

## 1. Inleiding

Vele gemeenten in Nederland zijn reeds met het begrip 'bergend vermogen van een rioolstelsel' geconfronteerd. Dikwijls blijkt bij toetsing van gemengde rioolstelsels aan de eisen van de waterkwaliteitsbeheerder dat er te weinig berging in bestaande stelsels aanwezig is. Het opheffen van deze bergings tekorten en het creëren van berging in uitbreidingen zijn vaak kapitaalintensieve activiteiten. Goede en eenduidige berekeningsmethoden zijn dan ook van belang. In dit artikel wordt ingegaan op de bere-

overstortingsfrequentie (o.f.). De o.f. wordt berekend met behulp van standaardregeneerksen, meestal een 37-jarige waarnemingsreeks van het waarnemingsstation in De Bilt. Voor een nader overzicht van de problematiek inzake de overstortingsfrequentie wordt verwezen naar lit. [3].

Het al of niet optreden van een overstorting is afhankelijk van de regensituatie, alsmede van:

- het bergend vermogen van het rioolstelsel;
- de capaciteit van het rioolgemaal.

Naast het gebruik van standaardregeneerksen is het voor een onderlinge vergelijking van rioolstelsels m.b.v. de overstortingsfrequentie van belang dat het bergend vermogen van rioolstelsels alsmede de bij regen beschikbare pompcapaciteit en het afwaterend oppervlak zo goed mogelijk en eenduidig worden bepaald.

Het berekenen van het exacte bergend vermogen van een rioolstelsel is door de vele daarin opgenomen putten, de huisaansluitingen etc. een tijdrovende en kostbare zaak. In de berekening van het bergend vermogen worden daarom vereenvoudigingen aangebracht. Uiteraard wordt wel naar een zo goed mogelijke benadering gestreefd.

## 3. Bergend vermogen

Onder het bergend vermogen van een rioolstelsel wordt verstaan de maximale hoeveelheid water die door een rioolstelsel geborgen kan worden en die, onder welke omstandigheden dan ook, niet via een overstort tot afstroming komt.

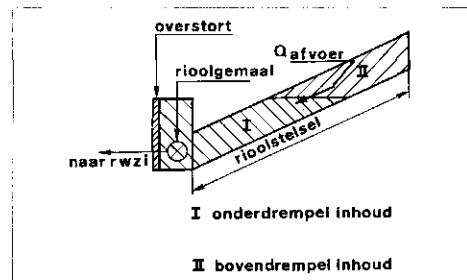
Ten aanzien van het bergend vermogen kan worden onderscheiden:

- onderdrempelberging;
- bovendrempelberging.

De onderdrempelberging is de bergende rioolinhoud van een rioolstelsel gelegen onder een horizontaal vlak op het niveau van de laagste overstortdrempel van het beschouwde gebied.

De bovendrempelberging is gelijk aan de hoeveelheid regenwater die, onder de bovenstaande conditie, boven het niveau van deze laagste overstortdrempel in een rioolstelsel kan worden geborgen.

Ter bepaling van het bergend vermogen van een rioolstelsel wordt soms een correctie aangebracht i.v.m. de vulling van de riolen bij droogweer, de zgn. dwa-aftrek. In de meeste berekeningen wordt de berging in inspectieputten, huisaansluitingen, rioolgemalen etc. verwaarloosd. Men tracht dit in rekenkundige zin te compenseren door geen aftrek voor de door de droog-



Afb. 1 - Schematische voorstelling.

weerafvoer ingenomen rioolinhoud toe te passen.

In dit artikel zal het aspect dwa-aftrek buiten beschouwing worden gelaten.

De geschematiseerde berekening van de onderdrempelberging berust op eenvoudige volumeberekeningen en is derhalve ongecompliceerd. Anders is dit gesteld met de bovendrempelberging. In het navolgende zal nader worden ingegaan op de berekening van de bovendrempelberging.

## 4. Berekening van de bovendrempelberging

Om na te gaan hoe groot de bovendrempelberging van een rioolstelsel is, wordt het deel van het rioolstelsel in beschouwing genomen dat gelegen is boven het niveau van de overstortdrempel, de zgn. bovendrempelinhoud, zie afb. 1, II. Verondersteld wordt dat het deel van het rioolstelsel, gelegen onder het niveau van de overstortdrempel, de onderdrempelinhoud, reeds gevuld is, zie afb. 1, I.

Terwille van de duidelijkheid wordt uitgegaan van een rechthoekig neerslagdiagram, zie afb. 2. Bij aanvang van een neerslag zal het debiet dat van het hoger gelegen deel naar het lager gelegen deel afstroomt in de tijd toenemen. Op tijdstip  $t_1$  is de afvoer gelijk aan de som van het neerslagdebiet en de afvalwaterafvoer (dwa). Na afloop van de neerslag zal de afvoer weer geleidelijk afnemen. Opgemerkt wordt dat  $t_{oploop}$  en  $t_{afloop}$  niet aan elkaar gelijk behoeven te zijn. Het oplopen en aflopen van  $Q_{afvoer}$  wordt veroorzaakt door verschillende fysische factoren, waarvan de tijd die benodigd is voor de afstroming van de regen naar het rioolstelsel en de tijd die benodigd is voor het 'ledigen' van met regenwater gevulde riolen de voornaamste zijn.

Op een bepaald tijdstip  $t_2$  zal de afvoer gelijk zijn aan  $Q_{pomp}$ , de capaciteit van het rioolgemaal verminderd met de afvalwaterhoeveelheden afkomstig van het lager gelegen deel, zie afb. 2.

Het na dit tijdstip het boven gelegen deel afstromende water zal dan niet meer tot overstorting kunnen komen. Het gearceerde deel in afb. 2 geeft derhalve de bovendrempelberging weer.



