



Bert Palsma, STOWA

Marcel Glasbergen, ARCADIS

Jan Zuidervliet, ARCADIS

# EMOS: emissiemodel voor keuze rioolsysteem

**De stedelijke wateropgave voor gemeenten vindt zijn basis in het rijksbeleid voor 'Waterbeheer 21e eeuw' en de Kaderrichtlijn Water. Kortweg komen de doelstellingen neer op het vertragen van de afvoer van regenwater en verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Eén van de maatregelen om aan deze beleidsdoelstellingen te voldoen, is het afkoppelen van regenwater van de riolering. Door regenwater uit het riool te halen kan men invulling geven aan de trits 'vasthouden-bergen-afvoeren', nemen de emissies uit gemengde rioolstelsels af, verminderen de effluentvrachten van rwzi's en kan de kwaliteit van het oppervlaktewater daadwerkelijk verbeteren.**

Op grond van deze uitgangspunten is een generieke aanpak voor het afkoppelen van regenwater ontstaan. Hierbij wordt echter voorbij gegaan aan het feit dat bij het afkoppelen van regenwater de lozingsvolumes in het stedelijk gebied zodanig toenemen, dat de emissies groter kunnen worden dan bij gemengde rioolstelsels ondanks de kleinere vuilgehalten.

Om onder lokale omstandigheden tot een weloverwogen systeemkeuze te komen, waarbij rekening wordt gehouden met de effecten voor de afvalwaterketen en het watersysteem, heeft STOWA een onderzoek laten uitvoeren met de volgende opdracht:

- het opstellen van een expertmodel (EMOS), waarmee voor diverse stoffen de emissies vanuit het totale afvalwatersysteem (riolering en rwzi) kunnen worden bepaald op grond waarvan een systeemkeuze van de riolering (inclusief afkoppelvraagstukken) kan worden gemaakt;
- het uitvoeren van een onderzoeksplan om meer inzicht te verwerven in de verschillende invloedsfactoren op de voornoemde systeemkeuze;
- en het in beeld brengen van eventuele leemten in kennis.

Samenvattend is EMOS een hulpmiddel voor maatregel-effectrelaties in de riolering. Het laat hiaten in kennis zien en geeft oplossingen voor effectieve inspanningen in beheer en/of investeringen. De opdracht is door ARCADIS uitgevoerd met ondersteuning van Royal Haskoning. Dit artikel beschrijft het EMOS-model en de stofselectie. Binnenkort zullen in H<sub>2</sub>O de resultaten van het onderzoek gepubliceerd worden<sup>5)</sup>.

## Modelopzet

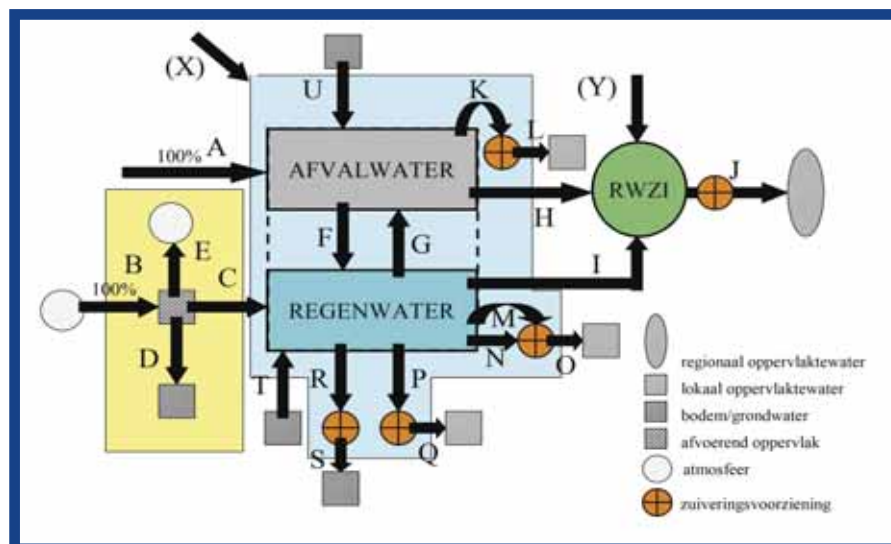
EMOS (EmissieMOdel voor Systeemkeuze) is een rioleringsmodel op basis van een bakbenadering, waarbij de afvalwater- en regenwaterstromen vanaf de invoerpunten tot aan de lozingspunten afzonderlijk door het afvalwatersysteem worden gevolgd. Afbeelding 1 geeft het modelschema van EMOS weer. Het model omvat het gehele afvalwatersysteem, zodat ook de effecten van afkoppelen op het effluent van de rwzi inzichtelijk kunnen worden gemaakt. De riolering is opgebouwd uit een afvalwater- en regenwatercomponent die, afhankelijk van het stelseltype, als één integrale bak (gemengde stelsels) of als twee afzonderlijke bakken (gescheiden stelsels) functioneren. De invoerstromen

