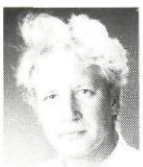
Het voorspellen van een extreme vuiluitworp uit gemengde rioolstelsels

Samenvatting
Na afronding van het grootschalige onderzoek naar de vuiluitworp uit rioolstelsels, onder auspiciën van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit, is meermalen de wens geuit om deze meetgegevens operationeel te maken. Dit artikel is gebaseerd op deze vuiluitworpmetingen, met dien verstande dat alleen de metingen aan de gemengde rioolstelsels onder de loep zijn genomen. Op basis van de meet- en analyseresultaten is een exponentieel model ontwikkeld waarmee voor afzonderlijke buien de grootte en de frequentie van vuilemissies zijn te berekenen c.q. te voorspellen. Het zijn de hoge emissies die een nadelig, soms zelfs desastreus effect hebben op de waterkwaliteit. Extreem hoge emissies zijn het gevolg van zeer zware regenbuien, zodat de frequentie waarmee dit verschijnsel optreedt in het algemeen laag is. De frequentie wordt in het model tot uitdrukking gebracht door een te kiezen herhalingstijd.
Met het model kunnen emissies voor vijf vuilparameters worden berekend: BZV, CZV, Kjeldahl-N, totaal-P en droge-stofgehalte. Voor ieder van deze vuilparameters is uit de NWRW-gegevens de gemiddelde emissie in kg per hectare verhard oppervlak bepaald. Dit gegeven vormt, samen met de werkelijke overstortingsfrequentie van het beschouwde stelsel en de te kiezen herhalingstijd de invoer voor het exponentiële model. Omdat het model rekent met genormeerde vuilvrachten (kg/ha) moet het naar de overstort afvoerend verhard oppervlak bekend zijn.
Het model kent enkele beperkingen. Het is ontwikkeld op basis van onderzoekingen die alle zijn uitgevoerd in stelsels met slechts een enkele overstort. Toepassing van het model voor stelsels met meerdere overstorten garandeert geen volledig betrouwbare uitkomsten. Voorts is het model gebaseerd op meetperiodes die, afhankelijk van de locatie, varieerden van 1 tot ruim 4 jaar. Bij het kiezen van herhalingstijden dient men zich te realiseren dat de meetgegevens niet eindeloos geëxtrapoleerd kunnen worden. Daarom is als maximumgrens een herhalingstijd van 10 jaar aangehouden.
De nauwkeurigheid van de uitkomsten van het model is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee de grootte van het afvoerend oppervlak alsmede de overstortingsfrequentie zijn bepaald. Voor lokale situaties kan desgewenst een aldaar gemeten gemiddelde vuilvracht worden gehanteerd onder de voorwaarde dat deze is gebaseerd op een meetperiode die tenminste 50 goed bemonsterde overstortingen omvat. Voor het doen van voorspellingen kan dan eveneens gebruik worden gemaakt van de exponentiële verdeling.

Inleiding

In 1982 is een landelijk onderzoek gestart met als doel het vergroten van de kennis over het ontwerpen, aanleggen en beheren van rioolstelsels en overstorten. Dit onderzoek is verricht onder auspiciën van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW). Een deel van het onderzoek heeft zich toegespitst op de vuiluitworp via overstorten vanuit gemengde stelsels en op de effecten van dergelijke lozingen op de kwaliteit van het ontvangende water. Hieraan gerelateerd is

IR. R. G. VELDKAMP
Vakgroep WMG, TU Delft



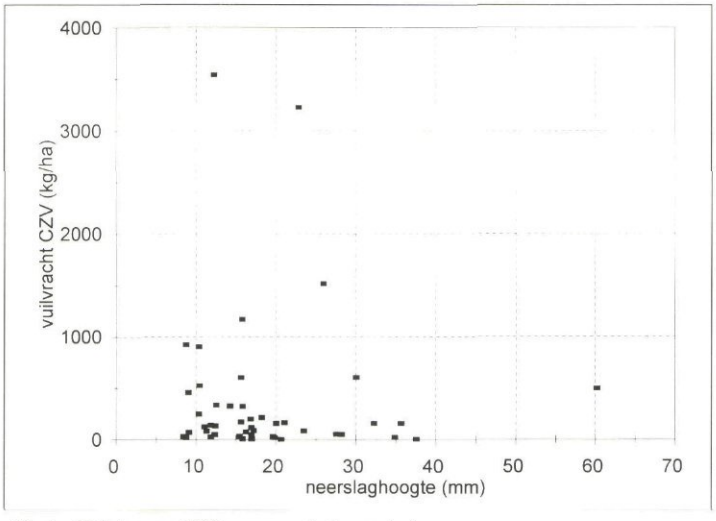
PROF. IR. J. B. M. WIGGERS
Vakgroep WMG, TU Delft