IR. K. BAKKER  
DHV  
Raadgevend Ingenieursbureau BV, Amersfoort



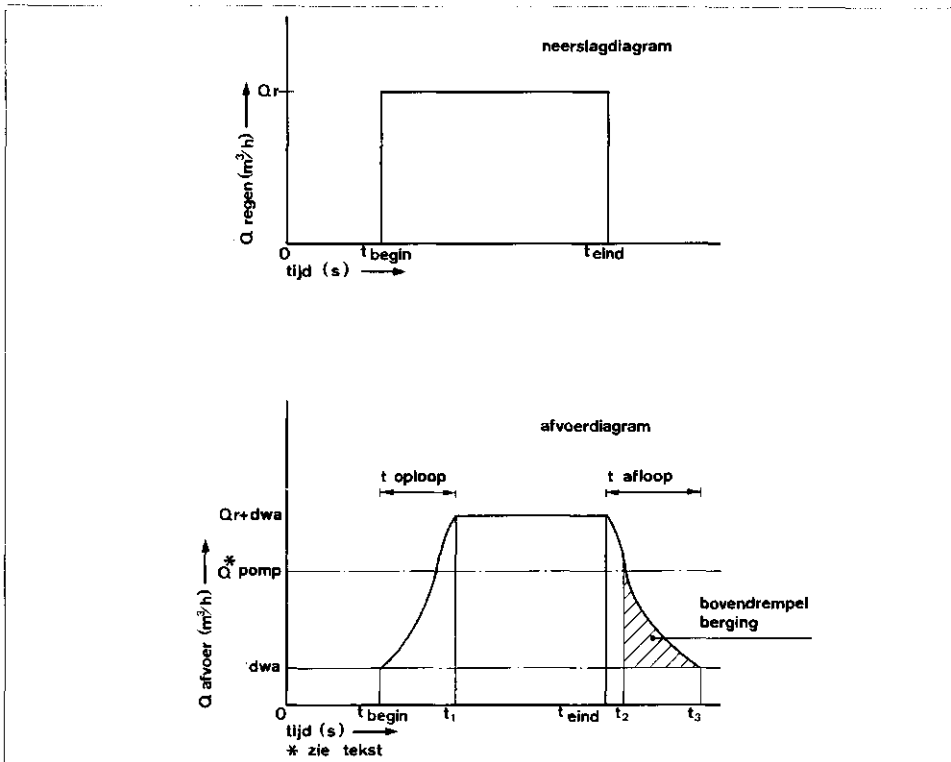
IR. H. J. SCHURMAN  
DHV  
Raadgevend Ingenieursbureau BV, Amersfoort

kening van het bergend vermogen, met de nadruk op de bovendrempelberging. Daarnaast wordt aandacht besteed aan de mogelijkheden om d.m.v. stuwconstructies op relatief goedkope wijze het bergend vermogen te vergroten en wordt de dimensionering van deze constructies behandeld.

## 2. Algemeen

Gemengde rioolstelsels worden ontworpen voor de inzameling en het transport van zowel afvalwater als regenwater. In gemengde stelsels worden overstorten opgenomen om bij regen het water dat niet door de rioolgemalen kan worden afgevoerd en niet kan worden geborgen naar het oppervlaktewater af te voeren. Een overstorting veroorzaakt echter een verontreiniging van het oppervlaktewater. Met behulp van vuilemissiemodellen kan getracht worden de vuilemissie te kwantificeren [1 en 2]. Gebleken is dat de vuilemissie in belangrijke mate afhangt van het bergend vermogen van een rioolstelsel. De Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders stellen eisen aan de frequentie waarmee overstorten in werking mogen treden. De overstortingsfrequentieberekening die bij de beoordeling en onderlinge vergelijking van rioolstelsels wordt gebruikt, is vergaand geschematiseerd.

Er wordt gebruik gemaakt van de 'theoretische gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie', kortweg aan te duiden als



Afb. 2 - Geschematiseerd neerslag- en afvoerdigram.

De berekening van de bovendrempelberging kan plaatsvinden door het gearceerde oppervlak in afb. 2 te bepalen. Aan het verloop van de afvoer en de daarvoor benodigde tijd liggen echter vele fysische verschijnselen ten gronde, welke zeer moeilijk kunnen worden gekwantificeerd. Een eenvoudige benadering van de bovendrempelberging op basis van de oppervlaktebepaling in het afvoerdigram geeft daarom aanleiding tot het maken van grote fouten.

Een betrouwbare methode om de bovendrempelberging te berekenen is die aan de hand van de stromingstoestand. Indien de inhoud van de watermassa wordt bepaald die bij de stromingstoestand ten tijde  $t_2$  in in het rioolstelsel aanwezig is, dan kan hieruit de bovendrempelberging worden afgeleid.

De op tijdstip  $t_2$  aanwezige stromingstoestand kan benaderd worden door een stromingstoestand die veroorzaakt wordt door een gelijkmatig over het gebied gerekende regenwater- en afvalwaterbelasting, overeenkomend met de maximale capaciteit van het rioolgemaal (de zgn. x-dwa stromingstoestand). Bij deze stromingstoestand worden de verhanglijnen in het stelsel berekend. Uitgangspunt is daarbij dat de waterstand ter plaatse van de laagste overstort zodanig is dat deze overstort juist niet werkt. In deze toestand zal zich in het stelsel rioolwater boven het niveau van de laagste overstortdrempel bevinden. Daar de hydraulische belasting gelijk is

aan de capaciteit van het rioolgemaal, kan het water dat zich bij deze stromingstoestand in het stelsel bevindt niet tot overstorting komen. De zich aldus boven de laagste overstortdrempel bevindende hoeveelheid water kan dan worden bepaald. De bovendrempelberging staat daarmee vast.

