

# Bezinking, mineralisatie en opwoeling van slib in een rioolstelsel

## Inleiding en probleemstelling

De vuiluitwerp veroorzaakt door overstortingen uit gemengde rioolstelsels is tot dusver onvoldoende gekwantificeerd. Dit heeft tot gevolg dat de verschillende maatregelen ter beperking van de vuillast niet goed op hun effectiviteit kunnen worden beoordeeld. Als 'maat' voor de vuillast wordt tot nu toe hoofdzakelijk de theoretische overstortfrequentie gehanteerd. In de ontwerpfasen van de riolering worden hieraan door de waterkwaliteitsbeheerder beperkingen opgelegd. Vrij algemeen wordt derhalve



IR. A. S. HOGENDOORN-  
ROOZEMOND  
Witteveen + Bos  
raadgevend ingenieursbureau

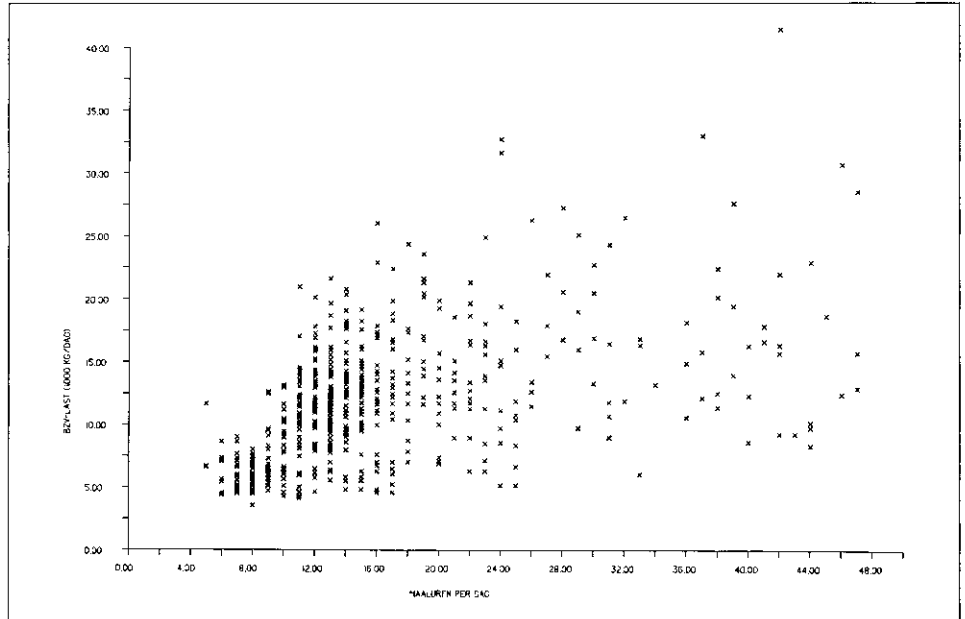
terwille van een lagere theoretische overstortfrequentie berging in het rioolstelsel aangebracht en wel meer dan nodig is om voldoende afvoercapaciteit van het stelsel te garanderen. Een dergelijke maatregel is kostbaar en waarborgt geenszins een probleemloze verwerking van de incidentele overstorting. De achtergrond voor deze leemte in de benodigde kennis ligt onder andere in het feit dat overstortingen slechts enkele malen per jaar en op onvoorspelbare tijdstippen voorkomen. Representatieve monsterneming is niet eenvoudig en metingen dienen gedurende vele jaren plaats te vinden, alvorens statistisch betrouwbare uitspraken kunnen worden gedaan.

Allereerst is de vuiluitwerp in sterke mate afhankelijk van de hoeveelheid neerslag. Het is bovendien bekend dat opwoeling van in het stelsel bezonken rioolslib een grote rol speelt. Factoren als neerslagintensiteit, de lengte van de voorafgaande droogweelperiode en de temperatuur (in verband met mineralisatieprocessen) zullen derhalve een belangrijke invloed hebben op de vuiluitwerp.

In het hierna beschreven onderzoek is een nieuwe weg bewandeld om relevante gegevens te verkrijgen aangaande variabelen en processen die de vuillast bepalen. Hiertoe is gebruik gemaakt van de dagelijkse kwalitatieve en kwantitatieve afvalwatergegevens van een groot eindgemaal. Via statistische analyse van deze gegevens is het mogelijk gebleken de effecten te kwantificeren van droogweelperiode en temperatuur op de processen van bezinking, mineralisatie en opwoeling van slib in het betreffende rioolstelsel.

## Gegevensbestand

Ten grondslag aan het onderzoek liggen



Afb. 1 - Relatie tussen dagelijkse BZV-last en het volume aangevoerd afvalwater.

gegevens van het afvalwater van Breda, die in de jaren 1978 en 1979 door bemonstering bij het gemaal 'Emerweg' zijn verkregen. Het gegevensbestand bestond uit onder andere:

- dagelijkse metingen van het aantal maaluren van de pompen;
- de waarden van het biochemisch en chemisch zuurstofverbruik (resp. BZV en CZV), alsmede de Kjeldahl-stikstofgehalten van het aangevoerde water; deze zijn continu en proportioneel aan het volume bemonsterd;
- neerslagmetingen (als dagtotalen) van de weerstations Ginneken en Nieuweer.

