

De proef op de som; effectvoorspelling en beoordeling van rioolwaterlozingen

Inleiding

De gangbare praktijk om de gevolgen van rioolwaterlozingen (overstortingen) af te meten aan de overstortingsfrequentie is door het NWRW-onderzoek op losse schroeven gezet. Niet het aantal gebeurtenissen is maatgevend, maar de jaarlijkse vuillast en de zwaarte van de afzonderlijke overstortingen bepalen of de gevolgen acceptabel zijn of niet [1].

Een goede alternatieve benadering is met deze conclusie echter nog niet gegeven.



IR. J. W. VAN SLUIS
DHV Water BV,
Adviesgroep Integraal
Waterbeheer

De vuiluitwerp als maat heeft het voordeel dat niet alle gebeurtenissen over één kam worden geschoren, maar gaat nog steeds voorbij aan de grote verscheidenheid van de ontvangende oppervlaktewateren en de daarmee samenhangende verschillen in effecten.

Voor een beoordeling die uitgaat van het ontvangende oppervlaktewater, is een kwantitatieve voorspelling van de effecten op de waterkwaliteit onontbeerlijk. Hieronder wordt een globale methodiek voor de voorspelling van effecten op de zuurstofhuishouding geïntroduceerd. Vervolgens wordt ingegaan op de wijze van beoordeling van de effecten. Tenslotte wordt in de vorm van conclusies een – voorlopige – balans opgemaakt.

Een globale kwantitatieve methodiek voor effectvoorspelling

Aard van de te beschouwen effecten

De effecten van rioolwaterlozingen op de waterkwaliteit zijn zeer verschillend van aard. Voor een voorspellingsmethode die hanteerbaar en acceptabel is, moeten de optredende verschijnselen verregaand worden vereenvoudigd. Vraag is dan: welke grootheden en processen moeten in het simulatiemodel worden meegenomen? Het is voor het hier gestelde doel gerechtvaardigd om het zuurstofgehalte van het oppervlaktewater als sleutelparameter te nemen. Het verloop van deze grootheid weerspiegelt vele voor het ecologisch functioneren van het oppervlaktewater essentiële processen of vormt er een randvoorwaarde voor [2].

Voor toxische en/of in het milieu accumulerende stoffen, bijvoorbeeld zware metalen en organische microverontreinigingen, geldt dit niet. Het is echter gebruikelijk om de lozing van dergelijke stoffen, die voorkomen op de zogenaamde

Samenvatting

De verscheidenheid van de oppervlaktewateren waarop rioolwaterlozingen plaatsvinden brengt met zich mee dat voor de beoordeling van deze emissies een waterkwaliteitsbenadering moet worden gevolgd. Dit is van bijzonder belang voor de gevolgen voor de zuurstofhuishouding, die zich kort na de lozing manifesteren. In dit artikel wordt een eenvoudig hanteerbaar simulatiemodel voor deze effecten gepresenteerd en getoetst aan in de overstortvijver te Loenen verricht onderzoek. Toepassing van dit model op de emissiegegevens van een meerjarige reeks van overstortingen leidt tot de conclusie dat niet op eenduidige wijze een maatgevende gebeurtenis uit zo'n reeks kan worden gekozen. Dit betekent dat voor de beoordeling van rioolwaterlozingen steeds moet worden uitgegaan van een – lange – representatieve reeks van gebeurtenissen. Verder wordt geconstateerd dat bij de toetsing aan de norm voor opgeloste zuurstof de aspecten tijd en ruimte in aanmerking moeten worden genomen.

'zwarte lijst', niet via een waterkwaliteitsbenadering, maar via een emissiebenadering aan te pakken op basis van de uitwerp van deze soorten stoffen.

Het laatste valt buiten het bestek van dit artikel.

Uit de processen van de zuurstofhuishouding kunnen de kenmerken van de rioolwaterlozing die relevant zijn voor de effecten op het zuurstofgehalte worden afgeleid. Deze processen verlopen in grote lijnen als volgt. Na een stootsgewijze lozing zal het zuurstofgehalte in het oppervlaktewater door de in gang gezette biologische omzettingen in het algemeen gaan dalen. Na verloop van tijd worden deze omzettingen minder intensief en treedt er op zeker moment een herstelfase in. Op dat moment bereikt het zuurstofgehalte een minimumwaarde.

