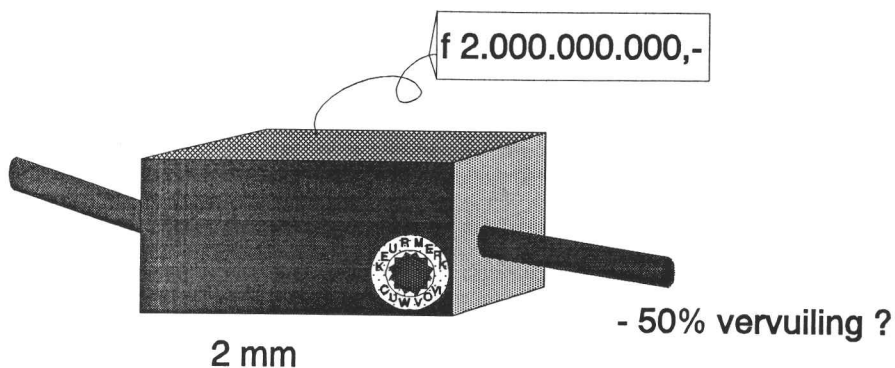


# Onderzoek aan bergbezinktanks Stand van zaken

Tussenrapport 1 van het Rionedproject 92-05 "Onderzoek bergbezinktanks"

Juli 1992

Ir. J. Kluck



770094

## Onderzoek aan bergbezinktanks:

### Stand van zaken.

Technische Universiteit Delft  
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek  
(Bezoekadres Stevinweg 1)  
Postbus 5048  
2600 GA DELFT

Tussenrapport 1 van het Rionedproject 92-05 "Onderzoek bergbezinktanks".

Rapp  
CT  
WMG-Gez.  
92-02

Juli 1992  
ir. J. Kluck  
Vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing  
Faculteit der Civiele Techniek  
Technische Universiteit Delft

3132 296

# **INHOUDSOPGAVE**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INLEIDING</b>                             | <b>1</b>  |
| 1.1 Probleembeschrijving                       | 1         |
| 1.2 Probleemstelling                           | 3         |
| 1.3 Doel                                       | 4         |
| 1.4 Organisatie                                | 4         |
| <b>2 AFVOER VAN WATER</b>                      | <b>5</b>  |
| 2.1 Rioolstelsels                              | 5         |
| 2.2 Bergbezinktanks                            | 7         |
| <b>3 DIMENSIONEREN BERGBEZINKTANKS</b>         | <b>10</b> |
| 3.1 Overstortingsnormen                        | 10        |
| 3.2 Rendementen                                | 12        |
| 3.3 Ontwerpmethoden                            | 16        |
| 3.3.1 Nederlandse ontwerpmethode               | 16        |
| 3.3.2 Buitenlandse ontwerpmethoden             | 19        |
| 3.3.3 Conclusies                               | 20        |
| <b>4 MODELLERING</b>                           | <b>21</b> |
| 4.1 Modelkeuze                                 | 21        |
| 4.2 Modelinvoer                                | 21        |
| 4.3 Stand van zaken                            | 22        |
| <b>VERKLARENDE WOORDENLIJST EN AFKORTINGEN</b> | <b>23</b> |
| <b>SYMBOLENLIJST</b>                           | <b>24</b> |
| <b>LITERATUURLIJST</b>                         | <b>25</b> |

# 1 INLEIDING

Dit is het eerste rapport van het onderzoek naar het hydraulische gedrag van bergbezinktanks met het oog op de optimalisering van de bezinking. Het onderzoek is gestart met een literatuurstudie. De resultaten hiervan staan in dit rapport. Na een probleembeschrijving en een beschrijving van het doel van het onderzoek in hoofdstuk 1, volgen in hoofdstuk 2 een beschrijving van verschillende rioleringssystemen en een beschrijving van bergbezinktanks. Hoofdstuk 3 handelt over overstortnormen, rendementen en ontwerpmethoden. Om een goed inzicht te verkrijgen in de stromings- en bezinkingsprocessen in bergbezinktanks, zal een deterministisch model worden gemaakt. In hoofdstuk 4 wordt de keuze gemotiveerd voor een stromingssimulatieprogramma, waarmee zo'n model kan worden opgezet.

Het opzetten van en het rekenen met het model zal in het volgende rapport aan de orde komen.

## 1.1 PROBLEMBESCHRIJVING

Van de bestaande rioleringen in Nederland maakt 76% (van de totale lengte) deel uit van gemengde stelsels [CUWVO VI, 1992]. Bij hevige regenval wordt een deel van het rioolwater uit gemengde stelsels op het oppervlaktewater geloosd. Uit onderzoek van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) naar de effecten van emissies op oppervlaktewater [NWRW 9.1] blijkt dat na het optreden van overstortingen het ontvangende oppervlaktewater vervuild is. Dit uit zich in:

- \* stank;
- \* vissterfte;
- \* visuele vervuiling: olie of grof rioolvuil;
- \* bacteriologische vervuiling;
- \* verkleuring van het water / troebel water.

Deze problemen zullen kleiner zijn naarmate het ontvangende water een betere doorstroming heeft. Echter, 85% van de overstortingen vindt plaats op stagnerend water of water met een beperkte doorstroming!

Uit het NWRW-onderzoek nr. 9.1 is tevens gebleken dat de IMP<sup>(1)</sup>-normen voor basiskwaliteit van oppervlaktewater voor een aantal parameters (BZV, KjN, totaal P en coli) regelmatig werden overschreden, soms zelfs enige weken, of gedurende de gehele periode tussen twee overstortingen! Ook zijn verhoogde concentraties zware metalen in het sediment in de buurt van de overstorten gemeten. De adviesgrenswaarden voor Pb, Zn, Cu en Cd werden overschreden. Daarnaast is vervuiling door microverontreinigingen gemeten, doch de normen werden niet overschreden.

Om deze vervuiling zoveel mogelijk tegen te gaan worden door de waterkwaliteitsbeheerder grenzen gesteld aan de frequentie waarmee de overstortingen mogen plaatsvinden. Echter, niet alleen de overstortingsfrequentie is belangrijk,

---

<sup>(1)</sup> IMP = Indicatief Meerjaren Programma Water van 1985-1989. De basiskwaliteit van de IMP-norm is echter toxisch gebleken voor veel waterorganismen en daarom in de 3<sup>e</sup> Nota Waterhuishouding vervangen door een nieuwe norm (zie hoofdstuk 3.1).



maar ook de hoeveelheid vuil die in het oppervlaktewater terecht komt (de vuiluitworp). De vuiluitworp kan zowel worden gereduceerd door het aantal overstortingen te verminderen (door middel van het aanleggen van extra berging) als door de reductie van de concentratie aan verontreinigingen in het overstortende water.