## Werkwijze

Wanneer de dagelijkse vuilvrucht (als BZV, CZV en N) wordt uitgezet tegen de aangevoerde hoeveelheid afvalwater per dag, worden puntenwolken verkregen, zoals voor het BZV is afgebeeld in afb. 1. De relatie tussen vuilvrucht en aangevoerd volume is sterk gemaskerd. Deze grote spreiding van de punten wordt veroorzaakt door onder meer:

- regenwater (afvalwater wordt verdund);
- ophoping van slib in het riool tijdens droogweer;
- opwoelen van slib in het riool en inspoelen van straatvuil tijdens regenwaterafvoer;
- verschillen in kwaliteit van het geloosde afvalwater;
- temperatuurverschillen (verschil in mineralisatiegraad van het in het riool bezonken organisch materiaal);
- overstortingen (als rioolwater via een overstort het stelsel verlaat, komt een deel van de vuillast niet bij het gemaal aan).

Inzicht in de mate waarin mineralisatie van slib in het riool plaatsvindt en de temperatuurafhankelijkheid hiervan kan worden verkregen door de droogweer-

gegevens te analyseren op effecten van zomer- en winteromstandigheden. Het netto resultaat van bezinking, mineralisatie en opwoeling van slib, alsmede van inspoeling van straatvuil, kan worden afgelezen uit de extra aanvoer van vuil op regendagen. Deze extra vuilaanvoer kan op zijn beurt weer worden getoetst met de duur van de voorafgaande droogweelperiode.

## Analysemethodiek

### Programmatuur

Voor de statistische analyse van de gegevens is gebruik gemaakt van het computerprogramma GLIM (Generalised Linear Interactive Modelling [ref. 1]). Met behulp van dit systeem is onder andere 'curve fitting' mogelijk, waarbij de Y-variabele beschreven kan worden als functie van meerdere lineaire of gelineariseerde variabelen, in afhankelijkheid van meerdere factoren of combinaties daarvan. Regressie- en variantie-analyse liggen aan deze analysemethodiek ten grondslag. Beoordeling van de 'goodness of the fit' gebeurt op basis van minimalisering van de restvariantie, bij behoud van een zo groot mogelijk aantal vrijheidsgraden. Het al dan niet significant zijn van de verschillende effecten en/of combinatie van effecten vindt plaats via de Student-t toets. Door middel van het plotten van de betreffende residuen tussen de geschatte en gemeten waarden, kan worden gecontroleerd of een adequate functie voor de parameters is gekozen.

### Factoren en variabelen

Factoren worden gebruikt om het gegevensbestand in bepaalde groepen onder te verdelen, zodat de verschillen tussen de groepen in de analyse tot uiting kunnen

komen. De effecten van factoren, als het ware kwalitatieve variabelen, kunnen op een dergelijke wijze worden getoetst en in een model gebracht. In dit onderzoek worden de volgende factoren onderscheiden.

– Onderscheid tussen 'regendagen' en 'droogweerdagen'. Een regendag is gedefinieerd als een dag waarop bij minimaal één van de bovengenoemde weerstations meer dan 2 mm neerslag is gemeten.

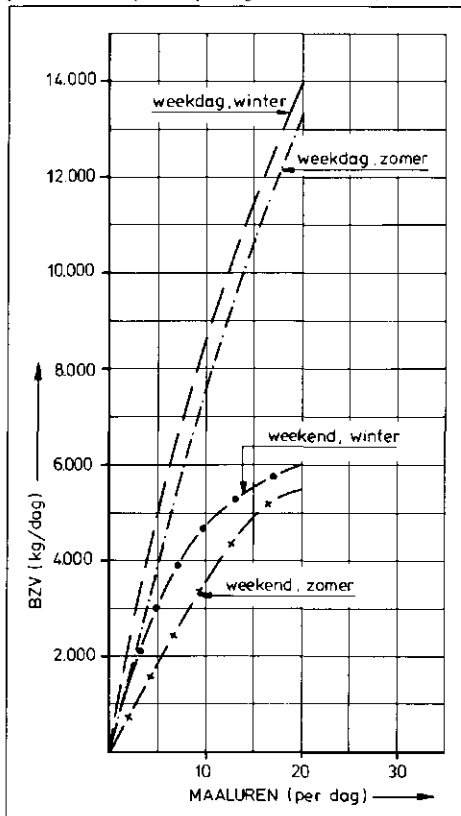
Achtergrond hiervan is dat neerslag van minder dan 2 mm per dag nauwelijks tot afstroming zal komen.

Tevens is iedere dag volgend op een regendag als 'regendag' beschouwd; dit vanwege het feit dat (met een gemiddelde ledigingstijd tussen 10 en 25 uur) het vele uren duurt alvorens de gevallen neerslag door het rioolstelsel is getransporteerd en vervolgens het gemaal bereikt. Bijgevolg is een droogweerdag gekarakteriseerd als een dag met minder dan 2 mm neerslag, die niet tevens direct volgt op een dag met meer dan 2 mm neerslag.

– Onderscheid tussen 'zomer- en winterdagen' (resp. periode april t/m sept. en okt. t/m maart). Deze factor is vooral van belang om een effect van de temperatuur op het mineralisatieproces waar te nemen.

Als variabelen dienen de dagelijkse vuilvracht (y-variabele), het aangevoerde volume afvalwater per dag en de duur van de voorafgaande droogweerdagen (x-variabelen).

Afb. 2 - De dagelijkse aangevoerde hoeveelheid BZV als functie van de afvoer bij droogweer (maaluren).



