of wastewater systems: A stepwise approach. In: Strecker, E.W. and Huber, W.C.(2002) *Global solutions for Urban Drainage*. Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage. September 8-13, 2002. Portland, Oregon, USA
- Veldkamp, R., Henckens, G., Langeveld, J., Clemens, F., (2002) Field data on time and space scales of transport processes in sewer systems. In: Strecker, E.W. and Huber, W.C.(2002) *Global solutions for Urban Drainage*. Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage. September 8-13, 2002. Portland, Oregon, USA
- Langeveld, J.G., Clemens, F.H.L.R. and Graaf, J.H.J.M. van der. (2002). Interactions within the wastewater system: modelling of sewer processes. In: Strecker, E.W. and Huber, W.C.(2002) *Global solutions for Urban Drainage*. Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage. September 8-13, 2002. Portland, Oregon, USA
- Langeveld, J en Schuit, T. (2002). Meten in de riolering: het transport van opgeloste stoffen. *H2O* (4) 2002
- Langeveld, Jeroen G., Clemens, François, H.L.R. and Jaap H.J.M. van der Graaf (2002), Increasing wastewater system performance – the importance of interactions between sewerage and wastewater treatment. *Water Science & Technology*, Vol. 45, No 3, pp. 45-52
- Boomgaard, M.E., Clemens, F.H.L.R. and Langeveld, J.G. (2002) Global optimisation methods in urban drainage. Application of a genetic algorithm and simulated annealing to three optimisation problems: cost optimisation, automated model calibration and monitoring network design. EWRSA, Virginia.
- Langeveld, J.G. en Clemens, F.H.L.R. (2002) Meten in de riolering: het transport van opgeloste stoffen in gedeeltelijk gevulde leidingen. *Rioleringwetenschap en techniek*, jaargang 2, nr 6, juni 2002. pp. 27-39
- Langeveld, J.G. , Clemens, F.H.L.R. en Graaf, J.H.J.M. van der (2002) Interacties binnen het afvalwatersysteem: een andere kijk op influentfluctuaties. *Afvalwaterwetenschap*, Jaargang 1. nr.3. juni 2002 , pp. 49-68
- Langeveld, J.G., (2002). Processen in de riolering en hun relatie met de interacties binnen het afvalwatersysteem. In: Langeveld, J.G. (ed.) Proceedings symposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem', 13 juni 2002. Delft, TU Delft, 2002
- Langeveld, JG (2002). Gezond verstand blijft onontbeerlijk voor optimalisatie. *H2O*, 35(13), blz. 18-19.
- Langeveld, JG (2003). Interacties binnen het afvalwatersysteem. In: Van Dijk en Vreeburg (eds.) *Netwerken*, 55^e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening en 22^e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling, pp.63-70
- Langeveld, J.G. en Clemens, F.H.L.R. (2003). Het transport van opgeloste stoffen in de riolering: een vergelijking van beschikbare modellen. *H2O*, 2-2003, pp. 23-25
- Langeveld, Jeroen (2003) Interacties binnen het afvalwatersysteem: state of the art. Pao cursus Interacties binnen het afvalwatersysteem.
- Langeveld, Jeroen en Boomgaard, Marcel (2003) Optimalisatie van afvalwatersystemen en de rol van interacties. Pao cursus Interacties binnen het afvalwatersysteem.
- Langeveld, J.G., Clemens, F.H.L.R. and Graaf, J.H.J.M. van der. (2003). Interactions within the wastewater system: requirements for sewer processes modelling. *Water Science & Technology*, Vol. 47, No 4, pp. 101-108
- Veldkamp, R., Henckens, G., Langeveld, J. en Clemens, F. (2003). Veldmetingen van troebelheid in relatie tot transportmechanismen in rioolstelsels. *Rioleringwetenschap en techniek*, jaargang 3, nr 9, maart 2003. pp.19-32

Deelnemerslijst middagsymposium 'Interacties binnen het afvalwatersysteem III'