Om de vervuiling van het oppervlaktewater door overstortend rioolwater te beperken, heeft de CUWVO<sup>(2)</sup> VI subwerkgroep Eisen rioolwateroverstorten voorgesteld de bestaande gemengde rioleringsystemen uit te breiden tot stelsels die wat betreft vuiluitworp gelijkwaardig zijn aan het volgende referentiestelsel [CUWVO VI, 1992]: een onderdrempelberging van 7 mm, een pompoevercapaciteit (p.o.c.) gelijk aan 0,7 mm/h plus 2 mm extra berging in de vorm van bergbezinktanks achter iedere overstort. Andere randvoorzieningen dan bergbezinktanks, of andere maatregelen zijn toegestaan, indien dat resulteert in rioleringsystemen met gelijke of kleinere vuiluitworpen.

Het is de verwachting dat dit voorstel van de CUWVO VI subwerkgroep in de toekomst zal worden opgenomen in de plannen en normen van de waterkwaliteitsbeheerders. In veel situaties komt het uitbreiden tot referentiestelsel neer op het aanleggen van 2 mm extra berging in bergbezinktanks, of qua vuiluitworp gelijkwaardige randvoorzieningen, daar de 7 mm onderdrempelberging veelal reeds aanwezig is. Omdat bergbezinktanks in de meeste situaties goede mogelijkheden bieden om de vuilemissies te verkleinen [CUWVO VI, 1992] en [NWRW 3.1], zal dit resulteren in de bouw van veel bergbezinktanks. Volgens [NWRW eindrapport, 1989] leveren bergbezinktanks de grootste reductie van de vuiluitworp (op basis van CZV).

Zoals in hoofdstuk 3.3 nader wordt toegelicht, bestaat geen aan de praktijk getoetste ontwerpmethodode voor het ontwerpen van bergbezinktanks. Bij de huidige Nederlandse ontwerpmethodode wordt uitgegaan van een stationaire doorstroming en een minimale verblijftijd om een verwachte vuilreductie te verkrijgen. In werkelijkheid zal de hoeveelheid en vuilconcentratie van het inkomende water variëren gedurende het verloop van de bui. Dit heeft niet-stationaire stroming en extra turbulentie tot gevolg, waardoor het rendement van de bezinking lager zal zijn dan verwacht.

Ook in het buitenland bestaat nog geen eenduidige ontwerpmethodode voor bergbezinktanks en geen eenduidige berekeningsmethode voor het bepalen van het effect van de bergbezinktanks. Naar (waarschijnlijk) de beste inzichten worden overal, op basis van verschillende methoden, bergbezinktanks ontworpen om een niet vooraf bekende vuilreductie te verkrijgen.

Volgens de CUWVO VI subwerkgroep is onderzoek naar optimalisatie van bergbezinktanks gewenst.

Uit naspeuringen, verricht in het kader van dit onderzoek, is gebleken dat betrouwbare (niet-stationaire) deterministische modellen die de hydraulica (stroming en bezinking) in bergbezinktanks voldoende nauwkeurig beschrijven, niet ter beschikking staan. Het inzicht in de bezinkingsprocessen onder invloed

---

<sup>(2)</sup> CUWVO: Commissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewater.

van niet-stationaire stroming in bergbezinktanks is onvoldoende ontwikkeld. Daar komt nog bij dat zeer weinig metingen aan proefopstellingen en aan prototypes ter beschikking staan om de langs mathematische weg beschreven stroming in tanks van verschillende vorm en grootte, te kunnen verifiëren. Daarentegen is aan continu doorstroomde tanks (voor- en nabezinktanks voor de afvalwaterzuivering) naar verhouding uitgebreid onderzoek verricht [Vermeer, 1990]. De uitkomsten van deze onderzoeken lenen zich, door de afwijkende stromingscondities en een gedeeltelijk andere hoedanigheid van de bezinkbare stoffen, niet voor een vertaling naar het gedrag van bergbezinktanks.

Om vast te kunnen stellen of verbeteringen aan bestaande tanks kunnen worden aangebracht en hoe nieuwe tanks moeten worden ontworpen, is een beter inzicht in de stromings- en bezinkingsprocessen nodig. Het is daarom wenselijk dat een deterministisch model wordt ontwikkeld dat de hydraulica van de bergbezinktanks voldoende nauwkeurig beschrijft, zodat optimaal werkende tanks (met name wat het bezinkingsrendement betreft) kunnen worden ontworpen. De uitkomsten van de modelberekeningen zullen moeten worden geverifieerd aan de hand van metingen aan schaalmodellen en vervolgens, indien noodzakelijk gebleken, aan reeds aanwezige tanks. De metingen aan schaalmodellen vormen voorlopig geen onderdeel van dit onderzoek.

Het is overigens de verwachting dat uit berekeningen met behulp van het deterministische model (en uit eventuele metingen aan fysische modellen) zal blijken welke problemen met de bezinking optreden en welke effecten van invloed zullen zijn op het ontwerp van bergbezinktanks. Door verbetering van het ontwerp zal waarschijnlijk de vuilreductie, teweeg gebracht door bergbezinktanks, kunnen worden vergroot.

Om het belang van dit onderzoek te illustreren, is de volgende berekening gemaakt. Indien de uitbreiding van rioelstelsels tot referentiestelsel in de vorm van 2 mm extra berging gerealiseerd gaat worden, brengt dit de volgende kosten met zich mee:

Er van uitgaande dat per inwoner gemiddeld 60 m<sup>2</sup> verhard oppervlak aanwezig is, waarvan het regenwater moet worden afgevoerd, zal in Nederland met 15 miljoen inwoners ter verkrijging van 2 mm berging een volume van 1.800.000 m<sup>3</sup> nodig zijn. Als de kosten van de berging wordt geschat op f 1.000,- à f 1.500,-/m<sup>3</sup>, betekent dit een totale investering van 2 à 3 miljard gulden! Het effect van deze investering is echter slecht, tot in het geheel niet, te kwantificeren.

Ook in het geval dat slechts bij een gedeelte van de gemengde rioelstelsels bergbezinktanks worden aangelegd, gaat het om een zeer groot bedrag. Hiervoor is onderzoek naar efficiëntere bergbezinktanks zeker op zijn plaats.

## 1.2 PROBLEEMSTELLING

Gezien de grote hoeveelheid extra berging die naar verwachting in de vorm van bergbezinktanks zal worden aangelegd, is het zeker de moeite waard de vuilreducerende werking van bergbezinktanks te verbeteren. Er bestaan echter geen bevredigende ontwerpmethoden op grond waarvan optimaal werkende tanks kunnen worden ontworpen.