**Droogweerdagen**

De y-variabelen (vuilvracht in resp. kg/dag BZV, CZV en N) worden beschreven als functie van de aangevoerde hoeveelheid afvalwater (maaluren/dag), waarbij de verkregen curve door de oorsprong wordt gedwongen (immers, als geen afvalwater wordt aangevoerd, zullen de pompen niet werken). De beschrijving van deze functie wordt gezocht in de vorm van polynomen. Het minimale aantal termen van de polynoom wordt in het proces van 'curve fitting' bepaald. De afzonderlijke en gecombineerde effecten van weekend-/weekdag en van zomer/winter komen tot uiting in de waarden van coëfficiënten. Als de effecten van weekend-/weekdag en zomer/winter niet significant zijn, wordt de factor aan de analyse onttrokken.

**Regendagen**

Een analoge functie wordt opgesteld voor de regendagen, met dit verschil dat de voorafgaande droogweerdagen als tweede variabele parameter wordt meegenomen. In deze functie zijn dus drie x-variabelen aanwezig, te weten maaluren, droogweerdagen en het produkt van maaluren en droogweerdagen (t.b.v. analyse van het gecombineerde effect).

**Resultaten**

**Droogweerdagen**

In het weekend wordt significant minder afvalwater geproduceerd dan op weekdays; gemiddeld wordt respectievelijk 9,6 en 15,5 uur per dag gemalen. De factor zomer/winter daarentegen is niet significant gebleken, zodat het gemiddeld geproduceerde volume afvalwater per dag 's zomers en 's winters gelijk is te stellen.

TABEL 1 - Overzicht van de door 'curve fitting' verkregen functies voor de vuillastparameters BZV, CZV en N op droogweerdagen; verkl. var. = door de functie verklaarde variantie; r = correlatiecoëfficiënt.

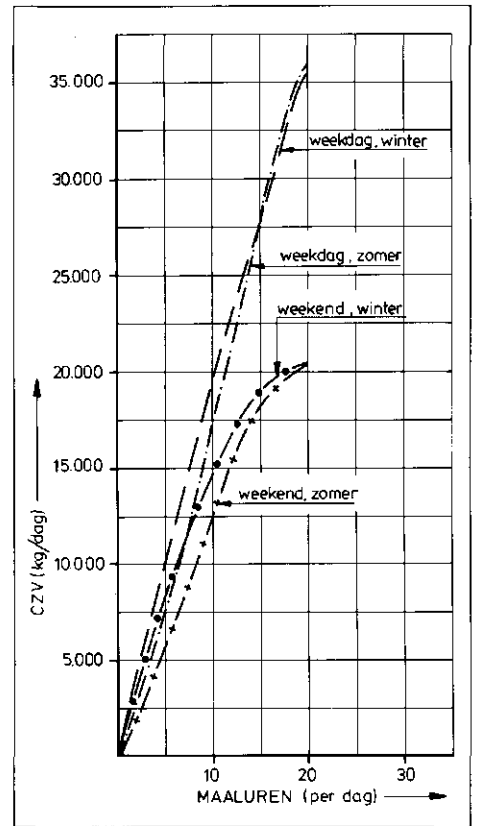
Factor	BZV-functie (verkl. var. = 65,5%; r = 0,81)
Weekend zomer	333 M + 8,47 M <sup>2</sup> - 0,569 M <sup>3</sup>
Weekend winter	785 M - 37,1 M <sup>2</sup> + 0,652 M <sup>3</sup>
Weekdag zomer	725 M + 8,47 M <sup>2</sup> - 0,569 M <sup>3</sup>
Weekdag winter	1.177 M - 37,1 M <sup>2</sup> + 0,652 M <sup>3</sup>

Factor	CZV-functie (verkl. var. = 65,1%; r = 0,81)
Weekend zomer	820 M + 73,2 M <sup>2</sup> - 3,14 M <sup>3</sup>
Weekend winter	1.844 M - 31,7 M <sup>2</sup> - 0,468 M <sup>3</sup>
Weekdag zomer	1.237 M + 73,2 M <sup>2</sup> - 2,25 M <sup>3</sup>
Weekdag winter	2.261 M - 31,7 M <sup>2</sup> - 0,420 M <sup>3</sup>

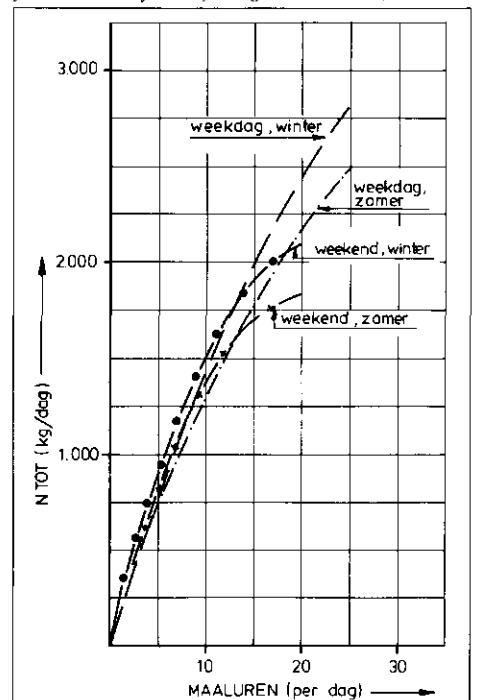
Factor	N-functie (verkl. var. = 62,9%; r = 0,79)
Weekend zomer	183 M - 4,54 M <sup>2</sup>
Weekend winter	196 M - 4,54 M <sup>2</sup>
Weekdag zomer	151 M - 2,03 M <sup>2</sup>
Weekdag winter	164 M - 2,03 M <sup>2</sup>