het onderzoek naar de werking van randvoorzieningen die immers tot doel hebben de vuiluitworp te reduceren. De resultaten zijn vastgelegd in een aantal rapporten [1, 2, 3]. De hier aangehaalde onderzoeken zijn uitgevoerd in Amersfoort, Bodegraven, Kerkrade, Loenen en Oosterhout.
De monsters van het overstortende water zijn geanalyseerd op BZV, CZV, Kjeldahl-N, totaal-P en het droge-stofgehalte.
De gegevens van Bodegraven zijn buiten beschouwing gelaten bij het opzetten van het vuiluitworpmodel omdat bij 11 van de 33 buien de overstortrand als een verdronken overlaat heeft gewerkt en de meetresultaten derhalve onbetrouwbaar zijn.
Na afloop van het NWRW-onderzoek ontstond de wens om de resultaten operationeel te maken. Vooral op het gebied van de vuiluitworp drong langzaam de overtuiging door dat de overstortingsfrequentie niet langer uitsluitend het instrument was om beleidsmaatregelen op te baseren.
Het bepalen van een overstortingsfrequentie zegt immers niets over de werkelijke belasting van het oppervlaktewater. De grootte van de vuilemissies is onbekend, evenals de spreiding in de tijd. Dit heeft geleid tot het ontstaan van een veelheid aan vuiluitworpmodellen. De term wildgroei geeft in dit verband wellicht de ontwikkeling het beste weer. Ook in een der NWRW-rapporten [1] is een vuilemissiemodel beschreven. Dit model heeft nooit een brede toepassing gekregen in de rioleringswereld.

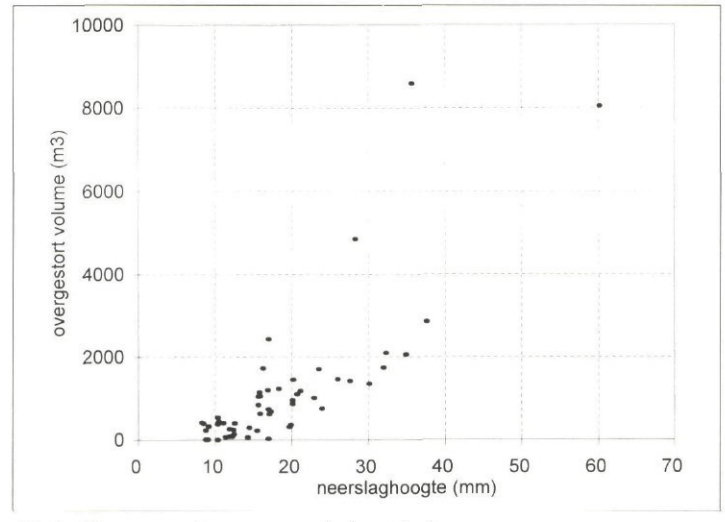
Als basis voor de ontwikkeling van het in dit artikel beschreven model is gebruik gemaakt van de meetgegevens van de thema's 5 en 8 van het NWRW-onderzoek. Deze gegevens zijn onderworpen aan een uitgebreide controle op volledigheid, juistheid e.d. alvorens met de ontwikkeling van een model werd begonnen [5].
Een eerste aanzet tot een andere, meer probabilistische benadering van vuilemissies is beschreven door Wiggers [4]. Het nu gepresenteerde model is een uitvloeisel van deze benadering. Met behulp van het model kunnen uitspraken worden gedaan over extreem grote vuilemissies die met een bepaalde frequentie worden overschreden. Het zijn juist deze vuilemissies die in hoge mate de kwaliteit van het oppervlaktewater (kunnen) bepalen.

De black-box benadering

Het NWRW-onderzoek is destijds opgezet als een black-box onderzoek. Daarmee wordt bedoeld dat aan het rioolstelsel, inclusief alle processen die zich in het stelsel afspelen en die mogelijkerwijs van invloed kunnen zijn op de vuiluitworp, geen metingen zijn verricht. Alleen de input en output zijn gemeten, de input in de vorm van neerslag, de output in de vorm van waterstanden en analyses aan monsters. Er is dus indertijd gekozen voor een stochastische in plaats van een deterministische benadering van de emissieproblematiek. Het ligt dan ook voor de hand om de resultaten met statistische methoden te evalueren.
Allereerst is nagegaan of een eenvoudig verband bestaat tussen input en output zonder enige kennis van de onderliggende processen die de vuiluitworp beïnvloeden. In eerste instantie valt te denken aan een verband tussen de neerslaghoogte en de vuiluitworp, immers als de vuiluitworp is te voorspellen uit de neerslaghoogte dan is met behulp van een eenvoudige regenmeter voor elke bui de resulterende vuiluitworp te berekenen. Voor de CZV-vrachten van Loenen is een dergelijk verband in afbeelding 1 uitgezet. Hieruit blijkt overduidelijk dat de vuiluitworp aan CZV op geen enkele manier is te relateren aan de neerslaghoogte. Eenzelfde beeld wordt gevonden voor de andere vuilpara-



Afb. 1 - Vuiluitworp CZV tegen neerslaghoogte in Loenen.