### 1.3 DOEL

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van ontwerpmethoden voor bergbezinktanks. Hiertoe wordt een deterministisch model opgesteld, dat de niet-stationaire hydraulica (stroming en bezinking) in bergbezinktanks beschrijft. Hiermee kan de reductie van de vuiluitworp van bergbezinktanks worden bepaald en zal het mogelijk zijn om per situatie de beste oplossing te kiezen.

### 1.4 ORGANISATIE

Het onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van Stichting Rioned en is gestart op 17 februari 1992. Het onderzoek zal worden uitgevoerd door ir. J. Kluck onder verantwoordelijkheid van prof. ir. J.B.M. Wiggers.

De begeleidingscommissie bestaat uit de volgende personen:

dr.ir. P.J. Huiswaard, Onderzoeksadviesraad (OAR) van de Stichting Rioned;  
prof. dr. ir. G.S. Stelling, TUD;  
ir. T. Beenen, Stichting Rioned.

## 2 AFVOER VAN WATER

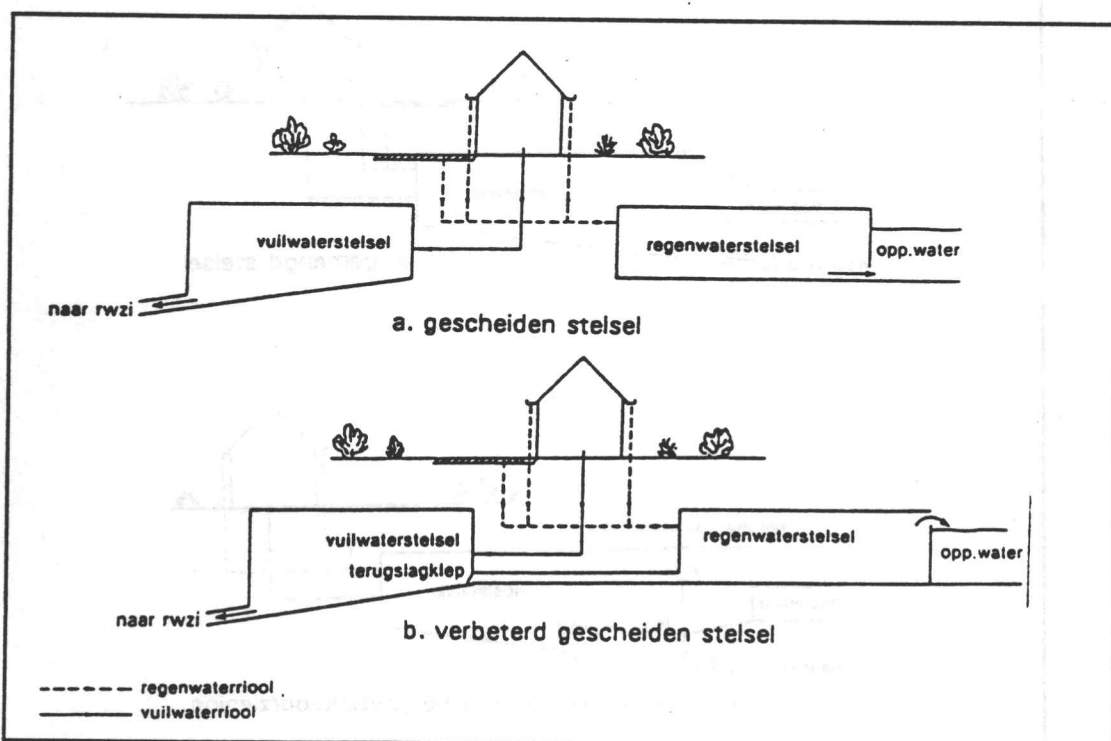
### 2.1 RIOOLSTELSELS

De functie van een rioolstelsel is het inzamelen en afvoeren van afvalwater en regenwater met het doel de volksgezondheid en een goed woon- en werkklimaat te bevorderen. Het afvalwater en regenwater kunnen beiden via een gezamenlijk leidingenstelsel of ieder apart via twee gescheiden leidingenstelsels worden afgevoerd: gemengd of gescheiden stelsel.

#### Gescheiden stelsel

Voor het afvalwater en het regenwater worden twee aparte stelsels aangelegd. Het regenwater wordt rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd. Zie figuur 2.1.a. De droogweerafvoer (dwa) wordt op de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) gezuiverd. Het dubbele rioolstelsel is duurder dan een enkelvoudig gemengd stelsel. Daar staat tegenover dat op de rwzi alleen de dwa behoeft te worden behandeld.

Het regenwater dat op het oppervlaktewater wordt geloosd, is verontreinigd met stoffen die door het water worden meegevoerd. Daarnaast zijn foute aansluitingen een grote bron van vervuiling. Als een huisaansluiting aangesloten is op het regenwaterriool, komt in droge periodes ongezuiverd en onverdund afvalwater op het oppervlaktewater terecht. Deze foute aansluitingen kunnen de jaarlijkse vuiluitwerp aanzienlijk vergroten ten opzichte van de situatie zonder foute aansluitingen.