Dit minimum vertegenwoordigt de meest kritieke omstandigheden die zich na een overstorting voordoen. Echter niet alle geloosde zuurstofverbruikende stoffen worden direct afgebroken. Een deel bezinkt nabij de overstort en wordt slechts

langzaam in het sediment gemineraliseerd, zodat bij iedere overstorting een zekere hoeveelheid vervuild bodemslib wordt opgewoeld.

De processen in de waterfase spelen zich binnen betrekkelijk korte tijd na de gebeurtenis af [3]. Korte termijn effecten hangen daardoor vooral samen met de afzonderlijke gebeurtenissen. Er is echter ook sprake van lange termijn effecten, die zijn gerelateerd aan de totale jaarlijkse belasting van het oppervlaktewater. Voor de zuurstofhuishouding zijn beide tijdschalen van belang, omdat de – langzame – ophoping van bodemslib via opwoeling en onttrekking van zuurstof aan het bovenstaande water weer van invloed is op de – snelle – uitputting van opgeloste zuurstof na een overstorting (afb. 1).

Kenmerken van de rioolwaterlozingen

In relatie met de zuurstofhuishouding is het biochemisch zuurstofverbruik (BZV) de aangewezen grootheid om de vervuilingsgraad van het geloosde water in uit te drukken. Het voordeel van een –

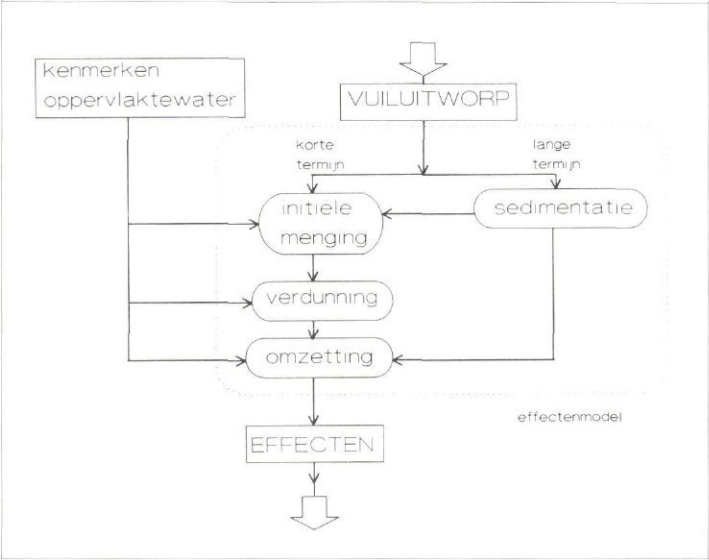
De aandacht voor het stedelijk waterbeheer is sterk groeiende. De nadelige gevolgen van rioolwaterlozingen voor het oppervlaktewater vormen daarbij een belangrijk discussiepunt. De beoordeling van deze gevolgen is al geruime tijd in discussie, maar een algemeen geaccepteerde benadering is nog niet gevonden.

De waterkwaliteitsbeheerders zijn gewend zo'n oordeel te vellen op grond van de theoretische overstortingsfrequentie, daarbij al dan niet rekening houdend met de omvang van het ontvangende oppervlaktewater. In de provinciale waterhuishoudingsplannen is een tendens aanwezig om de rioolwaterlozingen met algemeen geldende eisen aan de dimensionering van het stelsel, randvoorzieningen, enz. te beteugelen. Deze eisen zijn gericht op reductie van de vuiluitwerp in plaats van op de overstortingsfrequentie als zodanig.

Oppervlaktewateren waarop overstorten en regenwateruitlaten lozen, verschillen sterk qua afmeting en doorstroming. Door deze verschillen zullen algemeen geldende eisen aan de dimensionering van het rioolstelsel in het ene geval tot een acceptabele waterkwaliteit leiden, in het andere niet.

Dit is uit oogpunt van waterkwaliteitsbeheer zeer onbevredigend.