Voor de berekening van deze stromingstoestand zijn vooral voor uitgebreide rioolstelsels kostbare berekeningen noodzakelijk. Daarom is gezocht naar een methode waarbij de bovendrempelberging op eenvoudige wijze met voldoende nauwkeurigheid wordt afgeschat.

##### 5. Eenvoudige methode voor het berekenen van bovendrempelberging

Bovendrempelberging is aanwezig in de riolen die geheel of gedeeltelijk boven de drempel van de laagste overstort zijn gelegen. Deze riolen hebben een afvoercapaciteit overeenkomend met een bepaalde ontwerpregenintensiteit. Verondersteld wordt dat de riolen bij deze regenintensiteit geheel gevuld zijn.

Basis voor de berekening van de bovendrempelberging is een zgn. x-dwa stromingstoestand in het rioolstelsel, zie 4.

Aangenomen wordt dat hierbij een stroming op 'evenwichtsdiepte' plaatsvindt. Uitgaande van een bepaalde afvalwaterproductie en een afwaterend oppervlak per inwoner, is voor een bepaald riool de verhouding te berekenen tussen het debiet bij

x-dwa en het debiet bij de ontwerpregen. Met behulp van formules voor stroming in gedeeltelijk gevulde leidingen is nu het vullingspercentage bij x-dwa te berekenen. Dit vullingspercentage kan worden omgerekend in % van de bovendrempelinhoud. De bovendrempelberging kan dus worden bepaald indien bekend zijn: de bovendrempelinhoud, de ontwerpregenintensiteit, de verhouding tussen de droogweerafvoer en de max. pompcapaciteit en het afwaterend oppervlak per inwoner. Het verband is weergegeven in afb. 3.

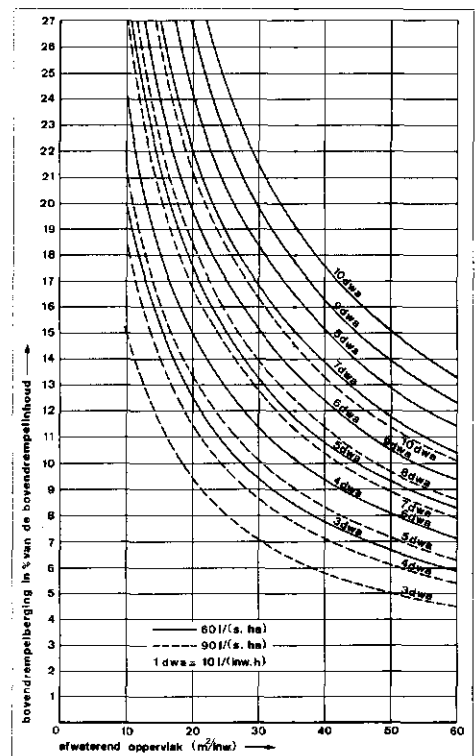
Verondersteld werd dat geen terugstuwing in de riolen optreedt. In werkelijkheid zal vooral in de lager gelegen riolen een zekere mate van terugstuwing plaatsvinden. De bovendrempelberging zal als gevolg daarvan groter zijn dan hierboven berekend. Anderzijds is de afvoercapaciteit van de riolen in de praktijk in geringe mate hoger dan die gebaseerd op de ontwerpregenintensiteit.

Dit wordt veroorzaakt door veiligheidsmaatregelen die in het ontwerp worden aangebracht. De te maken fouten als gevolg van de bovengenoemde afwijkingen t.o.v. de 'ideale toestand' heffen elkaar geheel of gedeeltelijk op.

##### Voorbeeld

Inhoud van het rioolstelsel	1.400 m <sup>3</sup>
Onderdrempelberging	600 m <sup>3</sup>
Verhard oppervlak	42 m <sup>2</sup> /inw.
Capaciteit rioolgemaal	3 dwa
Ontwerpregenintensiteit	60 l/(s.ha)

Afb. 3 - Bovendrempelberging.



Uit afb. 3 is af te lezen dat 7,5 % van de bovendrempelinhoud in rekening mag worden gebracht als bovendrempelberging.  
 Bovendrempelinhoud:  $1.400 - 600 = 800 \text{ m}^3$   
 Bovendrempelberging:  $0,075 \times 800 = 60 \text{ m}^3$   
 Bergend vermogen:  $600 + 60 = 660 \text{ m}^3$

**6. Stuwconstructies**

**6.1. Berging m.b.v. een stuwconstructie**

In geaccidenteerde gebieden en in gebieden waar delen van stelsels in ophoging liggen, zal dikwijls een groot deel van de inhoud van de rioolstelsels boven de drempels van de overstorten zijn gelegen.

Deze stelsels hebben meestal een gering bergend vermogen. Om aan de eisen van de waterkwaliteitsbeheerder ten aanzien van de overstortingsfrequentie te voldoen, kan worden overgegaan tot het creëren van onderdrempelberging door vergroting van riolen, aanleg van bergbezinkbassins etc. Dit is echter een kostbare zaak.

In bepaalde situaties is het mogelijk om met behulp van stuwconstructies op een relatief goedkope wijze een groter deel van de bovendrempelinhoud te benutten voor tijdelijke berging van rioolwater.

**6.2. Het principe van stuwconstructies**

Een stuwconstructie is een inrichting waarmee bij regen de afstroming van rioolwater uit hooggelegen riolen wordt vertraagd. Een gevolg hiervan is dat bovenstrooms rioolwater wordt geborgen. Een stuwconstructie kan bestaan uit een afgesloten riool met een kleine doorlaatopening of een riool met een kleine diameter.