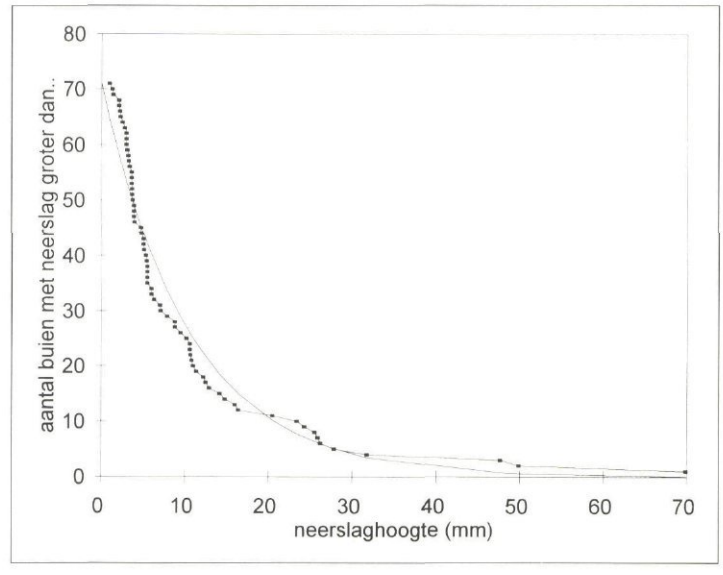


Afb. 2 - Overgestort volume tegen neerslaghoogte in Loenen.

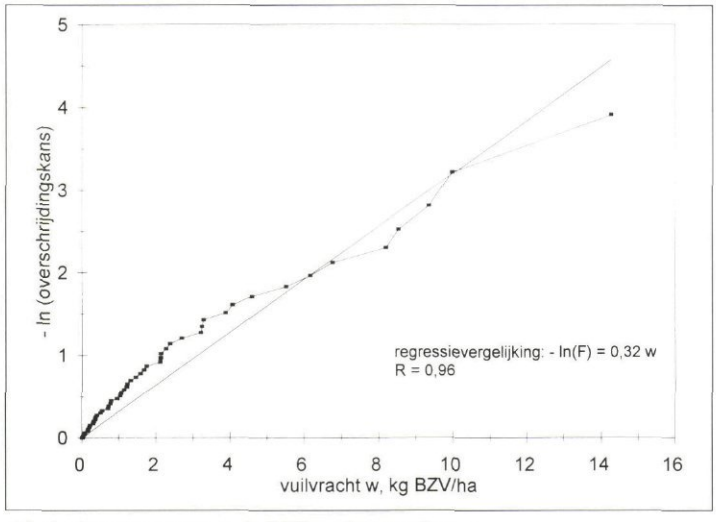
meters en voor de overige locaties.
In plaats van de vuilvracht kan het overgestorte volume worden uitgezet tegen de neerslaghoogte zoals wordt geïllustreerd in afbeelding 2 met de overgestorte volumes van Loenen. Ook nu blijkt tussen beide grootheden geen enkele relatie te bestaan. Wanneer de neerslaghoogte wordt vervangen door de gemiddelde regenintensiteit (gemiddeld over de buiduur) wordt het verband nog slechter.
Het is daarom niet mogelijk om de vuiluitworp rechtstreeks uit neerslagmetingen af te leiden. Dat er tussen deze grootheden geen verband bestaat wordt veroorzaakt door allerlei processen, zoals bezinking en opwoeling, die zich met een grote mate van willekeur in het stelsel afspelen.

Normering vuiluitworp
Om de vuilvrachten van de verschillende onderzoekslocaties met elkaar te kunnen vergelijken moet rekening worden gehouden met het gegeven dat de afvoerende verharde oppervlakken aanzienlijk van elkaar verschillen. De hoeveelheid vuil die bij een bepaalde bui in Kerkrade afspoelt zal altijd groter zijn dan in Loenen bij eenzelfde type bui. Het totale verhard oppervlak in Kerkrade is dan ook bijna het viervoudige van dat in Loenen. Om de vuilvrachten vergelijkbaar te maken moet de vuiluitworp worden genormeerd tot vergelijkbare getallen. Dit kan door de vuiluitworp te delen door het afvoerend verhard oppervlak van de betreffende locatie. De genormeerde vuiluitworp wordt uitgedrukt in kg/ha.
$W = w \cdot F_v$
W = de vuilvracht van het hele gebied (kg)
w = de genormeerde vuilvracht (kg/ha)
F_v = het afvoerend verhard oppervlak (ha)