Het ontbreekt aan een beoordelingsmethode voor rioolwaterlozingen waarbij expliciet wordt uitgegaan van de aard en de functie van het ontvangende oppervlaktewater. De waterbeheersplannen zouden aan realiteitswaarde winnen, wanneer deze invalshoek zou worden gekozen. Dit artikel beoogt een bijdrage te leveren aan het totstandkomen van een waterkwaliteitsbenadering voor rioolwaterlozingen. Dit gebeurt aan de hand van de gegevens uit diverse NWRW-onderzoeken aan het rioolstelsel en de overstortvijver te Loenen. Hoewel de situatie in Loenen een gemengd rioolstelsel betreft, is de gepresenteerde benadering toepasbaar voor rioolwaterlozingen in het algemeen.



Afb. 1 - Structuur van het effectenmodel.

duidiger en snellere meting van grootheden als het CZV weegt niet op tegen de interpretatieproblemen die eraan kleven. Zowel de bezinkbare als de niet-bezinkbare fractie van het BZV moeten bekend zijn om de processen in water en sediment te kunnen voorspellen.

Behalve qua vervuilingsgraad verschillen rioolwaterlozingen onderling in volume en duur van de gebeurtenis. De effecten op het oppervlaktewater worden bepaald door een gecompliceerd en ondoorzichtig samenspel van deze factoren, waardoor op voorhand niet is aan te geven welke factor of welke gebeurtenis maatgevend is.

Daarom moeten voor een realistisch effectenbeeld in beginsel de gevolgen van een lange (meerjarige) representatieve reeks van gebeurtenissen worden beschouwd. Aan de hand van het effectenbeeld voor Loenen zal hieronder worden aangetoond dat dit de juiste benadering is.

Uitgangspunten voor de effectbeschrijving

Een dynamische kwaliteits- en kwantiteitssimulatie van een oppervlaktewater van enige omvang voor een groot aantal overstortingsgebeurtenissen vergt een grote hoeveelheid invoergegevens en kost veel rekentijd. Om het rekenwerk binnen de perken te houden moet daarom naast een vereenvoudigde procesbeschrijving een verregaande schematisatie van het oppervlaktewater worden toegepast. De hier aangehouden schematisatie is afgestemd op de in Nederland meest voorkomende typen overstortingsituaties, te weten die op kleine, semi-stagnante oppervlaktewateren, zoals sloten, vaarten, stadssingels en kleine

beken [4]. Dit heeft geresulteerd in de volgende concrete uitgangspunten voor de effectbeschrijving:

- 1. de effecten worden bepaald voor een al dan niet door stroming meegevoerde prop vervuild water;
- 2. de effecten worden afgemeten aan het na een gebeurtenis in deze prop optredende minimale zuurstofgehalte;
- 3. het overstortingsdebiet en de concentraties van de vervuiling variëren niet binnen de duur van een gebeurtenis;
- 4. bij een overstorting wordt het afgezette bodemslib geheel of gedeeltelijk opgewoeld, waarbij het interstitiële water met het overstortwater wordt vermengd;
- 5. voor alle gebeurtenissen gelden eenzelfde bovenstrooms debiet en eenzelfde achtergrondkwaliteit.

Modelkeuze

In het simulatiemodel zijn de volgende achtereenvolgens verlopende processen opgenomen:

- 1. momentane menging van overstortwater met het oppervlaktewater voor de overstort en opwoeling van oud rioolslib;
- 2. verduunning door eventueel toestromend oppervlaktewater tijdens de overstorting;
- 3. processen van de zuurstofhuishouding: bezinking, biologische afbraak, zuurstof-