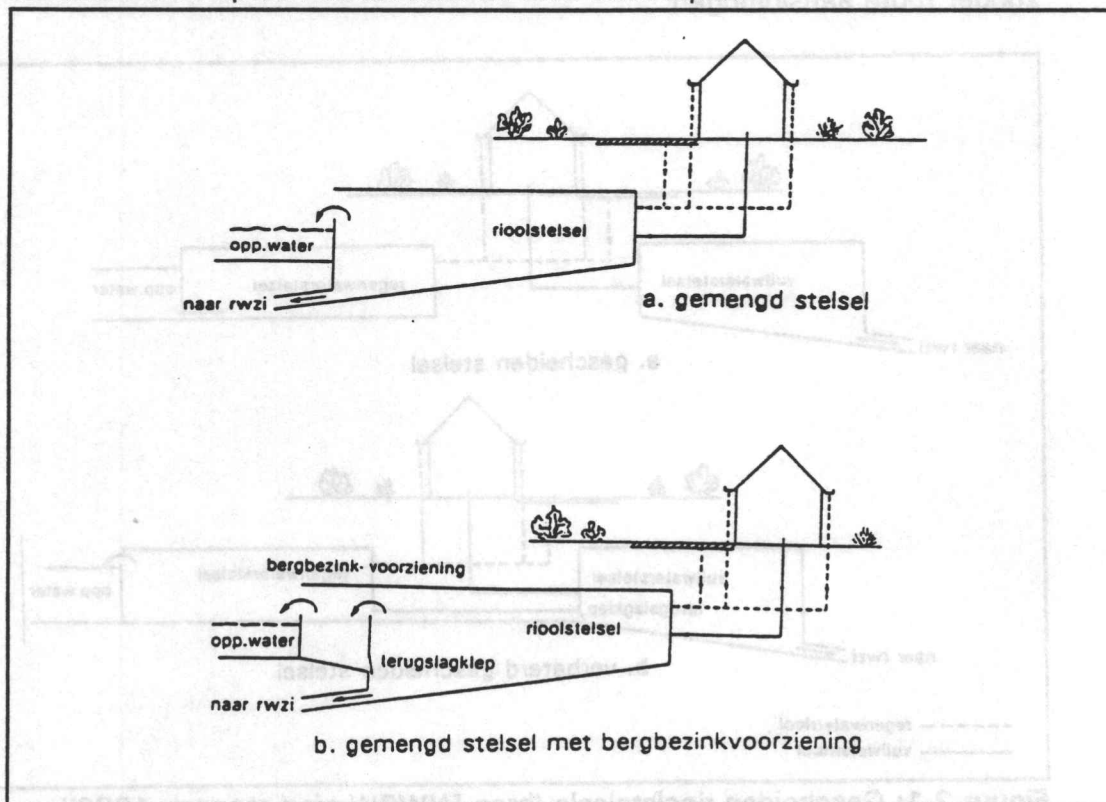
Figuur 2.1: Gescheiden rioolstelsels (bron [NWRW eind rapport, 1989]).



Om de vuiluitworp te beperken is het verbeterd gescheiden stelsel ontwikkeld. Zie figuur 2.1.b. Hierbij zijn de 2 stelsels op een aantal plaatsen aan elkaar gekoppeld. Door het toepassen van terugslagkleppen, of door het plaatsen van pompen wordt voorkomen dat water uit het vuilwaterriool in het regenwaterriool terecht komt. Het regenwaterriool is voorzien van een overstortdrempel, zodat een hoeveelheid regenwater kan worden geborgen zonder tot overstortingen te leiden. Afvalwater, dat via foute aansluitingen in het regenwaterriool terecht komt, wordt zo bij droog weer en bij kleine regenval alsnog naar de rwzi afgevoerd. Bij kleine regenval treedt geen overstorting op, maar wordt het regenwater geborgen en met de dwa naar de rwzi afgevoerd. Pas wanneer de regenafvoer een bepaalde hoeveelheid overschrijdt, wordt regenwater op het oppervlaktewater geloosd. De rwzi wordt ontworpen op enige malen de dwa.

#### Gemengd stelsel.

De dwa en de neerslag worden door één stelsel afgevoerd. Zie figuur 2.2.a. Dit betekent een eenvoudig en daarmee relatief goedkoop stelsel. Vanwege de maximale capaciteit van de afvoer naar de rwzi en de maximale capaciteit van de behandeling op de rwzi wordt bij zware regenval niet al het rioolwater naar de rwzi afgevoerd. Een deel van het rioolwater wordt dan op het oppervlaktewater geloosd. Dit gebeurt onder vrij verval of, waar dit niet mogelijk is, door middel van pompen. Een nadeel van dit systeem is dat bij zware regenbuien ongezuiverd, maar verdund, afvalwater op het oppervlaktewater terecht komt. Bovendien wordt voordien in het rioolstelsel bezonken slib weer opgewoeld, meegevoerd en op het oppervlaktewater geloosd. De rwzi bij een gemengd stelsels wordt op een aantal keer de dwa ontworpen.



Figuur 2.2: Gemengde rioolstelsels (bron [NWRW eind rapport, 1989]).

Om de vuiluitworp te beperken kan een gemengd stelsel worden uitgebreid met randvoorzieningen die de vuiluitworp verminderen, zoals bergbezinktanks, werveloverstortputten, verbeterde overstortputten, etc. Dit resulteert in een verbeterd gemengd stelsel. Zie figuur 2.2.b. Een nadere beschrijving van deze randvoorzieningen en maatregelen volgt in een van de volgende rapporten.

Een andere methode die resulteert in een kleinere vuiluitworp, is het afkoppelen van verhard oppervlak. Dit houdt in dat van delen van het gebied het regenwater niet, of pas later, naar het riool wordt afgevoerd. Beoordeeld dient te worden of de voordelen opwegen tegen de nadelen (b.v. hinder door water op straat).

De gemiddelde jaarlijkse vuiluitworpen liggen voor beide typen stelsels in dezelfde orde van grootte [NWRW eindrapport, 1989]. Wat betreft de maximale stootlozing of de concentratie per overstorting, is niet duidelijk aan te geven welk type stelsel de kleinste vervuiling veroorzaakt. Als de gemengde en de gewone en verbeterd gescheiden stelsels met ongeveer 7 mm berging met elkaar worden vergeleken, is afhankelijk van de beschouwde vervuiling niet telkens een bepaald stelsel het minst vervuilend.

De auteurs van het NWRW eindrapport concluderen aan de hand van deze gegevens niettemin dat het verbeterd gescheiden stelsel de minste schadelijke effecten op het oppervlaktewater geeft. Daarom wordt dit type stelsel geadviseerd voor nieuwe rioolstelsels.

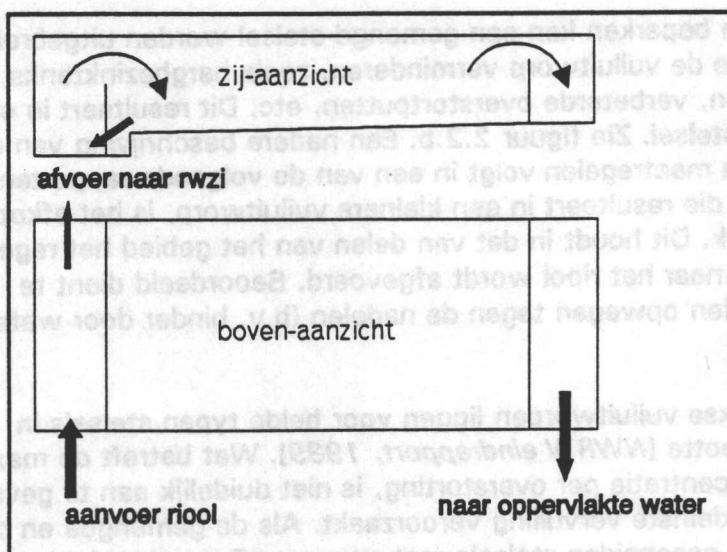
Van de bestaande rioolstelsels in Nederland is echter 90% van het gemengde type [NWRW eindrapport, 1989] (dit komt hoogst waarschijnlijk overeen met 76% op lengte-basis). In de nabije toekomst zullen de bestaande gemengde stelsels moeten worden omgebouwd tot verbeterd gemengde stelsels. Zoals hierboven vermeld gebeurt dit door het aanleggen van randvoorzieningen. Gezien de aanbevelingen van de CUWVO VI subwerkgroep Eisen rioolwateroverstorten [CUWVO VI, 1992] en het NWRW-onderzoek is het aannemelijk dat dit voor een belangrijk deel zal gebeuren door de aanleg van bergbezinktanks.