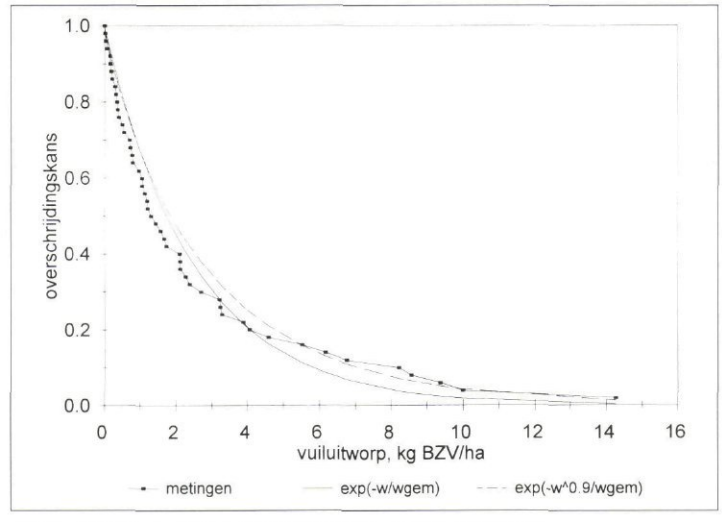
Verdelingsfunctie van vuilvrachten
Uit de hydrologie is bekend dat de frequentieverdeling van neerslagen is te beschrijven met de exponentiële verdeling:
$n = N \cdot \exp(-R/R_{gem})$
n = het aantal keren dat de neerslag R wordt overschreden
N = het aantal neerslagen in de verzameling
R = de neerslaghoogte (mm)
R_{gem} = de gemiddelde neerslaghoogte per bui (mm)
Gedurende het NWRW-onderzoek zijn alleen die buien geregistreerd die hebben geleid tot een overstorting. Zo zijn bijvoorbeeld in Kerkrade 71 buien geregistreerd gedurende een onderzoekperiode van 1 jaar. De neerslaghoogtes van deze 71 buien zijn weergegeven in afbeelding 3, samen met de curve voor de eerder gegeven exponentiële verdeling. Uit de afbeelding is af te lezen dat de curve goed overeenkomt met de metingen.
Omdat vuilemissies het gevolg zijn van hevige buien, worden (in analogie met de neerslag) de genormeerde vuilvrachten van elke onderzoekslocatie als een verzameling stochastische variabelen beschouwd.
Voor het te ontwikkelen model wordt aangenomen dat de verzameling vuilvrachten is te beschrijven met een vooralsnog onbekende verdelingsfunctie F volgens de algemene notatie:
$F(x) = \exp(-x/\sigma)$ als $x > 0$
$F(x) = 1$ als $x \leq 0$
Bij het vertalen van bovenstaande algemene vergelijkingen van de exponentiële verdeling naar een expliciet model voor de vuiluitworp wordt voor de stochastische variabele x de genormeerde vuilvracht w ingevuld en voor de schaalparameter σ de per bui gemiddelde genormeerde vuilvracht $\bar{w}$.
Overigens is alleen de eerste vergelijking van toepassing omdat de vuilvrachten altijd positief zijn.
Vertaald naar vuilvrachten wordt het model:
$F(w) = \exp(-w/\bar{w})$
F(w) = de overschrijdingskans van vuilvracht w, een getal tussen 0 en 1



Afb. 3 - Frequentieverdeling neerslag Kerkrade.



Afb. 4 - Lineaire regressie op de BZV-vrachten van Loenen.



Afb. 5 - Het exponentiële model voor de BZV-vrachten van Loenen.

w = de genormeerde vuilvracht (kg/ha)
$\bar{w}$ = de per bui gemiddelde genormeerde vuilvracht (kg/ha)

Wanneer deze vergelijking wordt vermenigvuldigd met het totale aantal geregistreerde buien (N) dan verandert het dimensieloze getal F(w) in het aantal buien (n) dat een grotere vuilvracht oplevert dan de beschouwde vuilvracht w:
$n = N \cdot \exp(-w/\bar{w})$