overdracht vanuit de atmosfeer en bodemzuurstofverbruik. Voor de zuurstofhuishouding (3) is een vergelijking van het Streeter-Phelps-type gebruikt, waarin extra termen voor bezinking en zuurstofverbruik door het bodemslib zijn opgenomen [5]. De waarden van de procesparameters zijn in hoofdzaak gebaseerd op het onderzoek van de LUWageningen in de overstortvijver te Loenen [6 en 7]. Zie tabel I. Het korte termijn zuurstofverbruik van het bezinkbare BZV is buiten beschouwing gelaten, omdat dit materiaal in semi-stagnant water zeer snel sedimenteert. Alleen in snelstromend oppervlaktewater zou dit niet gerechtvaardigd zijn, aangezien het materiaal onder die condities lang in suspensie blijft. Het lange termijn effect van bezinkbaar BZV komt tot uitdrukking via de activiteit van het bodemslib. Dit is gemodelleerd in de vorm van initiële verhoging van het BZV-gehalte door opmenging met interstitieel water tijdens de lozing en door een permanent bodemzuurstofverbruik tijdens de biologische afbraak. De in een jaar op de bodem afgezette hoeveelheid rioolslib bepaalt de hoogste waarde die de opwoelingsterm kan aannemen. De hydrodynamische condities zijn in het model niet in detail beschreven. Het is goed denkbaar dat bijvoorbeeld relaties tussen de opwoeling en de stroomsnelheid en afmetingen van het ontvangende water expliciet zouden moeten worden opgenomen. Deze relaties kunnen echter niet op bevredigende wijze uit de beschikbare NWRW-gegevens [7] of uit andere literatuur worden bepaald.