bestaan uit huishoudelijk afvalwater en regenwater. Door aan de inkomende of uitgaande volumestromen uit literatuur bekende vuilgehalten toe te voegen, berekent het model op twee verschillende wijzen de emissies bij de lozingspunten.

## Volumestromen

Het model onderscheidt een groot aantal volumestromen, waarvan de betekenis en de relatie met het stelseltype in tabel 1 is weergegeven. EMOS kan maximaal tien rioolstelsels tegelijkertijd doorrekenen. In een variantenstudie zijn dat bijvoorbeeld tien varianten naast elkaar. Maar rioolstelsels kunnen met behulp van de volumestromen X en Y ook doorgekoppeld worden, zodat

Afb. 1: Modelschema EMOS (zie ook tabel 1).



een heel afstroomgebied van een rwzi kan worden doorgerekend.

De scheiding in afvalwater- en regenwatercomponent maakt het mogelijk om beide trajecten vanaf de bron afzonderlijk te volgen. Op die manier is op de lozingspunten bekend welk deel van het lozingsvolume uit welke bron afkomstig is.

In het model zijn voor de belasting met huishoudelijk afvalwater en neerslag defaultwaarden uit module C2100 van de Leidraad Riolering<sup>2)</sup> opgenomen. De gebruiker kan deze defaultwaarden op eenvoudige wijze vervangen door specifieke waarden. Als neerslagegevens kunnen ook andere reeksen of individuele buien worden ingevoerd.

### Lozingspunten

De lozingen vanuit het model vinden plaats op vier compartimenten:

- regionaal oppervlaktewater, waarop de lozing van het effluent van de rwzi (J) plaatsvindt;
- stedelijk of lokaal oppervlaktewater, waarop de rioolozingen (L, O en Q) plaatsvinden;
- stedelijke bodem, waarin de bodemlozingen (D en S) plaatsvinden;
- en de atmosfeer voor de verdamping (E).

Bij alle lozingspunten vanuit het afvalwatersysteem kunnen zuiveringsvoorzieningen in het model worden opgenomen. Bij een gemengd stelsel is dat bijvoorbeeld een bergbezinkbassin en bij een gescheiden stelsel een lamellenafscheider. Aan de rwzi kan een nabehandelingstrap worden toegevoegd.

### Rioleringsystemen

EMOS onderscheidt drie basisstelsels: het gemengd stelsel (GM), het verbeterd

gescheiden stelsel (VGS) en het gescheiden stelsel (GS).

Een verdere specificatie biedt de mogelijkheid voor nog eens zes subvarianten: het verbeterd gemengd stelsel (VGM), het verbeterd gescheiden stelsel met afscheider en aangepaste pompovercapaciteit (VGS+), het gescheiden stelsel met afscheider (GS+), het gescheiden stelsel met bodempassage (afvoer naar oppervlaktewater) (GS-bodem), het gescheiden stelsel met bovengrondse bodeminfiltratie (GS-inf/boven) en het gescheiden stelsel met ondergrondse bodeminfiltratie (GS-inf/onder). In totaal kan het model dus negen verschillende stelseltypen doorrekenen. EMOS staat ook toe dat allerlei combinaties worden ingebracht, zoals het afkoppelen van een deel van het verhard oppervlak bij gemengde rioolstelsels of het toepassen van zowel afscheiders als bodempassages bij gescheiden systemen.