Het exponentiële model
Uit de hiervoor gegeven vergelijking van het exponentiële model kan worden afgeleid:
$\ln(F) = -w/\bar{w}$
In een bepaald stelsel heeft de grootheid $\bar{w}$ voor een bepaalde vuilparameter een constante waarde. In hoeverre de frequentieverdeling van de werkelijke vuilvrachten aan de exponentiële verdeling beantwoordt kan worden onderzocht door het uitvoeren van een lineaire regressie op de negatieve natuurlijke logaritme van de overschrijdingskans.
$-\ln(F)$ = constante x w
Dit is de vergelijking van een rechte door de oorsprong. Voor de BZV-metingen van Loenen staat het resultaat van de regressieberekening in afbeelding 4. De regressielijn kent (N-1) vrijheidsgraden omdat het punt (0,0) tot de verzameling moet behoren.
De correlatiecoëfficiënt is 0,96, een alleszins acceptabele waarde. Voor Kerkrade en Oosterhout worden vergelijkbare waarden gevonden.
In afbeelding 5 zijn de BZV-vrachten van Loenen in een frequentieverdeling uitgezet. De theoretische exponentiële verdeling is als een getrokken lijn getekend. Het blijkt dat buien met een vuiluitworp kleiner dan 4 kg BZV/ha onder de theoretische curve liggen en alle buien met een grotere vuilvracht erboven. Het interessante gebied wordt gevormd door de extreem hoge vuilvrachten. Een nadere bestudering van de afbeelding laat zien dat juist in dit gebied de exponentiële curve enigszins afwijkt van de metingen. Deze afwijking wordt mede bepaald door de overmaat aan kleine buien in de verzameling, buien die wel meedoen maar die in feite niet interessant zijn voor de problematiek van extreem hoge vuilemissies. Door een gedeelte van de kleine buien niet mee te rekenen zal de curve beter aansluiten bij de extreme waarden.
Een probleem vormt echter het vaststellen van een drempelwaarde waarbij alleen de vuilvrachten boven die drempelwaarde meetellen. Zo'n drempelwaarde verschilt van verzameling tot verzameling en is bovendien zonder grondige kennis van de onderliggende statistiek moeilijk vast te stellen.
Het blijkt echter dat een kleine modificatie op het exponentiële model tot het gewenste resultaat leidt:
$F = \exp(-w^{0,9}/\bar{w})$
Door de vuilvrachten met een exponent 0,9 te verheffen vindt een verschuiving plaats van het theoretische model in de richting van de extreme vuilvrachten. In afbeelding 5 is dit aangegeven met de onderbroken lijn. Deze lijn blijkt veel beter aan te sluiten bij de extreme waarden.
Het model is vervolgens gekalibreerd op de gegevens van Kerkrade en Oosterhout. Ook voor deze stelsels worden de extreme vuilvrachten goed benaderd met het gemodificeerde exponentiële model.
Met behulp van dit model is het mogelijk om voor elke gewenste vuilvracht de overschrijdingskans te berekenen mits de gemiddelde genormeerde vuilvracht van het beschouwde stelsel bekend is.
De genormeerde vuilvracht kan naar de totale vuilvracht worden omgerekend door vermenigvuldiging met het naar de overstort afvoerend verharde oppervlak (F_v).

De gemiddelde vuilvracht per overstorting
Om met het exponentiële model te kunnen werken is het nodig dat de gemiddelde vuilvracht van het te onderzoeken gebied bekend is (waar in het vervolg wordt gesproken over vuilvrachten wordt de genormeerde vuilvracht per eenheid van verhard oppervlak bedoeld).
De BZV-vrachten van de verschillende onderzoekgebieden staan in tabel I.

TABEL I - *Gemiddelde BZV-vrachten in kg/ha.*

Locatie	Aantal buien	SR3	NWRW
Amersfoort	17	2,4	-
Kerkrade	69	2,9	3,9
Loenen	50	2,5	2,5
Oosterhout	40	2,8	4,1
Bodegraven	21	2,8	1,7

Ter vergelijking zijn ook de vrachten uit het NWRW-rapport 5.2 in de tabel geplaatst. Voor een uitgebreide toelichting op de verschillen in de cijfers wordt verwezen naar rapport [6].
Het blijkt dat de getallen verrassend dicht bij elkaar liggen. De bandbreedte waarbinnen de vuilvrachten liggen bedraagt slechts 0,5 kg/ha.
Bij de berekening van de vuilvrachten hebben tal van factoren een zekere foutenmarge. De meting van de waterhoogte nabij de overstortdrempel, het toepassen van een standaard afvoerformule voor een niet geijkte overlaat, de niet altijd representatieve monstername en de spreiding in de analyseresultaten zijn de meest voor de hand liggende factoren die in dit verband genoemd kunnen worden. Optelling van deze foutenbronnen geeft hoogstwaarschijnlijk een marge die even groot is als de bandbreedte van de BZV-vrachten in tabel I. Dit maakt het mogelijk om voor de genormeerde BZV-vracht één getal vast te stellen voor alle gemengde stelsels,

TABEL II – *Gemiddelde CZV-, droge stof, Kj-stikstof en totaal-P-vrachten.*

Locatie	CZV-vracht kg/ha	Droge stof vracht kg/ha	Kj-stikstof vracht kg/ha	totaal-P vracht kg/ha
Amersfoort	12,5	9,2	niet bepaald	niet bepaald
Kerkrade	11,3	25,9	0,5	0,12
Loenen	24,0	28,8	0,7	0,26
Oosterhout	11,7	9,5	0,5	0,18