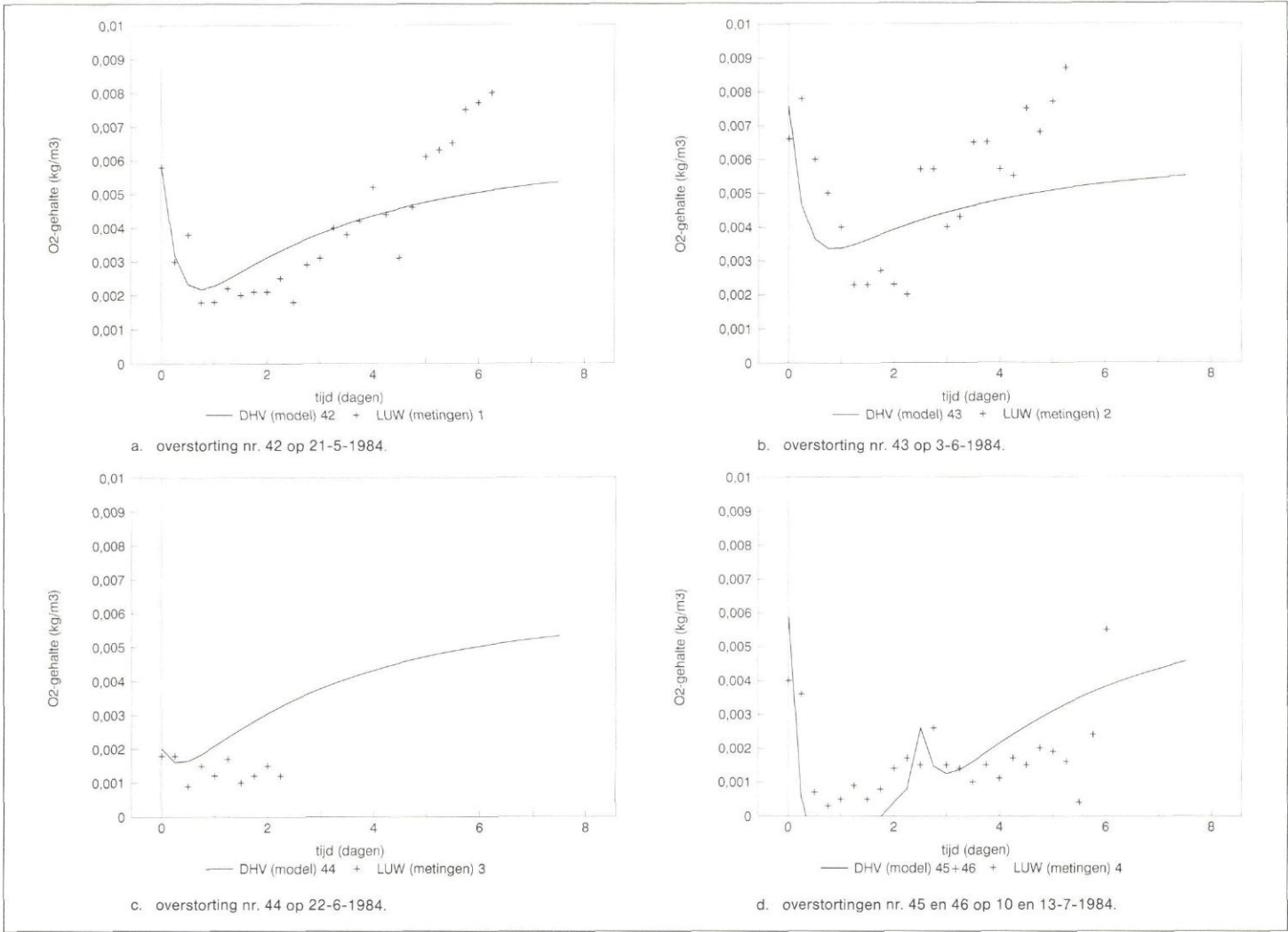
Modeltoetsing

In de periode 1981-1984 zijn voor STORA en NWRW de overstortingen uit het rioolstelsel van Loenen bemonsterd [10]. In 1984 is bovendien bij een aantal gebeurtenissen het zuurstofgehalte in het oppervlaktewater gevolgd [6]. Het bovenbeschreven simulatiemodel is getoetst aan de hand van vijf opeenvolgende overstortingen in de zomer van 1984 (nrs. 42 t/m 46). Twee van deze overstortingen vonden kort na elkaar

TABEL I - De parameterwaarden van het effectenmodel.

Auteur		v.Straten [8]	NWRW-thII [9]	LUW [6, 7]	DHV
referentie		Utr. Vecht		vijver Loenen	vijver Loenen
oppervlaktewater	eenheid				
BZV-afbraaksnelheid (k_d)	d ⁻¹	0,37 *	0,35 *	0,7 **	0,7 **
BZV-bezinksnelheid (k_b)	d ⁻¹	0	0	variabel	3 **
reaërationsnelheid (k_a)	d ⁻¹	< 0,1	0,3-0,45	0,185	0,3
bodemzuurstofverbruik (SOD)	g/m ² · d	1-2,5	0,8	0,12	1,2 ***

* betrokken op totaal BZV
** betrokken op (in 60 minuten) niet-bezinkbaar BZV
*** zie toelichting in de tekst



Afb. 2a t/m 2d - Gemeten (+) en berekende (—) zuurstofgehalten in de periode kort na een overstorting.

plaats, waardoor de effecten elkaar ten dele overlappen. De resultaten en waarnemingen worden hieronder beschreven (afb. 2a t/m 2d).

De overeenkomst tussen de waargenomen¹ en de voorspelde zuurstofconcentraties is zeer redelijk te noemen, zeker als men zich realiseert dat in dit model slechts enkele belangrijke processen en verschijnselen in rekening zijn gebracht. Dit resultaat is bereikt met parameterwaarden voor de bezinksnelheid en de oxydatieve afbraak van BZV die sterk afwijken van in waterkwaliteitssimulaties gangbare waarden. Deze parameterwaarden zijn door de LUW uit de veldwaarnemingen in Loenen afgeleid [6]. De bezinking en de afbraak van de verse vervuiling uit de riolering verlopen kennelijk veel sneller dan bijvoorbeeld de

eliminatie van restvervuiling van een biologische rwzi. In de Loenense overstortvijver treedt zuurstofloze kwel op. In het LUW-model is dit verschijnsel expliciet opgenomen; in

het hier beschreven model is deze kwel verdisconteerd in het zuurstofverbruik van het bodemslib. Tenslotte verdient het verloop van de simulatie bij lage zuurstofconcentraties

TABEL II - Gevoeligheidsanalyse.

gevarieerde modelparameter	Absoluut (mg/l)	Minimum zuurstofgehalte		
		Relatief ten opzichte van		
		zuurstof- verzadiging	minimum- waarde	norm stads- wateren
werkpunt	1,4			
20% lagere waarde				
BZV-oxidatiesnelheid (k_d)	1,9	5%	36%	17%
BZV-bezinksnelheid (k_b)	1	- 4%	- 29%	- 13%
reaëratiesnelheid (k_a)	1,2	- 2%	- 14%	- 7%
bodemzuurstofverbruik (SOD)	1,5	1%	7%	3%
maximale sliblaag (dikte)	1,7	3%	21%	10%
20% hogere waarde				
BZV-oxidatiesnelheid (k_d)	0,8	- 7%	- 43%	- 20%
BZV-bezinksnelheid (k_b)	1,8	4%	29%	13%
reaëratiesnelheid (k_a)	1,7	3%	21%	10%
bodemzuurstofverbruik (SOD)	1,3	- 1%	- 7%	- 3%
maximale sliblaag (dikte)	1,1	- 3%	- 21%	- 10%