## 2.2 BERGBEZINKTANKS

Een bergbezinktank reduceert de vuiluitworp enerzijds door berging en anderzijds door bezinking.

**Berging:** Door berging van een hoeveelheid water, die bij afwezigheid van een bergbezinktank naar het oppervlaktewater zou worden afgevoerd, doch door de aanwezigheid van de tank na afloop van de neerslag naar de rwzi wordt afgevoerd, komt minder vuil in het oppervlaktewater terecht.

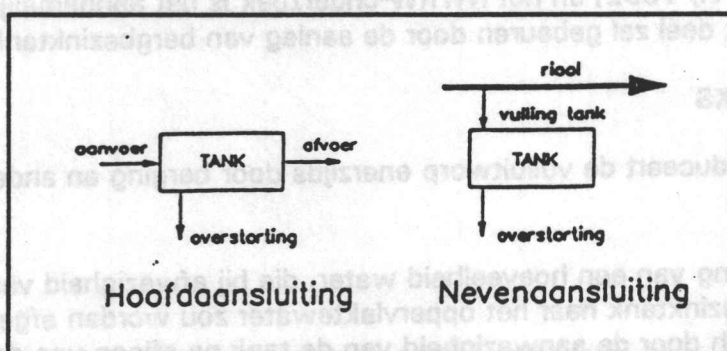
**Bezinking:** Zodra de totale berging is benut, zal bij aanhoudende aanvoer toch water overstorten. Doordat het in het water aanwezige vuil in de bergbezinktank de gelegenheid heeft te bezinken, zal de vuilconcentratie van het overstortende water in het algemeen geringer zijn dan de vuilconcentratie van het instromende water. De vuiluitworp zal daardoor verminderen t.o.v. de vuiluitworp zonder bezinking.



**Figuur 2.3:** Rechthoekige bergbezinktank.

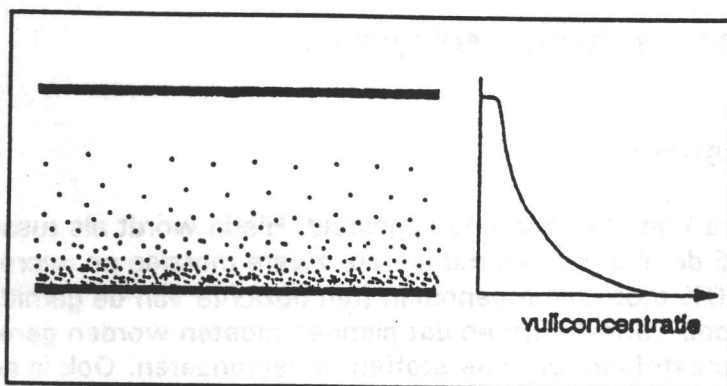
achtergebleven water samen met het bezonken materiaal via een terugslagklep terug naar het riool en wordt afgevoerd naar de rwzi. Om de tank schoon te krijgen en het bezonken slib uit de tank naar de rwzi af te kunnen voeren, wordt de tank veelal gespoeld met oppervlaktewater. De bodem van de tank ligt onder een helling en is soms voorzien van slingergoten, zodat de snelheid van het water groot genoeg is om de tanks schoon te spoelen.

Behalve rechthoekig worden bergbezinktanks ook rond uitgevoerd. In dat geval vindt de invoer plaats via een buis in het midden. Aan de buitenrand bevindt zich de externe overstort. De bodem van de tank helt naar binnen, waar in een verdiept gedeelte de afvoer naar het riool plaatsvindt.



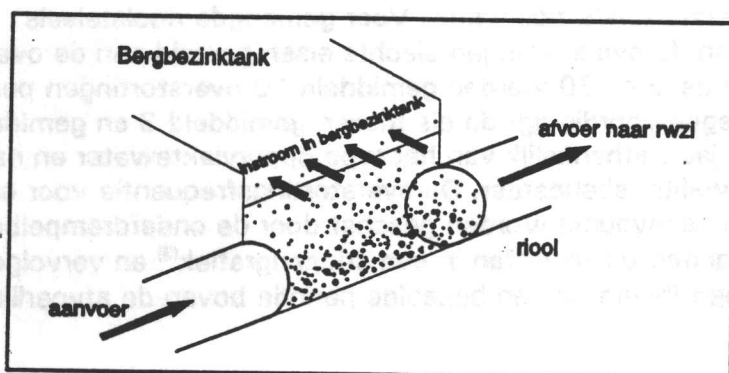
**Figuur 2.4:** Schema hoofd en nevenaansluiting (bron [Veldkamp, 1991]).

Bergbezinktanks kunnen op een aantal manieren aan het rioolstelsel worden gekoppeld. Zie figuur 2.4. Dit heeft invloed op de werking en het rendement van de tank. Een bergbezinktank wordt doorgaans alleen in hoofdaansluiting aangelegd indien voldoende vrij verval aanwezig is om de tank zonder te pompen te ledigen. Indien onvoldoende vrij verval beschikbaar is, moet continu worden gepompt om de dwa af te voeren. Een tank in nevenaansluiting heeft deze beperking niet. Een bestaand rioolstelsel kan eenvoudig worden uitgebreid door een bergbezinktank in nevenaansluiting aan te koppelen. Het opnemen van een bergbezinktank in hoofdaansluiting in een bestaand stelsel is veel lastiger.



**Figuur 2.5:** Concentratieprofiel bezinkbare deeltjes (bron [Veldkamp, 1991]).

ren: De vuilconcentratie van het rioolwater zal bij de bodem van de rioolbuis het grootste zijn. Zie figuur 2.5. Door het water over een overstort de bergbezinktank in te leiden, wordt alleen het lichtere vuil de tank ingevoerd. Zie figuur 2.6. Er is echter niet met voldoende zekerheid te voorspellen in hoeverre de aanwezigheid van de interne overstort invloed heeft op de vuilconcentratie van het water dat de tank instroomt en hoezeer het concentratieprofiel als in figuur 2.5 is verstoord.