### Stofstromen

EMOS berekent de emissies bij de lozingspunten op basis van het principe: emissie = volume x vuilgehalte. De lozingsvolumen worden op basis van een bakbenadering berekend. Daardoor is het niet mogelijk een verdeling van dit totale lozingsvolumen over de verschillende lozingspunten van het betreffende gebied in de berekeningen mee te nemen. Daarvoor zouden de verdeelsleutels uit hydrodynamische berekeningen gehanteerd kunnen worden. Voor de vuilgehalten hanteert men literatuurwaarden. Het model onderscheidt zich door de vuilgehalten zowel aan de inkomende als de uitgaande volumestromen te kunnen koppelen. We spreken van bron- en lozingsbenadering.

### Bronbenadering

Bij de bronbenadering worden vuilgehalten van stoffen aan de twee onderscheiden invoerstromen A (droogweerafvoer) en C (inloop) toegevoegd. Door beide volumestromen met de daaraan gekoppelde concentraties door het systeem te volgen, kan bij de lozingspunten zowel de uit elke bron afkomstige vuilvracht als de totale vuilvracht met gemiddeld vuilgehalte berekend worden.

De processen in de riolering (adsorptie, dispersie, sedimentatie, resuspensie, afbraak) worden in het model niet meegenomen. Daarom moet aan de rekenuitkomsten geen absolute waarde worden toegekend. De uitkomsten hebben een relatieve waarde en dienen om het effect van allerlei invloedsfactoren inzichtelijk te maken, zoals het effect van foutaansluitingen in gescheiden rioolstelsels. Over dergelijke effecten is over het algemeen weinig bekend, omdat dergelijke meetonderzoeken erg complex en kostbaar zijn.

### Lozingsbenadering

Bij de lozingsbenadering berekent het model de emissies door de lozingsvolumen te vermenigvuldigen met vuilgehalten die in de literatuur voor vergelijkbare lozingspunten vermeld staan. In hoeverre de omstandigheden van de doorgerekende situatie vergelijkbaar zijn met die van de bemeaten situatie, is meestal niet bekend. Enige terughoudendheid bij deze toepassing ten aanzien van de absolute rekenuitkomsten is dus op zijn plaats. Een gevoeligheidsanalyse kan inzicht verschaffen in de optredende marge in de resultaten.

### Stofselectie en vuilgehalten

Het model is standaard uitgerust met litera-

Tabel 1: Deelstromen in EMOS in relatie tot stelseltypen.