¹ De meetgegevens zijn ter beschikking gesteld door de Sectie Waterkwaliteitsbeheer van de Vakgroep Natuurbeheer van de LU Wageningen, die het onderzoek heeft uitgevoerd.



enige toelichting. Er is geen rekening gehouden met afname van de afbraak-snelheid van BZV bij zuurstofloosheid.

Hierdoor zou de zuurstofloze periode langer worden. Omdat dit effect gering is, is hiervoor voorsnag niet gecorrigeerd.

Gevoeligheidsanalyse

Voor een analyse van de gevoeligheid van de respons is een vijftal procesparameters met 20% gevarieerd. Het resultaat is in tabel II gepresenteerd.

Het minimale zuurstofgehalte reageert in absolute zin weinig op de aangebrachte variaties. Vergeleken met de grenswaarde van de Algemene Milieukwaliteit (AMK) voor opgeloste zuurstof in stadswateren is de verandering echter aanzienlijk.

De snelheid van de biologische oxydatie is de meest gevoelige parameter. De bezink-snelheid, de reaëratiecoëfficiënt en de dikte van de opgewoelde laag bodemslib zijn wat minder kritisch. De invloed van het bodemzuurstofverbruik op het minimum zuurstofgehalte is beperkt; deze grootte bepaalt vooral de eindwaarde van de herstelcurve.

De gevoeligheidsanalyse illustreert dat bij toetsing aan een grenswaarde hoge eisen moeten worden gesteld aan de ijking van het model. In het algemeen kan aan zulke eisen niet worden voldaan. Dit soort simulatieresultaten moeten dan ook alleen in vergelijkende zin worden gebruikt, bijvoorbeeld bij de evaluatie van technische alternatieven op een bepaalde lokatie.

Het effectenbeeld van Loenen

Moeten alle gebeurtenissen worden beschouwd?

In de eindrapportage van de NWRW [2] is voorgesteld om de voorbijgaande effecten van overstortingen te beoordelen aan de hand van de gevolgen van een concrete zeldzame gebeurtenis, bijvoorbeeld met een herhalingstijd van 2 of 5 jaar. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat er een eenduidig verband bestaat tussen de grootte van de overstorting (volume, duur, vuilvracht) en de ernst van het effect. Deze veronderstelling is getoetst door toepassing van het bovenbeschreven model op 42 overstortingen op de vijver te Loenen. Hierbij zijn op basis van de meet-gegevens van het vuiluitworponderzoek van STORA/NWRW [10]) de minimale zuurstofconcentraties berekend.

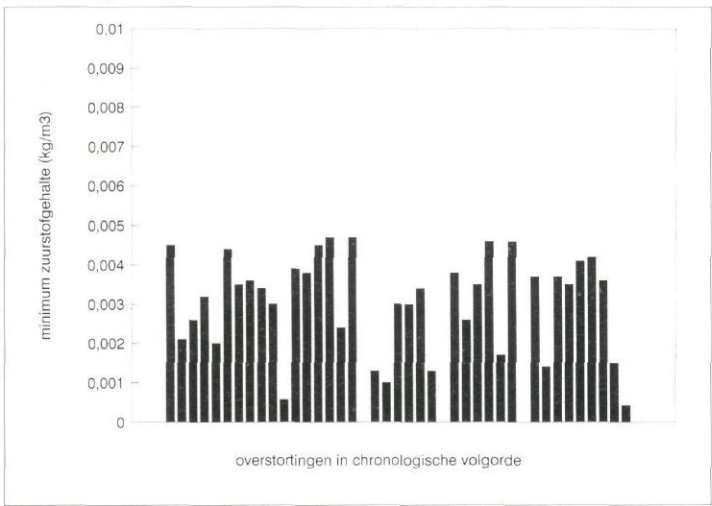
De berekende minimum zuurstofgehalten zijn in een grafiek samengebracht (afb. 3). Het beeld is sterk gevarieerd. Bij vier gebeurtenissen is zuurstofloosheid voorspeld.