**Figuur 2.6:** Verdeling bezinkbare deeltjes bij interne overstort.

Een laatste verschil is dat bij een situering in nevenaansluiting een extra (interne) overstort tussen riool en tank moet worden geconstrueerd. Dit brengt extra kosten met zich mee. Daar staat tegenover dat door de aanwezigheid van de interne overstort minder vuil in de bergbezinktank terecht komt. Dit is als volgt te verkla-

Indien de goed bezinkbare fracties niet in de bergbezinktank terecht komen, bezinkt minder vuil in de tank. In Nederland is meestal weinig verval beschikbaar en dienen de bergbezinktanks als uitbreiding aan bestaande stelsels toegevoegd te worden, zodat het doorgaans om tanks in nevenaansluiting gaat.

Indien sprake is van een first flush, dat wil zeggen, dat een groot gedeelte van het vuil in het begin van de afvoergolf zit, kan de vuiluitworp worden gereduceerd door de first flush op te vangen en te bergen. Het water dat later komt stort dan zonder behandeling over. In dat geval is sprake van een bergtank en niet van een bergbezinktank. Het is ook mogelijk de tank in tweeën te splitsen en een gedeelte van de bergbezinktank in te richten voor het bergen van de first flush. Wanneer dit deel vol is, stroomt het water door het andere deel, welke zowel voor het bergen van water als voor het bezinken van vuil dient. Vooral in kleine eenvoudige rioelstelsels in geaccidenteerde gebieden treedt een duidelijke first flush op. Bij grote stelsels in vlakke gebieden, zoals veelal in Nederland, is meestal geen sprake van een duidelijke first flush, zodat tanks zowel voor berging als voor bezinking (bergbezinktanks) worden aangelegd.



## 3 DIMENSIONEREN BERGBEZINKTANKS

### 3.1 OVERSTORTINGSNORMEN

In 1990 is de 3<sup>de</sup> Nota Waterhuishouding opgesteld. Hierin wordt als tussendoel genoemd dat in 1995 de uitworp van nutriënten, zware metalen en microverontreinigingen met 50% moet zijn afgenomen (ten opzichte van de gemiddelde waarden van de periode 1984-1989) en dat plannen moeten worden gemaakt om de emissie van zuurstofverbruikende stoffen te verminderen. Ook is een minimum norm voor de kwaliteit van het oppervlaktewater opgesteld: de Algemene Milieu Kwaliteit 2000 (AMK). Dit is de kwaliteit van oppervlaktewater die zoveel mogelijk moet worden benaderd voor het jaar 2000. Deze is vastgesteld aan de hand van schattingen van de effecten die de verontreinigingen op het aquatisch ecosysteem hebben [CUWVO VI, 1992].

In Nederland heeft de gemeente de verantwoording voor de aanleg en het beheer van het rioolstelsel. Het beheer van de waterkwaliteit en het zuiveren van het rioolwater zijn ondergebracht bij de waterkwaliteitsbeheerders. De waterkwaliteitsbeheerder stelt eisen aan de gemeente wat betreft de kwantiteit en kwaliteit van het rioolwater dat naar de zuivering gaat en wat betreft de kwantiteit van het overstortende rioolwater. Voor gemengde rioolstelsels worden ten aanzien van de overstortingen slechts eisen gesteld aan de overstortingsfrequentie. In de jaren 70 werden gemiddeld 10 overstortingen per jaar geaccepteerd, maar tegenwoordig ligt de eis tussen gemiddeld 3 en gemiddeld 10 overstortingen per jaar, afhankelijk van het type oppervlaktewater en naar inzicht van de waterkwaliteitsbeheerder. De overstortingsfrequentie voor een bepaald rioolstelsel kan eenvoudig worden geschat door de onderdrempelberging en pompovercapaciteit uit te zetten in een stippengrafiek<sup>(3)</sup> en vervolgens te tellen hoeveel stippen (buien) in een bepaalde periode boven de afvoerlijn liggen.

De eis die de waterkwaliteitsbeheerder anno 1992 aan het overstortende rioolwater stelt, betreft dus alleen de overstortingsfrequentie en niet de vuilemissie. Ondanks het in de loop der jaren verlagen van de overstortingsfrequentie is de waterkwaliteit van het ontvangende water vaak nog slechter dan de AMK, zodat een eis aan de overstortingsfrequentie alleen niet voldoende blijkt te zijn. Dit is als volgt te verklaren:

- \* De totale jaarlijkse vuilemissie uit gemengde rioolstelsels is verdeeld over slechts een beperkt aantal overstortingen. Bij het overstorten komt binnen een korte tijd veel vuil op het oppervlaktewater terecht (stootlozing). Bij een zeer zware bui kan het voorkomen dat in een keer 80% van de totale jaarlijkse vuilvracht overstort [NWRW eindrapport, 1989].
- \* Het rioolwater stort in 85% van de gevallen over op stagnant water of water met een beperkte doorstroming, zodat een stootlozing grote gevolgen heeft voor de waterkwaliteit.
- \* Bij het verminderen van het aantal overstortingen neemt de grootte van de stootlozingen slechts weinig af.

---

<sup>(3)</sup> In een stippengrafiek zijn buien als stippen weergegeven, met op de horizontale as de duur van de bui uitgezet en op de verticale as de neerslag in mm uitgezet. Zie [Koot, 1988].

- \* Door bezinking van verontreinigd slib rond de overstort, vindt accumulatie van vuil plaats.
- \* De omstandigheden kunnen per rioelstelsel anders zijn, zodat bij gelijke overstortingsfrequentie de vuilemissie toch verschilt.

De CUWVO VI subwerkgroep Eisen rioelwateroverstorten heeft voorstellen gedaan om de vervuiling van het oppervlaktewater door overstortend rioelwater te verminderen. Zij meent dat de overstortingsfrequentie niet voldoet als norm en dat de vuilemissie dient te worden genormeerd. Echter, vanwege twee redenen worden geen algemene normen voor de vuilemissie gesteld:

- 1) Met de huidige modellen is de vuiluitworp niet nauwkeurig genoeg te voorspellen.
- 2) De effecten van vuiluitwerpen op het aquatisch ecosysteem zijn niet goed bekend, zodat de toelaatbare emissie op het oppervlaktewater moeilijk is te bepalen.