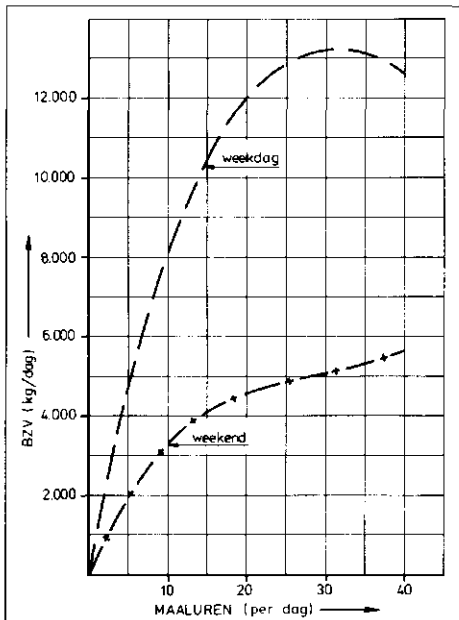
Afb. 3 - De dagelijks aangevoerde hoeveelheid CZV als functie van de afvoer bij droogweer (maaluren).

De door 'curve fitting' verkregen krommen, welke de dagelijkse vuilvracht beschrijven als functie van het aangevoerde volume, zijn in de afb. 2, 3 en 4 weergegeven. Tevens zijn voor iedere vuillastparameter de functies in formulevorm aangegeven (tabel I). De

Afb. 4 - De dagelijks aangevoerde hoeveelheid stikstof als functie van de afvoer bij droogweer (maaluren).

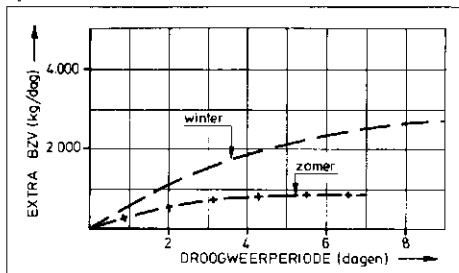


Afb. 5 - (a) De dagelijks aangevoerde hoeveelheid BZV als functie van de afvoer op 'regendagen'.  
(b) De extra BZV-aanvoer (als gevolg van opwoeling van bezonken materiaal in het stelsel) als functie van de lengte van de voorafgaande droogweelperiode.



Afb. 5a.

Afb. 5b.



gevonden functies verklaren 63-66% van de totale variantie, zodat voor de betreffende relaties correlatie-coëfficiënten tussen 0,79 en 0,81 zijn bereikt.

Op weekdays wordt als gevolg van bedrijfsactiviteiten aanzienlijk meer organisch materiaal op het riool geloosd dan in het weekend. Dit verschil is sterk significant en bedraagt tussen 6.000 en 7.000 kg BZV per dag en ongeveer 14.600-16.500 kg CZV per dag.

Duidelijk is geworden dat in de winter significant meer BZV en CZV het gemaal bereiken dan in de zomer. Hiermee wordt direct het verschil aangegeven in de hoeveelheid organische stof die in het stelsel in de zomer en winter wordt gemineraliseerd. In absolute zin bedraagt dit verschil bij gemiddelde afvoer 1.200 kg en 600 kg, voor respectievelijk de weekend- en weekdag-situatie.

Dit betekent dat minstens 26% van het in de weekends geproduceerde BZV en 5% van dat op weekdays door mineralisatie-processen tijdens droog weer niet bij het gemaal aankomt.

Voor het CZV bedragen deze verschillen respectievelijk 2.500 en 600 kg CZV. De relatief hoge mineralisatie van organisch materiaal gedurende het weekend is naar alle waarschijnlijkheid toe te schrijven aan de belangrijk geringere afvoer.

Van de factoren weekend-/weekdag en zomer/winter zijn geen afwijkende gecombineerde effecten gedetecteerd. Voor wat de stikstofcomponenten betreft, kan worden waargenomen dat doorgaans ook 's winters meer stikstof wordt aangevoerd dan in de zomer, maar dat de verschillen gering zijn. Het effect van de bedrijven (weekend-/weekdag-effect) is hierbij ook veel minder geprononceerd. Het afvalwater van de bedrijven bevat dus proportioneel gezien weinig stikstof.

#### Regendagen

Gemiddeld over zeven dagen van de week wordt op regendagen 18,8 uur gemalen. In tegenstelling tot de droogweersituatie is hier een zomer/winter effect te onderkennen, veroorzaakt door een grotere hoeveelheid af te voeren neerslag in de betreffende winters. Uitgesplitst naar de effecten van zomer/winter en weekend-/weekdag komt de gemiddelde tijd per dag waarin de pompen malen neer op:

- 14,2 uur op een weekend in de zomer;
- 16,8 uur op een weekend in de winter;
- 18,9 uur op een weekdag in de zomer en
- 21,5 uur op een weekdag in de winter.

De periode van droog weer, voorafgaand aan een regendag, varieert in de betreffende periode van 0 tot 19 dagen.