Relaties met kenmerken van de overstorting zijn onderzocht voor de volgende grootheden:

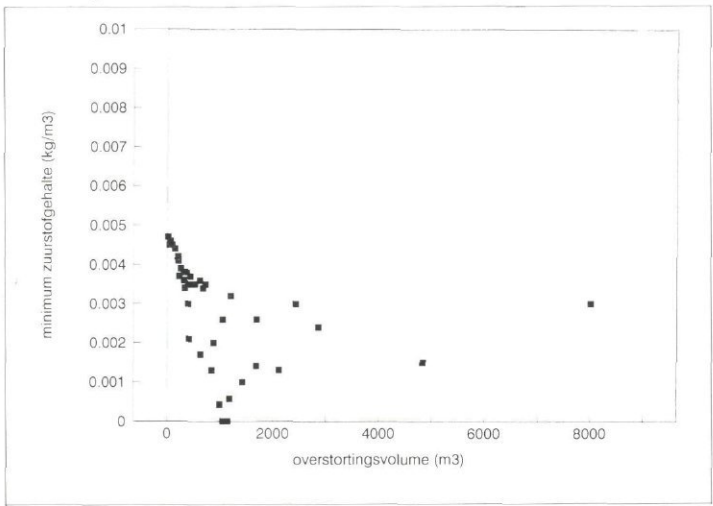
- de duur van de overstorting;
- het overstortingsvolume;
- de vracht totaal BZV;
- de vracht niet-bezinkbaar BZV;
- de gemiddelde overstortingsintensiteit.

Afb. 4 toont de invloed van het overstort-volume. Hieruit zou men kunnen concluderen dat bij kleine lozingen een lineair verband geldt. Het effect van lozingen van grotere omvang – met een grote herhalingstijd – vertoont echter een grote spreiding. Voor de BZV-vracht (totaal en niet-bezinkbaar deel) is het beeld analoog. Voor de zeldzame

Afb. 3 - Berekende zuurstofminima voor een chronologische reeks van overstortingen (1982-1984). Voorspelde zuurstofloosheid is aangegeven met een sterretje (*).



Afb. 4 - Relatie tussen het berekende zuurstofminimum en het volume van de overstorting.





gebeurtenissen is er dan ook geen eenduidig verband uit af te leiden. Het zuurstofminimum uitgezet tegen de duur van de overstorting of de gemiddelde overstortingsintensiteit levert evenmin een bruikbare relatie op. De veronderstelde relatie tussen de grootte van de overstorting en het effect op de zuurstofhuishouding is niet gevonden. Dit betekent dat een qua omvang zeldzame overstorting niet hoeft te leiden tot een zeldzaam ernstig effect en omgekeerd. Er is dus op grond van de beschouwde gegevens geen basis voor beoordeling van overstortsituaties op grond van één of enkele qua volume, vuillast, duur of intensiteit zeldzame gebeurtenissen.

Uit het effectenbeeld van Loenen blijkt dat de relatie tussen overstorting en effect op de zuurstofhuishouding zeer variabel is. Om deze voor een specifieke situatie te bepalen is daarom bewerking van een lange, representatieve reeks gebeurtenissen met een effectenmodel onontkoombaar. Aangezien dit in de eerste plaats samenhangt met de variabiliteit van de overstortingen zelf zal deze conclusie ook geldig zijn voor andere typen oppervlaktewater.