Daarom stelt de CUWVO VI subwerkgroep geen algemeen geldende emissienorm voor, maar een tweeledige aanpak, die ruimte laat om flexibel in te spelen op de plaatselijke situatie:

Ten eerste wordt een basisinspanning geëist, waaraan alle rioelstelsels moeten voldoen (zoals beschreven voor gemengde stelsels in hoofdstuk 1). Ten tweede, indien dit niet resulteert in oppervlaktewater van voldoende kwaliteit, kan de waterkwaliteitsbeheerder besluiten tot het stellen van verdergaande eisen. De waterkwaliteit moet minimaal gelijk zijn aan de AMK, maar aan bepaalde typen oppervlaktewater worden strengere eisen gesteld dan de AMK, bijvoorbeeld recreatiewater of oppervlaktewater met een hoge ecologische doelstelling. Juist in die gevallen is het te verwachten dat verdergaande maatregelen worden verlangd.

Naast deze basisinspanning (en znodig verder gaande eisen) dient de op basis van de eisen berekende overstortingsfrequentie gebruikt te worden om de werking van het stelsel te beoordelen. Tenslotte noemt de CUWVO VI subwerkgroep goed onderhoud als een belangrijk middel ter beperking van de vuiluitworp.

Afhankelijk van het rioelstelsel en het oppervlaktewater zullen de door de CUWVO VI subwerkgroep voorgestelde maatregelen meer of minder effect hebben. In het gunstigste geval verbetert de kwaliteit van het oppervlaktewater substantieel tot AMK. Het is echter ook mogelijk dat een kleinere inspanning dan de basisinspanning voldoende geweest zou zijn voor het bereiken van de AMK. In die gevallen worden niet-optimale investeringen gedaan. In het geval dat door de basisinspanning de AMK niet wordt gehaald en uitgebreide extra maatregelen moeten worden genomen, wordt dat hopelijk van te voren ingezien, zodat het stelsel in een keer tot een voldoende goed stelsel wordt uitgebreid. Een probleem daarbij is echter dat het nog niet mogelijk is de vuiluitworp te voorspellen.

De vuilemissie uit het referentiestelsel (rioelstelsels met  $B = 7$  mm, p.o.c. = 0,7 mm/h en 2 mm bergbezinktank achter elke overstort) moet worden berekend volgens een tussen de gemeente en de waterkwaliteitsbeheerders overeen te komen berekeningsmethode. Dit houdt in dat over de aannames voor het berekenen van de vuiluitworp overeenstemming moet worden bereikt. Op het moment bestaat echter nog geen gestandaardiseerde berekeningsmethode om

de emissie en de effecten van de emissies te bepalen. Onderzoek hiernaar is in 1991 gestart in het kader van het Rioned-project "Standaardberekening rioolstelsels."

### Conclusies

De overstortingsfrequentie als enige norm voldoet niet. Echter, ook de eisen die volgen uit de voorstellen van de CUWVO VI subwerkgroep Eisen rioolwateroverstorten hebben niet de garantie in zich de vervuiling van het oppervlaktewater door overstortend rioolwater afdoende te verminderen. Er is te weinig bekend over de grootte en samenstelling van de vuiluitworp en over het effect van de vuiluitworp op het aquatisch ecosysteem.

Behalve de vuiluitworp uit de riolen, welke de invoer in de randvoorzieningen is, is ook het rendement van de randvoorzieningen voorsnag onvoldoende nauwkeurig bekend.

### 3.2 RENDEMENTEN

Omdat is gebleken dat voor het begrip "rendementen" (van verwijdering van vervuiling) van bergbezinktanks in de literatuur verschillende definities bestaan, volgen hier de definities van de rendementen zoals die in dit onderzoek zullen worden gebruikt.

Het (totaal)rendement van een bergbezinktank  $R_t$  geeft de verhouding weer tussen de vuiluitworp uit een rioolstelsel met en zonder bergbezinktank. Omdat de meeste bergbezinktanks in Nederland in nevenaansluiting zullen worden aangelegd, worden eerst hiervoor de rendementen gedefinieerd.

#### Nevenaansluiting

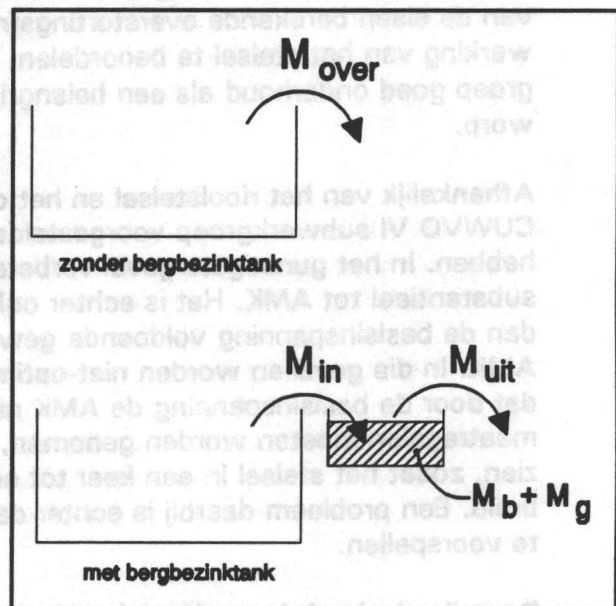
De volgende grootheden worden gedefinieerd (zie figuur 3.1):

$M_{over}$  = de vuilvracht (in kg) die overstort uit een rioolstelsel zonder bergbezinktank.

$M_{in}$  = de vuilvracht die overstort (uit een rioolstelsel) in de bergbezinktank.

$M_{uit}$  = de vuiluitworp (in kg) uit een bergbezinktank gekoppeld aan datzelfde rioolstelsel.

Bij een bergbezinktank in nevenaansluiting is  $M_{over}$  gelijk aan  $M_{in}$ .



Figuur 3.1: Vuilvrachten uit stelsel zonder en met bergbezinktank in nevenaansluiting.

$$M_{in} - M_{over} = \int_0^{t_{eind}} c_{in} Q_{in} dt$$

$$M_{uit} = \int_0^{t_{eind}} c_{uit} Q_{uit} dt$$

Hierin is  $t_{eind}$  het moment waarop de toevoer naar de bergbezinktank stopt.  $c_{in}$  en  $c_{uit}$  zijn respectievelijk de concentraties van het instromende en uitstromende water als functie van de tijd en  $Q_{in}$  en  $Q_{uit}$  respectievelijk het instromende en uitstromende debiet als functie van de tijd.