ongeacht de layout. Als hiervoor 2,8 kg BZV/ha wordt gekozen, dan is met deze keuze impliciet een veiligheidsmarge ingebouwd. Op deze wijze is een landelijk geldend model binnen bereik voor overstortende BZV-vrachten:
$F(w) = \exp(-0{,}36\ w^{0{,}9})$
De gemiddelde vuilvrachten voor de overige vuilparameters staan in tabel II. Uit deze tabel blijkt dat de resultaten van Loenen zo op het oog significant afwijken van de andere stelsels, dit in tegenstelling tot de BZV-vrachten. In Loenen zijn enkele zeer hoge CZV-vrachten van meer dan 200 kg/ha gemeten, hoger dan de grootste CZV-lozing van Kerkrade terwijl van dat stelsel bekend is dat het bij hevige buien geheel schoonspoelt. Het afwijkend gedrag kan verklaard worden uit het gegeven dat van Loenen bekend is dat bij zeer hevige neerslag ook regenwater is afgespoeld van onverhard oppervlak, zoals maïsvelden.
De cijfers voor het droge-stofgehalte vormen een uitzondering, want nu liggen de uitkomsten van Kerkrade en Loenen dicht bij elkaar en beduidend hoger dan voor Amersfoort en Oosterhout. Voor deze vuilparameter is de topografie van het gebied van betekenis. Het stelsel van Kerkrade heeft steile hellingen en het stelsel van Loenen is licht hellend, in tegenstelling tot de overige stelsels. Hiermee is bij de opzet van het droge-stofmodel rekening gehouden. De te verwachten vuilvrachten met een bepaalde overschrijdingskans kunnen, afhankelijk van de beschouwde stof, met een eenvoudig emissiemodel worden berekend, zoals hierna zal worden aangetoond.

Toepassing van het exponentiële model
In het voorgaande gedeelte is bij het weergeven van de frequentieverdelingen op de verticale as steeds de overschrijdingskans F als een getal tussen 0 en 1 uitgezet. In de rioleringswereld is het gebruikelijk om overschrijdingskansen uit te drukken in herhalingstijden (ht), bijvoorbeeld de kans dat een gebeurtenis eens per 2 jaar optreedt.
Gebruikmakend van de betrekking:
$F = (of \cdot ht)^{-1}$
kan het model worden herschreven als:
$of \cdot ht = \exp(w^{0{,}9}/\bar{w})$
of = jaarlijkse overstortingsfrequentie, (j^{-1})
ht = herhalingstijd, (j)

Om het model op een willekeurig stelsel te kunnen toepassen moet dus de overstortingsfrequentie bekend zijn. Hieruit is af te leiden:

$$w = [\bar{w} \cdot \ln (of \cdot ht)]^{\frac{1}{0{,}9}} = [\bar{w} \cdot \ln (of \cdot ht)]^{1{,}11}$$

Het exponentiële model op zich is eenvoudig in het gebruik. Met het model kan een genormeerde vuilvracht in kg per ha verhard oppervlak worden berekend. Door vermenigvuldiging van de genormeerde vuilvracht met het verharde oppervlak is een extreme vuiluitworp te berekenen die (theoretisch) eens in de zoveel tijd wordt bereikt of overschreden (zie rekenvoorbeeld in kader).
Vervolgens moet worden beoordeeld of een dergelijke emissie zonder bezwaar op het oppervlaktewater nabij de overstort kan worden geloosd.
Hierbij moeten we echter niet uit het oog verliezen dat het model is gebaseerd op meetgegevens van stelsels met slechts één overstortdrempel. Voor dergelijke eenvoudige stelsels is het afvoerend verhard oppervlak vrij nauwkeurig vast te stellen. Toepassing van het model in rioolstelsels met meerdere overstorten is minder eenvoudig. In dergelijke stelsels zal een betrekkelijke kleine bui via één overstort worden afgevoerd, meestal de laagst gelegen overstort. Het afvoerend verhard oppervlak naar deze overstort is echter niet altijd eenduidig te bepalen. Nog gecompliceerder wordt het in de situatie waarbij meerdere overstorten aanspringen. Dit is het geval bij hevige buien waarbij, behalve de laagst gelegen overstort, ook een of meerdere overstorten boven in het stelsel in werking kunnen komen. De bepaling van de afvoerende verharde oppervlakken naar iedere overstort is dan niet eenvoudig. Onder dergelijke omstandigheden is het nog steeds heel goed mogelijk om de totale emissie uit het gehele stelsel te berekenen.

Rekenvoorbeeld

Gegeven is een stelsel met een naar de overstort afvoerend verhard oppervlak van 18,3 ha en een theoretische overstortingsfrequentie van gemiddeld 5x per jaar.
De gemiddelde BZV-uitworp per overstorting is 2,5 kg/ha.
Gevraagd wordt de BZV-vracht die eens per 2 jaar via de overstortdrempel op het ontvangende water of in een randvoorziening wordt geloosd.
Oplossing: De kans op een BZV-lozing die eens per 2 jaar wordt bereikt (of overschreden) is identiek aan de kans op het optreden van de grootste lozing in 2 jaar. Gedurende 2 jaar zullen er (theoretisch) 10 overstortingen plaatsvinden. De kans op het optreden van de grootste lozing is dus 1 op 10, oftewel 0,1.
Invullen van $F = 0{,}1$ en $\bar{w} = 2{,}5$ in het model geeft: $0{,}1 = \exp(w^{0{,}9}/2{,}5)$. Uit deze vergelijking volgt: $w = 7{,}0$ kg BZV/ha.
De totale vuiluitworp met een herhalingstijd van 2 jaar bedraagt dus 7 x 18,3 = 128,1 kg BZV.