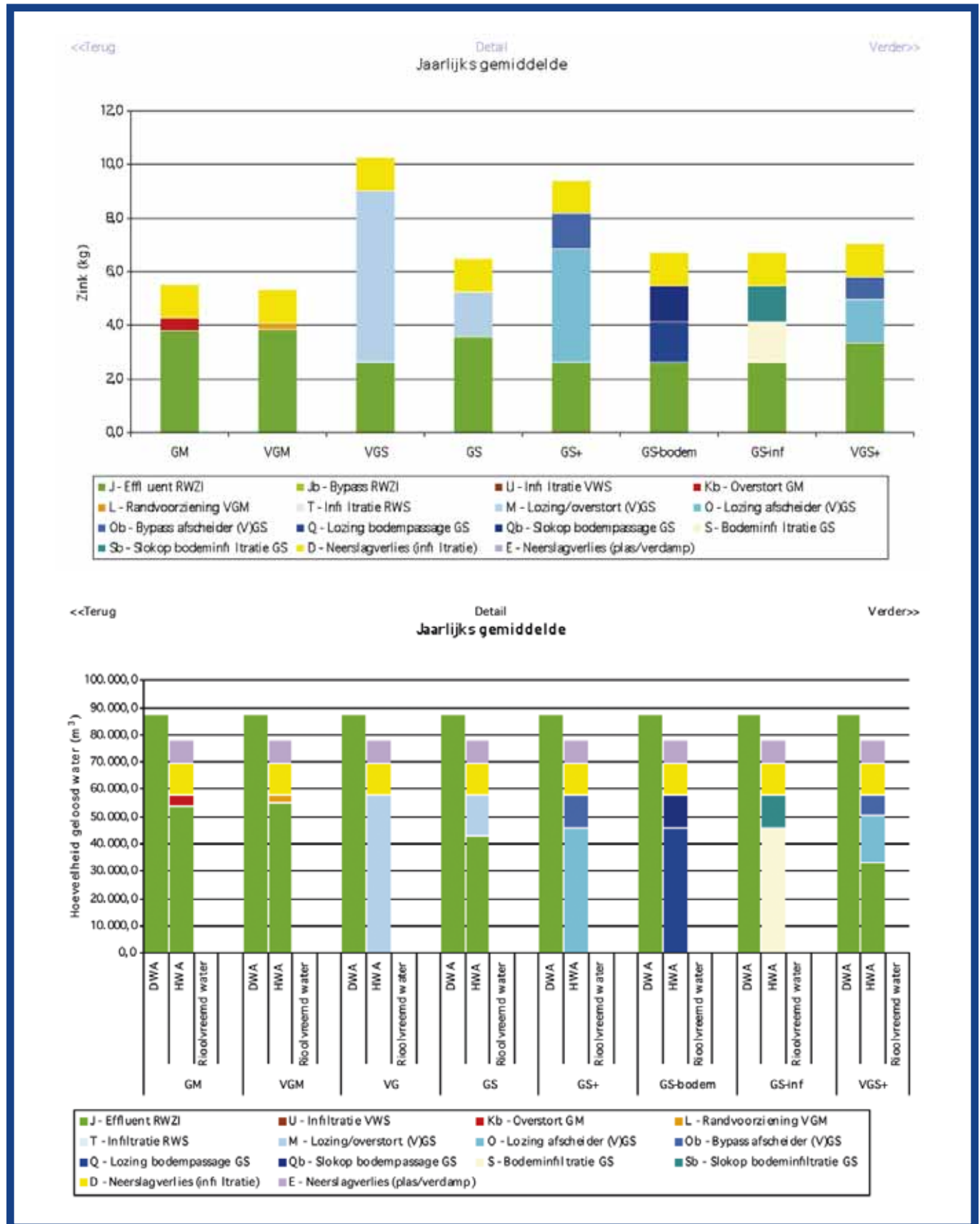
waterstroom	gemengde systemen		gescheiden systemen					verbeterd	
	GM	VGM	GS	GS+	afgekoppeld GS-bodem	GS-inf/bove	GS-inf/onder	VGS	VGS+
A huishoudelijk afvalwater	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B neerslag	■	■	■	■	■	■	■	■	■
C rioolinloop	■	■	■	■	■	■	■	■	■
D neerslagverlies door infiltratie	■	■	■	■	■	■	■	■	■
E idem door plasvorming/verdamping	■	■	■	■	■	■	■	■	■
F foutaansluitingen op regenwatercomponent	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ga foutaansluitingen op vuilwatercomponent	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gb mengfactor gemengd stelsel	■	■	■	■	■	■	■	■	■
H influent rwzi gemengd water	■	■	■	■	■	■	■	■	■
I influent rwzi regenwater	■	■	■	■	■	■	■	■	■
J effluent rwzi (evt. na nabehandeling)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ka nooduitlaat vuilwaterstelsel	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Kb overstort gemengd stelsel	■	■	■	■	■	■	■	■	■
L randvoorziening verb. gemengd stelsel	■	■	■	■	■	■	■	■	■
M overstort verbeterd gescheiden stelsel	■	■	■	■	■	■	■	■	■
N lozing gescheiden stelsel	■	■	■	■	■	■	■	■	■
O randvoorziening regenwaterlozing	■	■	■	■	■	■	■	■	■
P afvoer naar bodempassage	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Q lozing bodempassage	■	■	■	■	■	■	■	■	■
R afvoer naar infiltratievoorziening	■	■	■	■	■	■	■	■	■
S bodemlozing infiltratievoorziening	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T rioolvreemd water regenwatercomponent	■	■	■	■	■	■	■	■	■
U rioolvreemd water afvalwatercomponent	■	■	■	■	■	■	■	■	■