Het meeste effect kan van een stuwconstructie worden verwacht in rioolstelsels waar een belangrijk deel van de riolinhoud zich boven de laagste overstortdrempel bevindt. Een en ander is schematisch weergegeven in afb. 4a en 4b.

De dimensies van stuwconstructies zullen zodanig moeten zijn dat geen gevaar voor verstopping optreedt. In droge perioden, wanneer alleen afvalwater wordt afgevoerd, zal de stuwconstructie weinig weerstand mogen veroorzaken; de afvoer naar het rioolgemaal moet onbelemmerd kunnen plaatsvinden. Neemt de afvoer toe als gevolg van regen, dan zal de stuwconstructie een zodanige weerstand moeten bieden dat het rioolwater bovenstrooms wordt opgestuwd.

Door het aanbrengen van een stuwconstructie mag de kans op wateroverlast niet toenemen. Bovenstrooms dienen derhalve overstorten aanwezig te zijn, die of afvoeren naar het benedenstroomse deelstelsel (interne overstort, afb. 4b) of naar oppervlaktewater (uitwendige overstort, afb. 4c).

**6.3. De dimensionering van stuwconstructies**

Het debiet op basis waarvan de stuw-

constructie moet worden gedimensioneerd, het 'ontwerpdebiet', dient voor Nederlandse omstandigheden te worden bepaald aan de hand van overstortingsfrequentieberekeningen en de droogweerafvoer van het bovenstroomse gebied.

Er moet daarbij onderscheid worden gemaakt tussen:

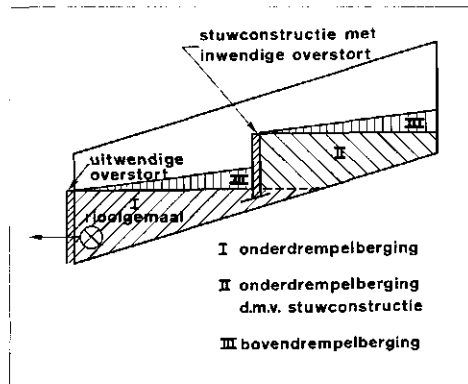
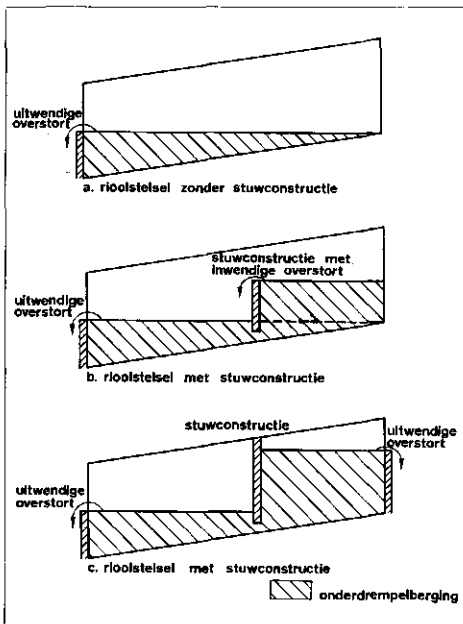
- a. rioolstelsels, waarbij de maatgevende overstort van het hoog gelegen stelsel een interne overstort is, zie afb. 4b;
- b. rioolstelsels, waarbij de maatgevende overstort van het hoog gelegen stelsel een uitwendige overstort is, zie afb. 4c.

*ad a Interne overstort*

Indien sprake is van uitsluitend een interne overstort, dan dient het ontwerpdebiet van de stuwconstructie zodanig te worden gekozen dat de overstortingsfrequentie van de interne overstort gelijk is aan of hoger is dan die van de laagste overstort in het benedenstroomse deelstelsel. Er kan dan worden aangenomen dat bij overstorting via de benedenstroomse overstort eveneens de interne overstort zal werken. In dat geval zal de beschikbare berging in het bovenstroomse deelstelsel optimaal benut zijn. Het ontwerpdebiet van de stuwconstructie is dus gelijk aan de theoretisch te installeren 'pompovercapaciteit' in het bovenstroomse deelstelsel, vermeerderd met de droogweerafvoer van dit deelstelsel. Voor de o.f.-berekening van de uitwendige overstort mag als berging in rekening worden gebracht (afb. 5):

- 1. de onderdrempelberging in het benedenstroomse deelstelsel (I);
- 2. de onderdrempelberging in het boven-

Afb. 4 - Rioolstelsels met stuwconstructies.



Afb. 5 - Berging in een rioolstelsel met stuwconstructie.

stroomse deelstelsel t.o.v. de laagste overstortdrempel in het bovenstroomse deelstelsel (II);

3. de bovendrempelberging in beide deelstelsels (III).

Indien naast een interne overstort zich ook uitwendige overstorten in het bovenstroomse deelstelsel bevinden, dan zullen deze uiteraard moeten voldoen aan de eisen van de waterkwaliteitsbeheerder.

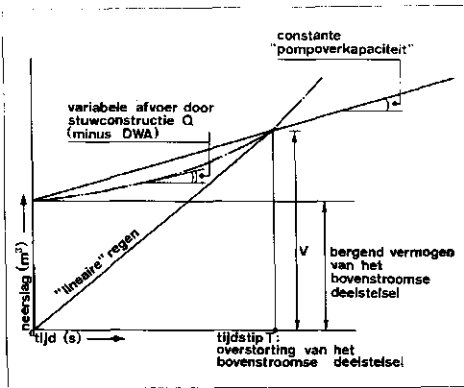
In de praktijk zal het ontwerpdebiet van de stuwconstructie dan moeten worden bepaald alsof uitsluitend uitwendige overstorten aanwezig zijn. De drempels van eventueel i.v.m. de afvoercapaciteit noodzakelijke interne overstorten worden dan op dezelfde hoogte of lager dan de drempels van de uitwendige overstorten aangebracht.