Wijze van beoordeling en toetsing

Voor de beoordeling van met simulatiemodellen berekende waarden van het zuurstofgehalte ten opzichte van de grenswaarden zijn geen vaste procedures voorhanden. Bij min of meer continue lozingen kan in overleg tussen de betrokkenen meestal wel een maatgevende situatie worden gedefinieerd, waarop het oordeel

over de – als permanent beschouwde – effecten wordt gebaseerd. Bij rioolwaterlozingen, die stootsgewijs optreden, is sprake van een verzameling van gebeurtenissen, die niet alleen verschillen in effect op de waterkwaliteit, maar ook in duur van het effect en in omvang van de watermassa die is verontreinigd. Het is bekend dat een laag zuurstofgehalte gedurende een korte tijd anders uitwerkt op de waterorganismen dan eenzelfde effect dat van lange duur is. Het is daarom noodzakelijk om deze aspecten bij de beoordeling van de effecten van rioolwaterlozingen op de zuurstofhuishouding van het oppervlaktewater expliciet in rekening te brengen, bijvoorbeeld door aan de grenswaarde voor zuurstof een maximale onderschrijdingsduur te koppelen. Ook zou de grootte van het aan de vervuiling blootgestelde gebied moeten worden verdisconteerd. Het is duidelijk dat de beoordeling van de milieuhygiënische gevolgen van rioolwaterlozingen een aanvulling van de normstelling in bovengenoemde zin vergt.

Conclusies

De verscheidenheid aan factoren die de effecten van overstortingen op de zuurstofhuishouding bepalen maakt dat algemene ontwerprichtlijnen voor rioolstelsels uit oogpunt van oppervlaktewaterkwaliteitsbeheer niet te geven zijn. Dit mag er uiteraard niet toe leiden dat het oppervlaktewater bij de beoordeling van rioolwaterlozingen buiten beschouwing wordt gelaten. In dat verband kunnen uit de hiervoor beschreven analyse van het NWRW-onderzoek aan de overstortvijver

te Loenen de volgende conclusies worden geformuleerd:

1. een eenvoudig simulatiemodel voor de zuurstofhuishouding, waarin de vervuiling van het geloosde water is gespecificeerd in een niet-bezinkbare fractie en een bezinkbare fractie, geeft al een duidelijke differentiatie van de effecten. Voor effectvoorspelling in absolute zin is zo'n model niet geschikt; wel kunnen technische alternatieven op een bepaalde lokatie worden geëvalueerd;
2. een 'extreme' bui leidt niet noodzakelijk tot een 'extreem' effect. Het is daarom noodzakelijk om bij de milieuhygiënische beoordeling van rioolstelsels een representatieve meerjarige reeks van lozingsgebeurtenissen te beschouwen;
3. het is onjuist om bij rioolwaterlozingen de differentiatie van de effecten in de tijd en in de ruimte buiten beschouwing te laten. De normstelling voor oppervlaktewaterkwaliteit is daarop niet toegesneden.

Literatuur

1. Gast, M. K. H. (1989). *Uitkomsten van het NWRW-onderzoek naar effecten van lozingen vanuit rioolstelsels op de waterkwaliteit*. H₂O (22) 1989, nr. 24, p. 756-759.
2. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW) (1989). *Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Leidschendam, november 1989.
3. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW). *Globaal onderzoek effecten op het oppervlaktewater (thema 9)*.
4. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW). *Overstortsituaties in Nederland (thema 1)*.
5. Thomann, R. V. and Mueller, J. A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. Harper & Row Publishers, New York.
6. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW). *Loenen; dynamica en massabalansen (project 10.1.2)*.
7. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW). *Loenen; overstortingen en sediment, nutriënten en mineralisatie (project 10.3.2)*.
8. Riel, P. H. van, Straten, G. van en Heins, J. C. (1987). *Het effect van overstortbeperkende maatregelen op de zuurstofhuishouding van de Utrechtse Vecht*. H₂O (20) 1987, nr. 10, p. 226-230.
9. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW). *Waterhuishoudkundige maatregelen; praktische oplossingen (project 11.2)*.
10. Nationale Werkgroep Riolerings- en Waterkwaliteit (NWRW)/STORA. *De vuiluitvoer van gemengde rioolstelsels (project 5.2/38b)*.

Nogmaals Hupselse Beekgebied

In het artikel 'Een beschouwing van de hydrologische effecten in het Hupselse Beekgebied ten gevolge van een hypothetische klimaatverandering' in H₂O nr. 21 zijn abusievelijk de afbeeldingen 4 en 5 op pagina 604 en 605 verwisseld.