Het is echter opmerkelijk dat de droogweelperioden over het geheel gezien kort zijn: meer dan 90% van de betreffende waarnemingen hebben een voorafgaande droogweelperiode van minder dan 8 dagen.

In de afb. 5a en 6a zijn de BZV- en CZV-functies weergegeven voor de regendagen waaraan géén droogweerdag is voorafgegaan (droogweelperiode = 0).

De curven vertonen een afvlakking op de dagen waarop de pompen gezamenlijk meer dan 20 uren hebben gedraaid, hetgeen erop wijst dat het extra af te voeren water een verdunnend effect heeft. Significante zomer/winter effecten zijn in deze specifieke deelrelatie niet te onderkennen; het weekend-/weekdag effect, veroorzaakt door afvoer van bedrijfsafvalwater, is daarentegen sterk significant, zowel voor het BZV als het CZV.

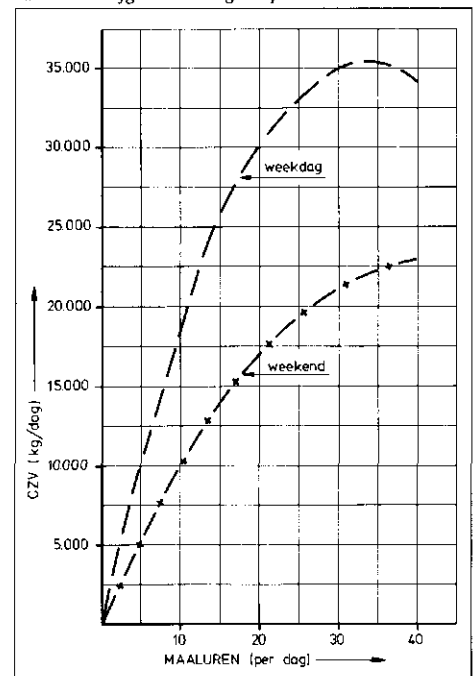
De relatie (bij een droogweelperiode = 0) tussen de stikstofvrucht en het aangevoerde volume wordt beschreven door vier curven. Er bestaat een significante afhankelijkheid van de factoren weekend-/weekdag en zomer/winter, alsook van het gecombineerde effect.

Het blijkt dat op weekdays in de winter significant minder stikstof per regendag wordt aangevoerd dan op grond van de som van de afzonderlijke effecten, toegeschreven aan winter (t.o.v. de zomer) en weekdag (t.o.v. weekend) kon worden verwacht. De zomer- en winter-curve voor de weekdays zijn dan ook bijna komen samen te vallen (afb. 7a).

Wanneer er een droogweelperiode langer dan één etmaal aan de regendag is voorafgegaan, wordt de vuillast significant verhoogd door opgewoeld rioolslib en opgehoopt straatvuil. Opmerkelijk is dat een significant zomer/winter effect hierin is waar te nemen, maar geen weekend-/weekdag effect. Het extra aangevoerde BZV, CZV en N, dat aan de tweede variabele 'droogweelperiode' is toe te schrijven is weergegeven in afb. 5b, 6b en 7b. De functies zijn in tabel II in formulevorm opgenomen.

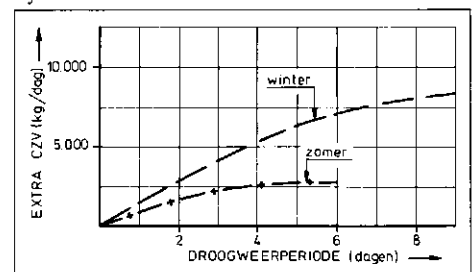
De beste beschrijving voor de invloed van de voorafgaande droogweelperiode op de

Afb. 6 - (a) De dagelijks aangevoerde hoeveelheid CZV als functie van de afvoer op 'regendagen'.  
(b) De extra CZV-aanvoer (als gevolg van opwoeling van bezonken materiaal in het stelsel) als functie van de lengte van de voorafgaande droogweelperiode.



Afb. 6a.

Afb. 6b.



TABEL II – Overzicht van de door 'curve fitting' verkregen functies voor de vuillastparameters BZV, CZV en N op regendagen.

Factor	BZV-functie (verkl.var. = 56.5%; r = 0.75)
Weekend	
zomer	466 M - 15,4 M <sup>2</sup> + 0,185 M <sup>3</sup> + 371 D - 37,2 D <sup>2</sup>
winter	466 M - 15,4 M <sup>2</sup> + 0,185 M <sup>3</sup> + 642 D - 37,2 D <sup>2</sup>
Weekdag	
zomer	1.045 M - 25,6 M <sup>2</sup> + 0,185 M <sup>3</sup> + 371 D - 37,2 D <sup>2</sup>
winter	1.045 M - 25,6 M <sup>2</sup> + 0,185 M <sup>3</sup> + 642 D - 37,2 D <sup>2</sup>
Factor	CZV-functie (verkl.var. = 52.8%; r = 0.73)
Weekend	
zomer	1.125 M - 13,6 M <sup>2</sup> + 989 D - 83,3 D <sup>2</sup>
winter	1.125 M - 13,6 M <sup>2</sup> + 1.705 D - 83,3 D <sup>2</sup>
Weekdag	
zomer	2.153 M - 32,6 M <sup>2</sup> + 989 D - 83,3 D <sup>2</sup>
winter	2.153 M - 32,6 M <sup>2</sup> + 1.705 D - 83,3 D <sup>2</sup>
Factor	N-functie (verkl.var. = 59.2%; r = 0.77)
Weekend	
zomer	162 M - 5,36 M <sup>2</sup> + 0,0573 M <sup>3</sup> + 43,9 D - 3,23 D <sup>2</sup>
winter	176 M - 5,36 M <sup>2</sup> + 0,0573 M <sup>3</sup> + 72,3 D - 3,23 D <sup>2</sup>
Weekdag	
zomer	183 M - 5,36 M <sup>2</sup> + 0,0573 M <sup>3</sup> + 43,9 D - 3,23 D <sup>2</sup>
winter	182 M - 5,36 M <sup>2</sup> + 0,0573 M <sup>3</sup> + 72,3 D - 3,23 D <sup>2</sup>