*ad b Uitwendige overstort*

Het ontwerpdebiet van de stuwconstructie dient zodanig te zijn dat wordt voldaan aan de eisen van de waterkwaliteitsbeheerder t.a.v. de overstortingsfrequentie. Beide deelstelsels worden als afzonderlijke rioolstelsels beschouwd. Het ontwerpdebiet van de stuwconstructie wordt gelijk gesteld aan de theoretisch te installeren 'pompovercapaciteit' in het hoger gelegen deelstelsel vermeerderd met de droogweerafvoer van dit deelstelsel.

Het is van belang dat de capaciteit van een stuwconstructie zo goed mogelijk het ontwerpdebiet benadert. Het is derhalve noodzakelijk om na te gaan wat zich bij regen afspeelt.

Ten gevolge van de beperkte afvoercapaciteit van een stuwconstructie zullen bij regenval van enige betekenis de beide deelstelsels zich vullen en zal een drukverschil over de stuwconstructie worden opgebouwd. Dit drukverschil bepaalt het debiet door de stuwconstructie. De grootte van het drukverschil is afhankelijk van de mate waarin de riolinhoud van beide deelstelsels gevuld is. De relatie waterstand-



Afb. 6 - Invloed van de variabele afvoer door een stuwconstructie.

geborgen rioolwater is niet voor ieder rioolstelsel gelijk, als gevolg waarvan het drukverschil in de tijd gezien niet constant zal zijn, het debiet door de stuwconstructie zal daarom variëren.

Om nu te voldoen aan de eisen ten aanzien van de overstortingsfrequentie van het bovenstrooms gelegen deelstelsel dient het volgende in acht te worden genomen. De door de stuwconstructie afgevoerde hoeveelheid water in een periode T dient gelijk te zijn aan de hoeveelheid die in dezelfde periode zou zijn afgevoerd bij een 'constante pompoevercapaciteit' volgens de frequentieberekening. Een en ander is schematisch weergegeven in afb. 6. Het tijdstip T is het tijdstip waarop de overstorting van het bovenstroomse deelstelsel aanvangt.

In formulevorm:

$$(Q_{ontw.} - dwa) \times T = \int_0^T (Q - dwa) dt \quad (1)$$

of, indien de dwa constant is in de tijd:

$$Q_{ontw.} \times T = \int_0^T Q dt \quad (2)$$

of met

$$Q = \alpha \sqrt{h} \quad (3)$$

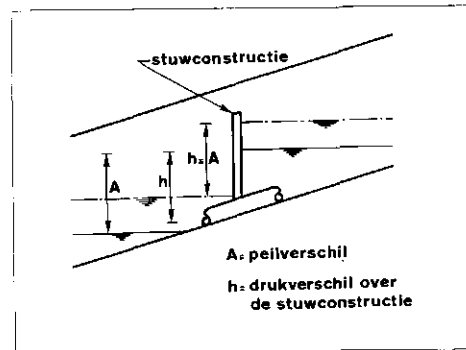
$$Q_{ontw.} = \frac{1}{T} \int_0^T \alpha \sqrt{h} dt \quad (4)$$

waarin  $\alpha$  een door de afmetingen, wandruwheid etc., van de stuwconstructie bepaalde constante is,  $Q_{ontw.}$  het ontwerpdebiet, dwa de droogweerafvoer van het bovenstroomse deelstelsel en h het tijdsafhankelijk drukverschil over de stuwconstructie.

Om de afmetingen van de stuwconstructie te bepalen zal  $\alpha$  moeten worden berekend. Daartoe moet  $h = h(t)$  worden bepaald.

Bij de berekening van het drukverschil als functie van de tijd worden de beide deelstelsels als afzonderlijke rioolstelsels beschouwd, slechts verbonden door de stuwconstructie.

Afb. 7 - Drukverschil over een stuwconstructie.



Verondersteld wordt dat in de beide deelstelsels de waterspiegels horizontaal blijven. Het drukverschil over de stuwconstructie is in principe gelijk aan het verschil tussen deze waterspiegels. Er dient rekening te worden gehouden met de situatie waarin nog niet de waterstand in het benedenstroomse rioolstelsel, maar de waterstand in het aan de stuwconstructie aansluitende riool bepalend is voor het drukverschil over de stuwconstructie. Een en ander is schematisch weergegeven in afb. 7. Uitgaande van de relaties waterstand - geborgen rioolwater kan voor verschillende regenintensiteiten het verloop van de waterstanden in de deelstelsels worden berekend.

De veronderstelling dat de waterspiegels in beide deelstelsels horizontaal zijn is niet in overeenstemming met de werkelijkheid. Afhankelijk van de optredende stroming zal een zeker verhang in de waterspiegels aanwezig zijn. Gebleken is dat de daardoor geïntroduceerde fout klein is.

Indien het ontwerpdebiet en het verloop van het drukverschil zijn bepaald kan tot de dimensionering van de stuwconstructie worden overgegaan.