tuurwaarden voor de vuilconcentraties van acht verschillende stoffen, die samen een breed spectrum aan eigenschappen vertegenwoordigen. Tabel 2 geeft de betreffende stoffen met de uit de literatuur afgeleide vuilgehalten aan. In het model zijn voor deze stoffen ook onder- en bovengrenzen voor de vuilgehalten opgenomen, zodat ook de

marge in optredende vuilvrachten inzichtelijk wordt. Voor de stoffen benzoflurantheen, *E. coli*, glyfosaat en oestron zijn voor de lozingspunten geen en voor de bronnen slechts enkele literatuurwaarden aangetroffen. Dat betekent dat voor deze stoffen de lozingsbenadering niet zonder meer gebruikt kan worden. De verzamelde vuilgehalten zijn

tot stand gekomen aan de hand van een beperkte literatuurrecherche. De belangrijkste bronnen waren NWRW-onderzoek<sup>1</sup>, de STOWA-regenwaterdatabank<sup>3</sup> (conceptversie) en het CBS (zuiveringsrendementen). De omvang van de aangetroffen informatie was veelal zo beperkt dat is besloten om hierop geen statistische bewerkingen los te

Afb. 2: Verdeling van jaarlijkse zinkvracht en lozingsvolumen over lozingspunten, zonder (boven) en met (onder) aanduiding van de bron.



laten. De in de tabel aangegeven waarden zijn over het algemeen gemiddelden. Alleen voor regenwater zijn mediaanwaarden gehanteerd, omdat de waarden onevenwichtig verdeeld waren. Voor oestron is het gehalte in huishoudelijk afvalwater afgeleid uit de bekende waarde in het influent van de rwzi.

### Rendementen

Voor rwzi's en de zuiveringsvoorzieningen bij de lozingspunten kunnen in EMOS rendementen worden ingevoerd als functie van de geselecteerde stof. Voor de lozingspunten zijn dit vaste rendementen. Op dit moment geldt dat ook nog voor de rendementen van de rwzi. Binnenkort zullen echter de resultaten van het STOWA-onderzoek 'Balanceren van stoffen in de afvalwaterketen'<sup>5)</sup> in EMOS worden ingebracht, zodat met variabele rendementen gerekend kan worden als functie van de afkoppelingsgraad.

### Presentatie rekenresultaten

EMOS presenteert de rekenuitkomsten in grafieken en tabellen. Bovendien is het rekenmodel aangevuld met een interpretatieinstrument: EMOSint. Hiermee kan de gebruiker op snelle wijze de verschillen in rekenuitkomsten tussen de varianten interpreteren, doordat de resultaten automatisch in rangorde worden gesteld. De gebruiker kan kiezen of de rangorde betrekking moet hebben op volumens, vrachten of vuilgehalten. Om de rangorde per compartiment inzichtelijker te maken, kan de gebruiker aan elke variant een kleur toekennen.

De tabellen bevatten per bemalingsgebied of variant voor alle relevante deelstromen de rekenresultaten uitgedrukt in volumens, vrachten en vuilgehalten. Uit deze cijfermatige resultaten genereert EMOS drie grafische basisvormen. Deze zijn gerelateerd aan de compartimenten, de lozingspunten of de bronnen. Voor elke basisvorm worden de resultaten weergegeven in volumens, vrachten of vuilgehalten, zodat voor elke berekening negen grafieken beschikbaar zijn. In afbeelding 2 zijn twee voorbeelden gegeven van deze grafiekvormen voor de geloosde watervolumens en zinkvrachten uit acht stelselvarianten. De bovenste figuur geeft per variant de verdeling weer van de totale jaarlijkse zinkvracht over de verschillende lozingspunten; de onderste figuur doet

voor het jaarlijkse lozingsvolume hetzelfde, maar maakt bovendien onderscheid in de bron waaruit het volume afkomstig is.