vuillast wordt stelselmatig voor alle onderzochte vuillastparameters gevonden in de vorm van een kwadratische functie. Een gecombineerd effect van de variabelen droogweelperiode en maaluren is niet significant gebleken.

Bij toenemende lengte van de droogweelperiode neemt de netto hoeveelheid opwoelbaar slib (uitgedrukt in BZV/CZV/N) minder snel toe, totdat uiteindelijk een 'evenwicht' is bereikt. Deze hypothetische evenwichtssituatie geeft aan dat per dag net zoveel slib wordt gemineraliseerd als er via bezinking van vers materiaal bijkomt. De 'maximale' hoeveelheid slib opgehoopt in het stelsel wordt gevonden bij een droogweelperiode met een lengte tussen 5 en 7 dagen in de zomer en tussen 7 en 11 dagen in de winter.

Aangezien het aantal gegevens betreffende droogweelperioden langer dan 8 dagen nogal beperkt is, dienen de gevonden curven niet in dit gebied te worden geëxtrapoleerd. Een indicatie van de hoeveelheid opwoelbaar slib die 'maximaal' in het stelsel ligt opgehoopt is in tabel III weergegeven. Tevens is hierbij aangegeven hoeveel procent dit bedraagt van de dagelijks gemiddeld aangevoerde vuillast op weekdagen.

TABEL III – Hoeveelheid 'opwoelbaar' slib in het stelsel uitgedrukt als vuilvrucht (kg BZV, CZV en N) en als percentage van de dagelijks gemiddeld aangevoerde vuillast op weekdagen.

Vuillast parameter	Extra vuillast, zomer		Extra vuillast, winter	
	kg	%	kg	%
BZV	900	10	2.800	24
CZV	2.900	10	8.700	30
N	150	12	400	20

Correlatiecoëfficiënten tussen 0,73 en 0,77 zijn bereikt voor de gevonden vuillastfuncties in afhankelijkheid van de maaluren en voorafgaande droogweelperiode.

**Restvariantie**

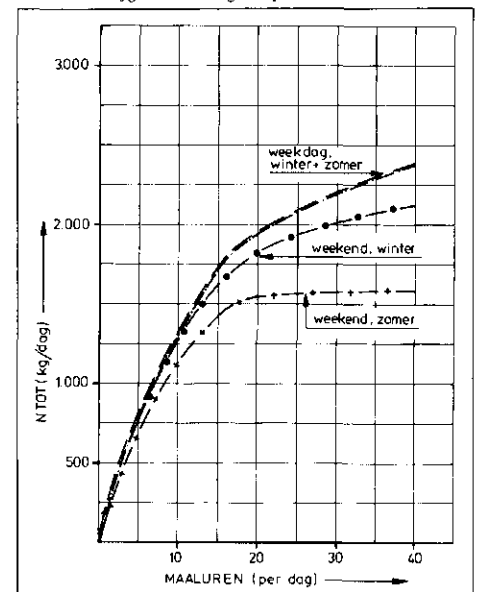
Over het geheel genomen verklaren de gevonden functies voor de vuillastparameters in afhankelijkheid van de aanvoer en voorafgaande droogweelperiode 53% - 66% van de totale variantie. De niet door deze functies verklaarde restvariantie is toe te schrijven aan een aantal niet in de analyse betrokken effecten zoals onder meer:

- vertragingverschijnselen; regenwater wordt door een rioelstelsel vertraagd afgevoerd; om deze reden is het begrip 'regendag' uitgebreid naar de dag volgend op een dag met neerslag; op deze dagen is echter niet altijd van regenafvoer sprake;
- overstortingen; enkele malen per jaar treden bij hevige regenval overstortingen op, waarbij rioelwater het oppervlaktewater bereikt; deze vuillast wordt niet bij het gemaal waargenomen, zodat de vuillast op de betreffende dag is onderschat;
- hevigheid van buien; het is bekend dat meer rioelslib tot opwoeling kan komen naarmate de snelheid van het afvalwater in het rioel groter is; het is te verwachten dat buien met een hoge regenintensiteit meer slib tot opwoeling brengen dan de weinig intensieve regens;
- variabele kwaliteit van huishoudelijk en bedrijfsafvalwater; de concentratie van het aangeboden afvalwater vertoont per dag zekere fluctuaties; dit geldt in belangrijke mate voor de bedrijven die te maken hebben met campagnevoering; tijdelijk zullen dan grote hoeveelheden afvalwater op het rioel worden geloosd die in concentratie sterk afwijken van dat van het gemiddeld aangevoerde afvalwater;
- meetnauwkeurigheden.