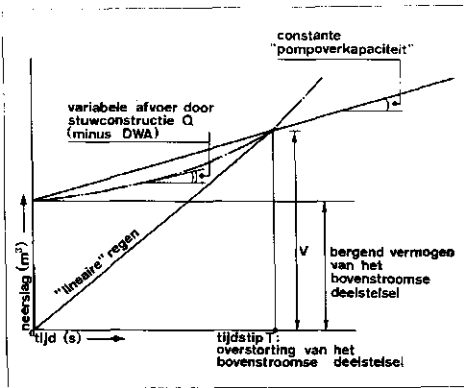
Formule (4) kan als volgt worden geschreven:

$$\alpha = \frac{Q_{ontw.}}{\frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{h} dt} \quad (4)$$

De waarde van  $\alpha$  kan nu worden berekend, de stuwconstructie kan dan worden gedimensioneerd. De waarde van  $\alpha$  is slechts in zeer geringe mate afhankelijk van de in de

Afb. 8 - Computeroutput stuwriool dimensionering.

BEREKENING STUWCONSTRUCTIE GEMEENTE RIO, DISTRICT 2->1.				DRUKVERSCHIL ALS FUNKTIE VAN DE TIJD.			
*****				*****			
GEGEVENS DEELSTELSEL 1		GEGEVENS DEELSTELSEL 2		TYD	WATERSTAND 1	WATERSTAND 2	VERSCHIL
*****		*****		MIN	TOV NAP	TOV NAP	
N TOV NAP	M3 BERGING	M TOV NAP	M3 BERGING	2	1.10	1.87	.77
.00	0	1.18	0	4	1.10	2.19	1.09
.50	92	2.00	570	6	1.22	2.38	1.16
1.00	762	2.25	1091	8	1.38	2.55	1.17
1.50	2180	2.50	1770	10	1.55	2.71	1.16
1.75	2915	2.75	2523	12	1.70	2.87	1.17
2.00	3646	2.90	2972	14	1.86	3.04	1.18
2.25	4421	3.30	4069	16	2.02	3.22	1.20
2.50	5259	3.50	4540				
2.75	6063	3.75	5061				
3.00	6849	3.90	5161				
3.50	7423	4.00	5498				
3.75	7688	4.25	5812				
4.00	7718	4.50	5951				
4.25	7720	5.00	6046				
LENGTE DREMPEL	HOOGTE DREMPEL	LENGTE DREMPEL	HOOGTE DREMPEL	DIAMETER	WANDRUWHEID	DEBIET	LENGTE STUWRIOOL
M	M TOV NAP	M	M TOV NAP	M	MM	M3/H	M
4.00	2.90	5.17	3.40	.30	1.000	709	11.8
2.00	3.10	2.50	3.50	.40	1.000	709	108.5
4.00	2.90	1.00	4.25	.50	1.000	709	397.6
4.00	2.90	1.85	4.10				
OPPERVLAKTE	66.7 HA.	OPPERVLAKTE	67.6 HA.				
POMPOVERKAP.	.148 M3/S.	POMPOVERKAP.	.057 M3/S.				
RANDVOORWAARDE	BENEDENSTROOMS : NAP +1.10 M.						



Afb. 6 - Invloed van de variabele afvoer door een stuwconstructie.

geborgen rioolwater is niet voor ieder rioolstelsel gelijk, als gevolg waarvan het drukverschil in de tijd gezien niet constant zal zijn, het debiet door de stuwconstructie zal daarom variëren.

Om nu te voldoen aan de eisen ten aanzien van de overstortingsfrequentie van het bovenstrooms gelegen deelstelsel dient het volgende in acht te worden genomen. De door de stuwconstructie afgevoerde hoeveelheid water in een periode T dient gelijk te zijn aan de hoeveelheid die in dezelfde periode zou zijn afgevoerd bij een 'constante pompoevercapaciteit' volgens de frequentieberekening. Een en ander is schematisch weergegeven in afb. 6. Het tijdstip T is het tijdstip waarop de overstorting van het bovenstroomse deelstelsel aanvangt.

In formulevorm:

$$(Q_{ontw.} - dwa) \times T = \int_0^T (Q - dwa) dt \quad (1)$$

of, indien de dwa constant is in de tijd:

$$Q_{ontw.} \times T = \int_0^T Q dt \quad (2)$$

of met

$$Q = \alpha \sqrt{h} \quad (3)$$

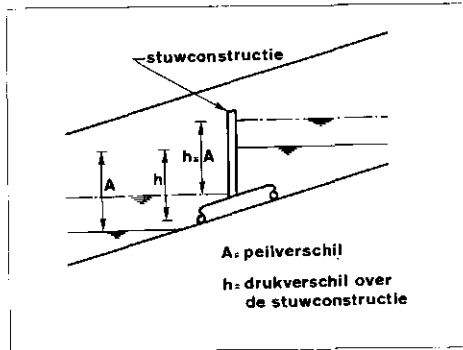
$$Q_{ontw.} = \frac{1}{T} \int_0^T \alpha \sqrt{h} dt \quad (4)$$

waarin  $\alpha$  een door de afmetingen, wandruwheid etc., van de stuwconstructie bepaalde constante is,  $Q_{ontw.}$  het ontwerpdebiet, dwa de droogweerafvoer van het bovenstroomse deelstelsel en h het tijdsafhankelijk drukverschil over de stuwconstructie.

Om de afmetingen van de stuwconstructie te bepalen zal  $\alpha$  moeten worden berekend. Daartoe moet  $h = h(t)$  worden bepaald.

Bij de berekening van het drukverschil als functie van de tijd worden de beide deelstelsels als afzonderlijke rioolstelsels beschouwd, slechts verbonden door de stuwconstructie.

Afb. 7 - Drukverschil over een stuwconstructie.



Verondersteld wordt dat in de beide deelstelsels de waterspiegels horizontaal blijven. Het drukverschil over de stuwconstructie is in principe gelijk aan het verschil tussen deze waterspiegels. Er dient rekening te worden gehouden met de situatie waarin nog niet de waterstand in het benedenstroomse rioolstelsel, maar de waterstand in het aan de stuwconstructie aansluitende riool bepalend is voor het drukverschil over de stuwconstructie. Een en ander is schematisch weergegeven in afb. 7. Uitgaande van de relaties waterstand - geborgen rioolwater kan voor verschillende regenintensiteiten het verloop van de waterstanden in de deelstelsels worden berekend.