Dezelfde uitkomst wordt gevonden met behulp van de formule:
$W = F_v \{\bar{w} \cdot \ln (of \cdot ht)\}^{1{,}11} =$
$18{,}3\ \{2{,}5 \times \ln (5 \times 2)\}^{1{,}11} = 128{,}1$ kg BZV.

Maar in grote stelsels waarvan de overstorten wijd verspreid in het gebied liggen en op verschillend oppervlaktewater lozen, kan het van belang zijn dat bekend is welk deel van de totale vracht via welke drempel verdwijnt. Wanneer alle overstorten op hetzelfde water lozen is een dergelijke onderverdeling waarschijnlijk overbodig. Er kunnen echter situaties optreden waarbij een enkele overstort loost op oppervlaktewater met een ecologische functie. De waterkwaliteitsbeheerder kan een exacte berekening van deze emissie eisen. In die gevallen moet de bijdrage van die bewuste overstort zo goed mogelijk worden geschat. Voor stelsels met meerdere overstorten is het exponentiële model niet altijd geschikt. Om voor die stelsels toch gebruik te kunnen maken van het model moet het gekoppeld worden aan hydraulische computerprogramma's waarmee het afvoerend oppervlak naar de diverse overstorten nauwkeuriger is te berekenen. De mogelijkheden van zo'n constructie vallen buiten het kader van dit artikel.
Voor alle vuilparameters zijn de emissie

TABEL III – *Emissiemodellen voor gemengde stelsels.*

	Alleen afvoer van verhard oppervlak	Kans op afvoer van onverhard oppervlak
BZV model	$of.ht = \exp(0{,}36\ w^{0{,}9})$	
CZV model	$of \cdot ht = \exp(0{,}08\ w^{0{,}9})$	$of \cdot ht = \exp(0{,}04\ w^{0{,}9})$
Kj-N model	$of \cdot ht = \exp(2\ w^{0{,}9})$	$of \cdot ht = \exp(1{,}5\ w^{0{,}9})$
Totaal-P model	$of \cdot ht = \exp(6\ w^{0{,}9})$	$of \cdot ht = \exp(4\ w^{0{,}9})$
	vlak stelsel en alleen afvoer van verhard oppervlak	hellend stelsel of kans op afvoer van onverhard oppervlak
Droge-stofmodel	$of \cdot ht = \exp(0{,}1\ w^{0{,}9})$	$of \cdot ht = \exp(0{,}035\ w^{0{,}9})$

modellen samengevat in tabel III. Voor het droge-stofgehalte zijn twee modellen van kracht, nl. voor vlakke resp. hellende stelsels. Als maatstaf voor het onderscheid tussen vlakke en hellende stelsels geldt dat van een hellend stelsel sprake is wanneer tenminste 50% van de rioolstrengen een helling heeft van meer dan 5‰. Zo niet, dan wordt het stelsel als vlak beschouwd. De grondslag voor dit onderscheid is gebaseerd op de stelsels uit het NWRW-onderzoek en wordt uitvoerig beschreven in [6].

	Gemiddelde genormeerde vuilemissie per overstorting		
	Vlak stelsel en alleen afvoer van verhard oppervlak	Hellend stelsel en alleen afvoer van verhard oppervlak	Vlak of hellend stelsel en kans op aanzienlijke afvoer van onverhard oppervlak
BZV	2,8 kg/ha	2,8 kg/ha	2,8 kg/ha
CZV	12,5 kg/ha	12,5 kg/ha	25,0 kg/ha
Kjeldahl-N	0,5 kg/ha	0,5 kg/ha	0,67 kg/ha
Totaal-P	0,17 kg/ha	0,17 kg/ha	0,25 kg/ha
Droge stof	10,0 kg/ha	28,6 kg/ha	28,6 kg/ha