**Conclusies**

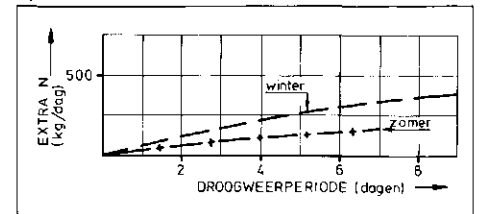
1. Op relatief eenvoudige wijze kunnen bruikbare gegevens betreffende bezinkings-, mineralisatie- en opwoelingsprocessen van slib in een rioelstelsel worden ontleend aan de statistische analyse van kwantiteits- en kwaliteitsmetingen van door een gemengd stelsel aangevoerd afvalwater.
2. Zowel bezinking als mineralisatie van rioelslib blijken in het onderzochte rioelstelsel voor te komen. Bij regenwaterafvoer vindt er een opwoeling van dit slib plaats.
3. De aan een regendag voorafgaande droogweelperiode is een essentiële variabele voor de prognose van de in het rioel opgehoopte hoeveelheid slib.
4. Voor het onderzochte rioleringsgebied blijkt dat door de activiteit van de bedrijven op weekdagen het af te voeren volume afvalwater aanzienlijk groter is dan in de

Afb. 7 - (a) De dagelijks aangevoerde hoeveelheid N als functie van de afvoer op 'regendagen'. (b) De extra N-aanvoer (als gevolg van opwoeling van bezonken materiaal in het stelsel) als functie van de lengte van de voorafgaande droogweelperiode.



Afb. 7a.

Afb. 7b.



weekends; het verschil in aangevoerde vuillast tussen weekdagen en weekenddagen bedraagt circa 6.000 - 7.000 kg BZV en 14.600 - 16.500 kg CZV.

Het door de bedrijven geloosde afvalwater bevat relatief weinig stikstof.

5. Tengevolge van de lage afvoer komt door mineralisatieprocessen 'zomers 26% (1.200 kg BZV) van het geproduceerde BZV in het weekend tijdens droog weer niet bij het gemaal aan; op weekdagen bedraagt dit circa 5% (600 kg BZV).

6. Tijdens droog weer hoopt zich in het rioel slib op terwijl tegelijkertijd mineralisatie van dit slib plaatsvindt. De netto hoeveelheid organisch materiaal opgehoopt in het rioelstelsel bij droog weer neemt echter niet lineair toe met toenemende droogweelperiode. De via statistische analyse verkregen curven geven aan dat na 5 - 7 dagen in de zomer en na 7 - 11 dagen in de winter een 'steady state' wordt bereikt, aangevend dat de processen van mineralisatie en bezinking elkaar in evenwicht houden.

7. In de zomer bedraagt de aan slibophoping toe te schrijven extra vuilvrucht in het rioel in zijn totaliteit ongeveer 10 - 12% van de

aspecten die het chemicaliënverbruik bepalen.

Gezien de geringe invloed welke de grootte van de onthardingsreactoren hebben op de totale kosten voor de ontharding is een scherpe optimalisatie ten aanzien van reactordimensies niet erg winstgevend. Bovendien kan met het oog op de debiet-fluctuaties een zekere mate van flexibiliteit gewenst zijn.

Uit het onderzoek blijkt dat, bij een zekere bedhoogte, pelletontharding over een range van 75 – 125% van de optimale superficiële snelheid slechts in beperkte mate afhankelijk is van de snelheid. Deze gevoeligheid kan nog worden verminderd door het aanpassen van de bedhoogte (zie afb. 2).

De totale kosten voor de ontharding worden met name bepaald door de chemicaliën-kosten. Optimalisatie van de ontharding dient zich dan ook met name te richten op het natronloogverbruik. Bij een optimaal natronloogverbruik zal ook de eventuele na-ontharding beperkt blijven. In tabel III is voor verschillende procescondities het natronloogverbruik gegeven voor een gewenste graad van ontharding in een pelletreactor.

Gebaseerd op de kostprijs voor natronloog van 0,07 ct/m<sup>3</sup> onthard water per mg/l-dosering, blijkt de invloed van de pelletdiameter op de natronloogkosten ongeveer 0,5 – 1 ct/m<sup>3</sup> onthard water te bedragen bij ontharding tot 1,0 mmol/l calcium.

Bij ontharding tot 0,5 mmol/l calcium behoeft slechts 70% van de totale waterstroom onthard te worden om een calciumgehalte van 1,0 mmol/l in het reine water te verkrijgen. Uit de gegevens in tabel III is af te leiden dat het totale loogverbruik bij een dergelijke 'split-treatment' 10 – 15% hoger is dan bij behandeling van de gehele productie, bij een maximale pelletdiameter van 1,0 mm. Bij een maximale pelletdiameter van 0,5 mm is split-treatment evenwel mogelijk zonder een verhoging van het totale loogverbruik. Opgemerkt dient te worden dat hierbij geen rekening is gehouden met de na-ontharding in de snelfilters. De conclusie ten aanzien van split-treatment wordt hierdoor echter niet wezenlijk beïnvloed.