De veronderstelling dat de waterspiegels in beide deelstelsels horizontaal zijn is niet in overeenstemming met de werkelijkheid. Afhankelijk van de optredende stroming zal een zeker verhang in de waterspiegels aanwezig zijn. Gebleken is dat de daardoor geïntroduceerde fout klein is.

Indien het ontwerpdebiet en het verloop van het drukverschil zijn bepaald kan tot de dimensionering van de stuwconstructie worden overgegaan.

Formule (4) kan als volgt worden geschreven:

$$\alpha = \frac{Q_{ontw.}}{\frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{h} dt} \quad (4)$$

De waarde van  $\alpha$  kan nu worden berekend, de stuwconstructie kan dan worden gedimensioneerd. De waarde van  $\alpha$  is slechts in zeer geringe mate afhankelijk van de in de

Afb. 8 - Computeroutput stuwriool dimensionering.

BEREKENING STUWCONSTRUCTIE GEMEENTE RIO, DISTRICT 2->1.				DRUKVERSCHIL ALS FUNKTIE VAN DE TIJD.			
*****				*****			
GEGEVENS DEELSTELSEL 1		GEGEVENS DEELSTELSEL 2		TYD	WATERSTAND 1	WATERSTAND 2	VERSCHIL
*****		*****		MIN	TOV NAP	TOV NAP	
N TOV NAP	M3 BERGING	M TOV NAP	M3 BERGING	2	1.10	1.87	.77
.00	0	1.18	0	4	1.10	2.19	1.09
.50	92	2.00	570	6	1.22	2.38	1.16
1.00	762	2.25	1091	8	1.38	2.55	1.17
1.50	2180	2.50	1770	10	1.55	2.71	1.16
1.75	2915	2.75	2523	12	1.70	2.87	1.17
2.00	3646	2.90	2972	14	1.84	3.04	1.18
2.25	4421	3.30	4069	16	2.02	3.22	1.20
2.50	5259	3.50	4540				
2.75	6063	3.75	5061				
3.00	6849	3.90	5161				
3.50	7423	4.00	5498				
3.75	7688	4.25	5812				
4.00	7718	4.50	5951				
4.25	7720	5.00	6046				
LENGTE DREMPEL	HOOGTE DREMPEL	LENGTE DREMPEL	HOOGTE DREMPEL	TIJDSSTIP OVERSTORTEN DEELSTELSEL 2 : T = 17.92 MIN.			
M	M TOV NAP	M	M TOV NAP	*****			
4.00	2.90	5.17	3.40	DIAMETER	WANDRUWHEID	DEBIET	LENGTE STUWRIOOL
2.00	3.10	2.50	3.50	M	MM	M3/H	M
4.00	2.90	1.00	4.25	.30	1.000	709	11.8
4.00	2.90	1.85	4.10	.40	1.000	709	108.5
				.50	1.000	709	397.6
OPPERVLAKTE 66.7 HA.		OPPERVLAKTE 67.6 HA.					
POMPOVERKAP. .148 M3/S.		POMPOVERKAP. .057 M3/S.					
RANDVOORWAARDE BENEDENSTROOMS : NAP +1.10 M.							

berekening in te voeren regenintensiteit. De berekening van de waarde van  $\alpha$  is, evenals de berekening van het verloop van het drukverschil, goed met de hand uit te voeren hoewel dit een tijdrovende zaak is. Het verdient daarom aanbeveling hierbij gebruik te maken van de computer.

In afb. 8 is een computeroutput weergegeven van een eenvoudige stuwriool dimensionering. Het voorbeeld betreft een geval met interne overstorten. Berekening met de hand zou betekenen dat m.b.v. de relaties waterstand-geborgen rioolwater  $\sqrt{h}$  als functie van  $t$  zou moeten worden bepaald.

Na berekening van  $T$  bij een bepaalde regenintensiteit, zou dan

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{h} dt$$

(de gemiddelde waarde van  $\sqrt{h}$  over de periode  $T$ ) kunnen worden vastgesteld. M.b.v. het ontwerpdebiet kan dan  $\alpha$  worden berekend en aan de hand daarvan een

$$\text{stuwconstructie waarvoor } \frac{Q}{\sqrt{h}} = \alpha$$

worden gekozen.

Behalve de dimensionering van stuwconstructies is m.b.v. bovenstaande benadering eveneens de capaciteit van bestaande stuwconstructies te controleren.

#### 6.4. Stuwgemalen

Bij kleine ontwerpcapaciteiten en grote drukverschillen worden de diameters van de stuwriolen of -openingen zeer klein. Er moet dan worden gevreesd voor verstoppingen. In die gevallen kan overwogen worden i.p.v. een stuwriool een zgn. stuwgemaal aan te brengen.

Een stuwgemaal pompt het water uit het hooggelegen deelstelsel naar het laaggelegen deelstelsel. De beide deelstelsels worden daarbij geheel van elkaar losgekoppeld, met uitzondering van een eventuele interne overstort.

Hoewel het op het eerste gezicht niet logisch is om water van 'hoog naar laag' te pompen, kan een stuwgemaal tot aanzienlijke besparingen leiden bij het opvoeren van het bergend vermogen van rioolstelsels, daar waar stuwconstructies niet zijn toe te passen.