### Toepassingsmogelijkheden

Door de integrale benadering van het hele afvalwatersysteem, de fractieboekhouding vanuit de drie bronnen en het brede scala van stoffen kan EMOS voor uiteenlopende doeleinden worden toegepast. Het model kan worden ingezet bij onderzoeksprojecten, de vorming van beleid, strategie of visie, systeemoptimalisatie en gevoeligheidsanalyses. Ook in het projectstadium kan het model worden benut, als het om de definitieve systeemkeuze voor het voorontwerp gaat. Bij toepassing van de bronbenadering kunnen ook de effecten van innovatieve ontwikkelingen (bijvoorbeeld 'nieuwe sanitatie' en diffuse bronnen) of de invloed van oneigenlijke verschijnselen in de riolering (zoals foutaansluitingen en rioolvreemd water) worden verkend.

Door de schematisering in de vorm van een bakmodel hebben de rekenuitkomsten van EMOS in absolute zin een lagere betrouwbaarheid dan uitkomsten van hydrodynamische rekenmodellen. De integrale benadering van het totale afvalwatersysteem maken EMOS echter tot een uitstekend hulpmiddel om varianten snel met elkaar te kunnen vergelijken bij het gebruik van slechts enkele hoofdkenmerken van de rioolstelsels. Het model is bovendien erg flexibel opgezet doordat alle denkbare parameters kunnen worden aangepast.

In de huidige vorm kan EMOS alleen gemiddelde jaarresultaten uit een reeks berekening. Het is nog niet mogelijk om op basis van doorgerekende neerslagreeksen een statistische bewerking uit te voeren, waardoor vrachten en concentraties voor piekemissies kunnen worden bepaald. Het is wel mogelijk om in plaats van een volledige neerslagreeks een afzonderlijke gebeurtenis door te rekenen, waarmee alsnog de piekemissies kunnen worden bepaald.

EMOS is in principe opgezet voor huishoudens als bron voor het afvalwater. De flexibiliteit van EMOS staat echter ook toe dat bedrijfsmatig afvalwater wordt meegenomen, door de volumens en vuilgehalten per inwoner equivalent hierop aan te passen.

### Beperkingen

Het hydraulische rekenhart van EMOS is ontwikkeld op basis van Matlab. Deze keuze blijft echter wel enige beperkingen op te leggen ten opzichte van de beoogde gebruiksmogelijkheden. In plaats van tien kunnen maar acht gebieden of varianten tegelijkertijd worden doorgerekend, blijft de maximale regenreeks beperkt tot tien in plaats van 25 jaar en het aantal stoffen tot acht in plaats van tien.

#### LITERATUUR

- 1) NWRW (1989). Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989.
- 2) Stichting RIONED (...). Leidraad Rioleringsberekeningen, module C2100. Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren.
- 3) STOWA (2007). Regenwaterdatabase.
- 4) STOWA (2009). Balanceren van stoffen in de afvalwaterketen. In voorbereiding.
- 5) STOWA (2009). Invloed van systeemkeuze op de emissies van de afvalwaterkeuze. In voorbereiding.

Tabel 2: Stofselectie en vuilgehalten (gemiddelde of mediaanwaarden).

stof	stofgroep	eenheid	BRONBENADERING			LOZINGSBENADERING	
			huishoudens	rioolinloop	effluent rwzi	overstort GM	lozing (V)GS
CZV	zuurstofbindende stoffen	mg/l	900	39	43	259	48
P <sub>totaal</sub>	nutriënten	mg/l	20	0,3	2,0	3,1	0,4
koper	zware metalen	µg/l	65	20	10	92	25
zink	zware metalen	µg/l	150	110	46	431	289
benzoflurantheen	organische microverontreinigingen	µg/l	0,0E+00	1,0E+02	1,0E+01		
E. coli	pathogene organismen	kve/100ml	1,0E+07	1,2E+04	2,0E+04		
glyfosaat	bestrijdingsmiddelen	µg/l	0	4,4	4,0		
oestron	hormonen	ng/l	113	0	5		