## 6. Conclusions

Op basis van het verrichte onderzoek kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- Pelletontharding blijkt binnen een range van 75 – 125% van de optimale snelheid weinig gevoelig te zijn voor veranderingen in superficiële vloeistofsnelheid. Door variatie van de bedhoogte is deze ongevoeligheid nog te vergroten.
- Pelletontharding blijkt aanmerkelijk beter te verlopen bij een kleinere maximale pelletdiameter. Bij een maximale pellet-

diameter van 0,5 mm kan bij ontharding van het onderzochte duin/infiltratiewater een oververzadiging in het effluent worden bereikt van slechts 0,05 mmol/l.

c. Pelletontharding blijkt voor ontharding op het pompstation Castricum een gunstige invloed te hebben op de looptijd van de nageschakelde snelfilters door de gedeeltelijke verwijdering van ijzer.

d. Een optimaal verlopend pelletonthardingsproces blijkt slechts in beperkte mate te resulteren in afzettingen in de nageschakelde snelfilters.

e. Troebelheid na pelletontharding is zodanig dat nafiltratie vereist is om te voldoen aan de waterkwaliteitseisen.

f. Ontharding en filtratie van het duin/infiltratiewater heeft geen hinderlijke na-ontharding tot gevolg.

## Symbolenlijst

- $d_p$  = maximale pelletdiameter  
 $h_f$  = bedhoogte in rust  
 $v$  = superficiële vloeistofsnelheid  
 $Ca_{inf}$  = calciumgehalte influent

## Literatuur

- Graveland, A., Prinsen Geerligts, W. L. en Soleman, M. A. A. *Centrale hardheidscorrectie door kristallisatie*. H<sub>2</sub>O (6) 1973, nr. 15, p. 382
- Van Ammers, M. *De zuivering in het nieuwe Spannenburg*. H<sub>2</sub>O (15) 1982, nr. 18, p. 487.
- Maurits, W. *Ontharding met pelletreactor te Castricum*. Stageverslag TH Delft ST, 1981.
- Dijkhoorn, J. C. *Pelletontharding bij het PWN pompstation Castricum*. Afstudeerverslag TH Delft CT, 1982.
- Het kalk-koolzuurevenwicht opnieuw bezien*. Interne DHV-publicatie, 1982, 118 blz.

## Bezinking, mineralisatie en opwoeling

- Slot van pagina 323

dagelijks aangevoerde hoeveelheid op weekdagen; in de winter lopen deze percentages door de aanmerkelijk vertraagde mineralisatie op tot 20-30% van de dagelijks aangevoerde vuilvracht op weekdagen.

## Slotbeschouwing

Het is duidelijk dat bovengenoemde conclusies alleen gelden voor het betreffende rioleringsgebied te Breda. De karakteristieken ten aanzien van het afvalwater, aard van het rioolstelsel, uitgestrektheid van het afwaterende gebied en dergelijke zijn specifiek, waardoor de uitkomsten van dit onderzoek niet zonder meer betrokken kunnen worden op andere rioolstelsels. Het verdient aanbeveling een dergelijke analyse ook voor andere stelsels uit te voeren, teneinde ook kwantitatief inzicht te verkrijgen in de effecten van de verschillende vuillastparameters die de vuiluitworp uit gemengde rioleringsystemen bepalen. Verwacht wordt dat wanneer meerdere

rioolstelsels op analoge wijze worden geanalyseerd, essentiële gegevens omtrent de vuiluitworp uit rioolstelsels beschikbaar zullen komen. Dit zal een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het op basis van kosten en effectiviteit optimaliseren van rioolstelsels en daardoor aan een 'verantwoorde' bescherming van de ontvangende oppervlaktewateren.

## Dankwoord

Veel dank is verschuldigd aan het Hoogheemraadschap West-Brabant voor het ter beschikking stellen van het gegevensbestand. De inspanning van de heer ir. R. E. M. van Oers is in deze bijzonder op prijs gesteld.

## Referentie

- Baker, R. J. and Nelder, J. A. (1978). *GLIM manual*. Numerical Algorithms Group, Oxford.



## Agenda

20 juni - 8 juli 1983, Amsterdam:

1st International Summer Programme on Health Services Evaluation 'The Evaluation of Drinking Water and Sanitation Projects'. Inl.: Dr. J. M. V. Oomen, Koninklijk Instituut voor de Tropen, Mauritskade 63, 1092 AD Amsterdam.

4 - 7 juli 1983, York, UK: Third River Management Conference. Inl.: D. H. Newsome, 7th Floor, Reading Bridge House, Reading, Berkshire RG1 5PS, UK.

12 - 14 juli 1983, London, UK: World Water '83, The World Problem, The first of a series of three congresses (1983, 1986, 1989) in support of the United Nations International Drinking Water Supply and Sanitation Decade 1981 - 1990. Inl.: Richard West, World Water Congress '83, County House, 10 Little Portland Street, London, W1N 5DF, UK.

14 - 20 augustus 1983, Boston, USA: Third International Symposium on Anaerobic Digestion. Inl.: Third Int. Symp. Anaerobic Digestion, 99 Erie Street, Cambridge, MA 02139 USA.

24 - 26 augustus 1983, Kopenhagen, Denemarken: Specialised Seminar 'Rain Fall as the Basis for Urban Run-off Design and Analysis'. Inl.: Prof. Poul Harremoes, Department of Sanitary Engineering, Building 115C, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark.

6 - 8 september 1983, Londen, UK: International Symposium on the Sources, Transport Pathways, Properties and Effects of Highway Pollution. Inl.: Dr. R. Hamilton, Urban Pollution Research Centre, Middlesex Polytechnic Queensway, Enfield, Middlesex, EN3 4SF, UK.