#### 6.5. Kostenaspecten

De kosten van een stuwconstructie zijn afhankelijk van de uitvoering. Onderscheid kan worden gemaakt tussen stuwconstructies met en zonder inwendige overstort, stuwriolen, stuwopeningen etc. De kosten variëren gewoonlijk van f 5.000 - f 40.000 voor stuwconstructies,

de kosten voor stuwgemalen liggen in het algemeen hoger.

De kosten voor het aanbrengen van berging in riolen variëren van f 300 - f 1.500 per m<sup>3</sup>, afhankelijk van de situatie. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat het aanbrengen van stuwconstructies reeds kostenbesparend is bij een relatief geringe vergroting van de berging.

In de praktijk is een toename van het bergend vermogen d.m.v. stuwconstructies in de orde van grootte van 500 - 2000 m<sup>3</sup> geen uitzondering.

In het voorbeeld van afb. 8 is de toename van de berging ca. 1300 m<sup>3</sup>. Deze berging zou bij uitvoering in riolen of als bergbezinkbassin ca. f 800.000,— kosten. De kosten van 100 m stuwriool  $\phi$  400 mm zijn in de orde van grootte van f 30.000,— (deze kosten zijn uiteraard sterk afhankelijk van de situatie).

#### 7. Conclusies

In de berekening van het bergend vermogen van rioolstelsels worden vereenvoudigingen aangebracht. De berekening van de bovendrempelberging blijft echter een moeilijke zaak. In dit artikel is een eenvoudige benaderingswijze voor het bepalen van de bovendrempelberging aangegeven. Door het aanbrengen van stuwconstructies kan het bergend vermogen van een rioolstelsel aanzienlijk en op goedkope wijze worden vergroot. De capaciteit van een stuwconstructie is in belangrijke mate afhankelijk van het drukverschil over de stuwconstructie. In het ontwerp dient daarmee rekening te worden gehouden. In het voorgaande werd een methode aangegeven om stuwconstructies te dimensioneren en de capaciteit van bestaande stuwconstructies te controleren. Bij geringe ontwerpcapaciteiten en grote drukverschillen wordt de kans op verstoppingen bij het aanbrengen van stuwconstructies te groot. Er kan dan worden overwogen om een stuwgemaal toe te passen.

#### Literatuur

1. Wiggers, J. B. M., Bakker, K., Leunk, J. W., *De beoordeling van rioolstelsels ten aanzien van vuilozingen*, H<sub>2</sub>O, tiende jaargang nummer 19.
2. Wiggers, J. B. M., Bakker, K., Leunk, J. W., *Beoordeling van rioolstelsels, vuilozingen en kostenaspecten*, H<sub>2</sub>O, tiende jaargang nummer 20.
3. Koot, Prof. ir. A. C. J., *Inzameling en transport van rioolwater*, Uitgeverij Waltman, Delft 1977.



#### Ingezonden:

##### Fosfaatbelasting Friesland

In H<sub>2</sub>O nr. 1 van 4 januari 1979 legt drs. T. H. L. Claassen in zijn artikel over de 'Globale Fosfaatbalans van Frieslands boezem' [1] terecht de nadruk op de grote verschillen in fosfaatbelasting, die binnen relatief kleine gebieden kunnen bestaan. Hij verwijst dan naar een berekening van mij in een artikel in Waterschapsbelangen [2] van een bruto fosfaatbelasting van Frieslands boezem van 8 gP m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup>, waarbij ik uitgegaan ben van een oppervlakte van 14.000 ha boezemwater. Zijn inziens is deze berekening fout, aangezien de belasting betrekking heeft op het totale Friese oppervlaktewater van 30.000 ha, waardoor een bruto fosfaatbelasting van 4,1 gP m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup> wordt gevonden. Hij veronderstelt verder, dat ik er bij de berekening van 8 gP m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup> van uit ben gegaan, dat alle inbreng, dus ook die in polders, uiteindelijk in het boezemwater terecht komt.

Deze veronderstelling is onjuist. Mijn 'fout' — voorzover je hier van een fout kan spreken — is gebaseerd op een opgave uit een nota [3] van de Provinciale Waterstaat van Friesland, waarin op pagina 12, zowel in de tekst als in de tabel, wordt gesproken van een bruto fosfaatbelasting van 1130 ton voor Frieslands boezem in 1973. Indien deze 1130 ton wordt gedeeld door de oppervlakte van Frieslands boezem (14.000 ha) dan kom je op ca. 8 gP m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup>. Uit Claassen's artikel begrijp ik nu, dat de genoemde 1130 ton geen betrekking heeft op Frieslands boezem, maar op Frieslands oppervlaktewater totaal (30.000 ha). Mijn 'fout' is dus gebaseerd op een verkeerde bron en niet op de veronderstelling, dat alle inbreng uiteindelijk in het boezemwater terecht zal komen. Dat laatste acht ik ook beslist niet aannemelijk, omdat een groot gedeelte van de bruto fosfaatbelasting, niet alleen uit de natuurlijke uitspoeling en de landbouw, maar ook uit de huishoudelijke en industriële lozingen in polderwater terecht zal komen en aldaar zal sedimenteren of in plantenmateriaal worden vastgelegd, waardoor het de boezem nimmer zal bereiken. Bovendien zal een behoorlijk gedeelte van de P-belasting in het in Friesland ingelaten water ook juist de polders bereiken, waar het in tijden van watertekort wordt ingelaten.

Kortom, ik hecht zeer weinig aan de door Claassen voorgestelde berekeningswijzen B (alle belasting op 14.000 ha boezemwater) en C (alle belasting minus landbouw en natuurlijke uitspoeling op 14.000 ha), zoals hij deze ook heeft weergegeven in tabel V en afb. 4 en 5, omdat op grond van een globale fosfaatbalans heel weinig of niets te zeggen