Samenvatting en conclusies

- Het is niet mogelijk om overgestorte volumes te voorspellen uit neerslagcijfers omdat tussen beide grootheden geen eenduidige relatie bestaat. De twee belangrijkste storende factoren zijn vertragingsverschijnselsen en de nivellerende werking van de berging. Vertragingsverschijnselsen treden op bij de afvoer via het verhard oppervlak naar het stelsel en daarna in het stelsel zelf. De onderdrempelberging in het stelsel, eventueel in combinatie met een dynamische berging veroorzaken een verdere vervorming van het neerslagverloop. Naarmate deze storende factoren een grotere rol spelen, wordt de relatie tussen neerslag en overgestorte volumes zwakker. De vertragingsverschijnselen zullen zich het meest manifesteren in vlakke stelsels en de nivellerende werking zal het meeste merkbaar zijn in stelsels met een grote onderdrempelberging. Dit wordt bevestigd door de resultaten.
- Het is evenmin mogelijk om vuilvrachten uit neerslagcijfers te voorspellen. Allerlei processen die zich in het stelsel afspelen zoals bezinking en opwoeling hebben invloed op de vuilemissie. Onze kennis over deze processen is echter nog ontoereikend om hun invloed te vertalen naar emissies.
- Om de vuilemissies van verschillende onderzoeken met elkaar te kunnen vergelijken moet de emissie worden genormeerd door deze uit te drukken in kg per ha verhard oppervlak. Onder verhard oppervlak wordt in dit verband bedoeld het naar de beschouwde overstortdrempel afvoerende verhard oppervlak.
- De in dit onderzoek uitgevoerde vuiluitworpberekeningen geven resultaten die soms afwijken van de cijfers in de NWRW-rapporten. In onderstaande tabel zijn de gemiddelde genormeerde vuilemissies in kg/ha gegeven. Het exponentiële model is gebaseerd op deze getallen.
- Voor een gemengd rioolstelsel voldoet de frequentieverdeling van de vuilemissie van afzonderlijke buien, uitgedrukt in kg/ha verhard oppervlak, aan een exponentieel model.
- Voor BZV-emissies is de correlatie tussen het model en de onderzoeksresultaten zeer goed met correlatiecoëfficiënten variërend van 0,96 tot 0,98. Voor CZV-emissies is de correlatie iets minder goed, met correlatiecoëfficiënten tussen 0,72 en 0,97.
- Voor het berekenen van extreme vuilemissies uit een willekeurig gemengd stelsel moet de werkelijke overstortingsfrequentie bekend zijn. De te gebruiken formule luidt:

$$W = F_v\,[\bar{w}\cdot \ln(of.ht)]^{1,11}\ (kg)$$

- De vuiluitworp aan BZV kan voor elk stelsel met een enkel model worden beschreven. Voor de andere vuilparameters moet een onderscheid worden gemaakt tussen enerzijds vlakke of hellende stelsels (drogestof) en anderzijds de kans dat bij hevige neerslag ook afvoer van onverhard oppervlak kan optreden (CZV, Kjeldahl-stikstof en totaal-P).
- Het hiervoor gepresenteerde exponentiële model is gebaseerd op metingen aan stelsels met slechts één overstort. Toepassing van het model op stelsels met meerdere overstorten is niet zonder meer mogelijk, tenzij men een heel duidelijk beeld heeft van de verharde oppervlakken die naar de overstorten afvoeren. In de regel zal een onderverdeling van het totale verharde oppervlak in deeloppervlakken die naar een bepaalde overstort afvoeren alleen met behulp van hydraulische computerprogramma's kunnen worden bepaald.

Slotopmerking

In het onderhavige artikel is vrij uitvoering ingegaan op de theoretische beschrijving van het vuiluitworpmodel, waarbij onder meer is toegelicht op welke onderzoekgegevens het model is gebaseerd en op welke wijze het model tot stand is gekomen. Dit artikel biedt niet de ruimte om dieper in te gaan op praktische toepassingen van het vuiluitworpmodel. Het ligt in de bedoeling om in een later te verschijnen artikel de lezer een idee te geven van de mogelijkheden die het model biedt in praktijksituaties.
Het in dit artikel beschreven model is beschikbaar als computerprogramma onder de naam EXTREM. Het is geschikt voor alle Windows versies: Windows 3.x, Windows 95 en Windows NT. Voor geïnteresseerden is het programma EXTREM inclusief het bijbehorende rapport [6] verkrijgbaar bij de Stichting RIONED.

Literatuur

1. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit, NWRW-rapport 5.2: *De vuiluitworp van gemengde rioolstelsels*, april 1989.
2. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit, NWRW-rapport 8.1: *Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin Amersfoort*, februari 1987.
3. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit, NWRW-rapport 8.2: *Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin Kerkrade*, augustus 1986.
4. Wiggers, J. B. M. (1991). *Overleeft de overstortingsfrequentie?* H_2O (24) 1991, nr. 6, p. 152-156.
5. Veldkamp, R. G.: *Sewer Overflow Pollution – Standardized research data of the NWRW project 1982-1989*, RIONED rapport deelproject SR1, juni 1995.
6. Veldkamp, R. G.: *Een statistisch model voor de vuiluitworp van gemengde rioolstelsels*, RIONED rapport deelproject SR3, maart 1996.

● ● ●

Summaries

• *End of page 405.*

H_2O (30) 1997, nr.13; 430

C. ROOS and L. J. HOOIJKAAS:

Possibilities to improve the water quality in Leeuwarden

Water quality in urban areas very often need improvement. In the city of Leeuwarden (80,000 inhabitants), situated in the Dutch province of Friesland, possibilities for improvement were carefully studied. High background levels of nutrients and micro pollutants in the larger urban water bodies (directly connected to the provincial reservoir system) prevent local measures such as WWTP effluent posttreatment from being effective. The smaller waters, separated from the aforementioned reservoirs, offer better possibilities for improvement by local measures, such as sewerage overflow reduction and the sanitation of contaminated sediments. Beside technical measures, political fine-tuning result in a more integrated water management and therefore contributes to water quality improvement.