Aalderink, H.	Arcadis
Baars, E.	DWR, sector Riolering
Beenen, T.	RIONED
Bleeker, F.	Hoogheemraadschap van Rijnland
Boomgaard, M.	Witteveen+Bos
Bos, R.	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Brouwer, W.	Gemeente Arnhem
Clemens, F.H.L.R.	TU Delft
Dielen, L.	Waterschap Rivierenland
Dijk, J. van	Vertis
Dijk, H. van	TU Delft
Dirkzwager, A.	RIZA
Duin, O.	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Faasen, E. van	Waterschap Groot Salland
Flamink, C., mevr	TU Delft
Geerse, H.	Waterschap Reest en Wieden
Graaf, J.H.J.M. van der,	TU Delft
Haase, J.F.M.	Grontmij
Hemmers, I.	Vertis
Holthuijsen, S., mevr.	Grontmij
Jong, P. de	Witteveen+Bos
Klaassens, L.	Waterschap de Dommel
Koning, J., de	TU Delft
Korving, H.	HKV
Kunst, J.M.	Grontmij
Langeveld, J.G.	TU Delft
Lemmen, G.	Grontmij
Mous, C.J., mevr	Waterschap Zuiderzeeland
Nieuwenhuijzen, A.F. van,	Witteveen + Bos
Oudhuis, R.	DWR, sector Riolering
Schuurman, H.	Waterschap Groot Salland
Schyns, P.	Waterschap Rijn en IJssel
Sombekke, H.D.M., mevr	Waterschap Regge en Dinkel
Spoel, H. van der	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Veen, R. van der.	Waterschap Zeeuwse Eilanden
Veen, S. van 't, mevr.	Grontmij
Veldhuizen, H. van	Grontmij
Veldkamp, R.	TU Delft
Veraart, A.	Waterschap Zeeuws-Vlaanderen
Verstraaten, A.	Waterschap Groot Salland
Weijers, S.	GTD Oost-Brabant
Westerhof, J.	Gemeente Leusden
Wiggers, J.B.M.	
Worst, W.J.P.	Grontmij

Adressen werkgroep interacties

ir. H. Aalderink (Hans)
Arcadis
Postbus 673
7300 AR Apeldoorn
Telefoon: 055-5815748
Email: r.h.aalderink@arcadis.nl

ir. M.E. Boomgaard (Marcel)
Witteveen+Bos
Postbus 10095
1301 AB Almere
Telefoon: 036-5482954
Fax: 036-5333883
Email: m.boomgaard@witbo.nl

prof.dr.ir. F.H.L.R. Clemens (François)
TU Delft
Stevinweg 1
2628 CN Delft
Telefoon: 015-2785450/0570-697300
Fax: 015-2784918
Email: f.h.l.r.clemens@citg.tudelft.nl

ing. J.W. van Dijk (Johan)
Vertis
Postbus 73
9640 AB Veendam
Telefoon: 0598-666361
Fax: 0598-686666
Email: DijkJW@vertis.nl

ir. J.M.U. Geerse (Hans)
voorheen HKV, thans Waterschap Reest en Wieden
h.geerse@reest-wieden.nl

prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf (Jaap)
TU Delft, sectie Gezondheidstechniek
Stevinweg 1
2628 CN Delft
Telefoon: 015-2781615/0570-697650
Fax: 015-2784918
Email: j.vdgraaf@witbo.nl

ir. H. Hartong (Hans)
HKV lijn in water
Postbus 2120
8203 AC Lelystad
Telefoon: 0320-294222
Fax: 0320-253901
Email: h.hartong@hkv.nl

ir. S. Holthuijsen (Saskia)
Grontmij
Postbus 119
3990 DC Houten
Telefoon: 030-6344858
Fax: 030-6381429
Email: saskia.holthuijsen@grontmij.nl

ir. P. de Jong (Peter)
Witteveen+Bos
Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon: 0570-697492
Fax: 0570-697344
Email: p.djong@witbo.nl

ir. J.G. Langeveld (Jeroen)
TU Delft, sectie Gezondheidstechniek k.4.51
Stevinweg 1
2628 CN Delft
Telefoon: 015-2785457
Fax: 015-2784918
Email: j.g.langeveld@citg.tudelft.nl

dr.ir. A.F. van Nieuwenhuijzen (Arjen)
Witteveen+Bos
Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon: 0570-697317
Fax: 0570-697344
Email: A.vNieuwenhuijzen@witbo.nl

drs.ing. S. van 't Veen (Saskia)
Grontmij
Postbus 14
3730 AA De Bilt
Telefoon: 030-6943210
Fax: 030-6956366
Email: saskia.vantveen@grontmij.nl

ing. J. Zuidervliet (Jan)
Arcadis Heidemij Advies
Postbus 410
2130 AK Hoofddorp
Telefoon: 023-5668463
Fax: 023-5652824
Email: j.zuidervliet@arcadis.nl