Het totaalrendement van de tank  $R_t$  wordt als volgt gedefinieerd:

$$R_t = \left(1 - \frac{M_{uit}}{M_{over}}\right) * 100\% = \frac{(M_{over} - M_{uit})}{M_{over}} * 100\%$$

Het totaalrendement kan worden onderverdeeld in bergingsrendement  $R_g$  (g van geborgen) en bezinkingsrendement  $R_b$  (b van bezonken). Gebruik makend van de geborgen vracht  $M_g$ , de bezonken vracht  $M_b$  en de betrekking  $M_{in} - M_{uit} = M_g + M_b$ , worden de rendementen als volgt gedefinieerd:

$$R_g = \frac{M_g}{M_{over}}$$

$$\text{dus } R_t = R_g + R_b$$

$$R_b = \frac{M_b}{M_{over}}$$

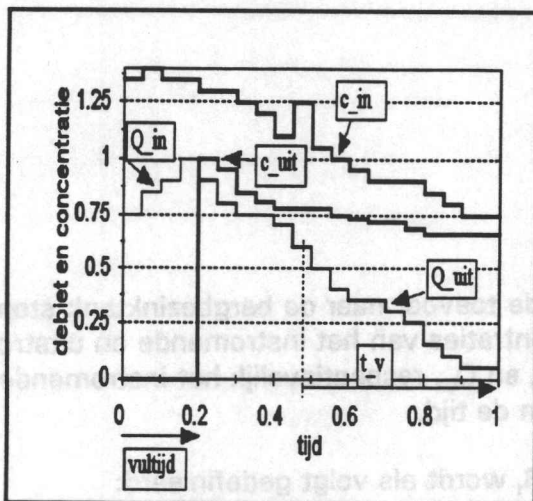
Nogmaals wordt opgemerkt dat de rendementen de werking van de tank weergeven ten opzichte van een rioelstelsel zonder bergbezinktank. Dus de vrachten  $M_g$  en  $M_b$  zijn gedeeld door  $M_{over}$ . Maar omdat  $M_{over}$  gelijk is aan  $M_{in}$  blijven de vergelijkingen eenvoudig. De vrachten  $M_g$  en  $M_b$  zijn voor niet-stationaire stroming niet exact te kwantificeren. Het is wel mogelijk een schatting te geven aan de hand van een gemiddelde verblijftijd van het water in de tank indien wordt aangenomen dat het water als een prop door de bak stroomt.

In figuur 3.2 is een fictief verloop van de debieten  $Q_{in}$  en  $Q_{uit}$  en van de concentraties  $c_{in}$  en  $c_{uit}$  bij propstroming weergegeven. Op tijd = 0,2 is de tank vol en stroomt water over de externe overstort. Het debiet over de externe overstort is dan gelijk aan het instroomdebiet. In de figuur is ook  $t_v$  aangegeven. De grootte  $t_v$  is gedefinieerd als de tijd (aan het eind van de overstorting) gedurende welke waterdeeltjes nog wel de tank binnenstromen, maar (bij propstroming) niet meer tot overstorten komen, zodat geldt:

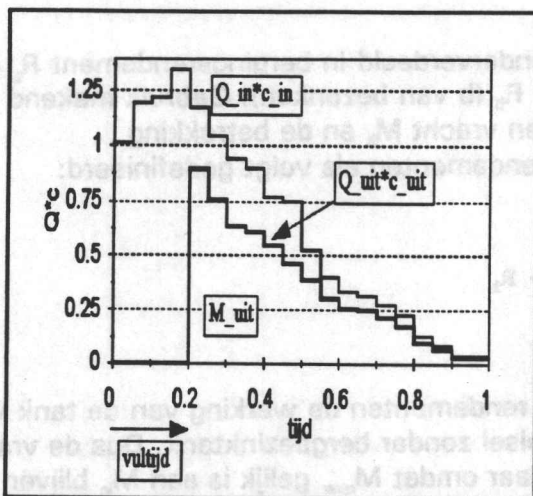
$$V = \int_{t_{eind}-t_v}^{t_{eind}} Q_{in} dt$$

met  $V$  = volume van de tank.

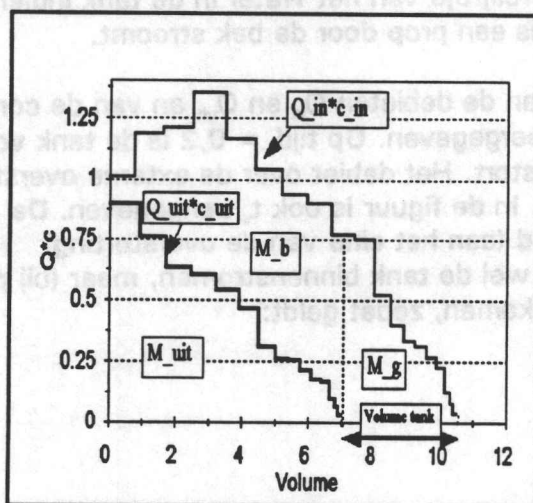




Figuur 3.2: In- en uitstroming bij propstroming.



Figuur 3.3: Vuilvrachten versus tijd bij propstroming.



Figuur 3.4: Vuilvrachten versus volume bij propstroming.

Omdat het debiet afneemt in de tijd, is  $t_v$  duidelijk groter dan de vultijd. Het gebied onder de  $Q$ -lijn gedurende  $t_v$  geeft de watermassa aan die na afloop van de overstorting in de tank achterblijft. In dit voorbeeld is aangenomen dat  $c_{uit}$  gelijk is aan 60% van de bijbehorende  $c_{in}$ . Hierbij is rekening gehouden met het feit dat het debiet (en dus ook de verblijftijd van het water in de tank) varieert. Bovendien is aangenomen dat bij het begin van de externe overstorting  $c_{uit}$  groter is dan 60% van  $c_{in}$  omdat tijdens het vullen de bezinking wordt gehinderd. In figuur 3.3 zijn de produkten van  $Q$  en  $c$  tegen de tijd uitgezet. Het totale oppervlak onder de instroomlijn geeft de ingestroomde vracht  $M_{in}$  ( $= M_{over}$ ) weer en het oppervlak onder de uitstroomlijn de uitgestroomde vracht  $M_{uit}$ . Het verschil is gelijk aan de geborgen en bezonken vracht. In figuur 3.4 zijn de vrachten  $M_g$ ,  $M_b$  en  $M_{uit}$  zichtbaar gemaakt.  $Q_{in} * c_{in}$  en  $Q_{uit} * c_{uit}$  zijn uitgezet tegen het respectievelijke ingestroomde en uitgestroomde volume. Indien het verloop van  $Q$  en  $c$  in de tijd bekend is, kunnen  $M_g$  en  $M_b$  worden berekend met:

$$M_g = \int_{t_{eind}-t_v}^{t_{eind}} c_{in} Q_{in} dt$$

$$M_b = \int_0^{t_{eind}-t_v} c_{in} Q_{in} dt - \int_0^{t_{eind}} c_{uit} Q_{uit} dt$$

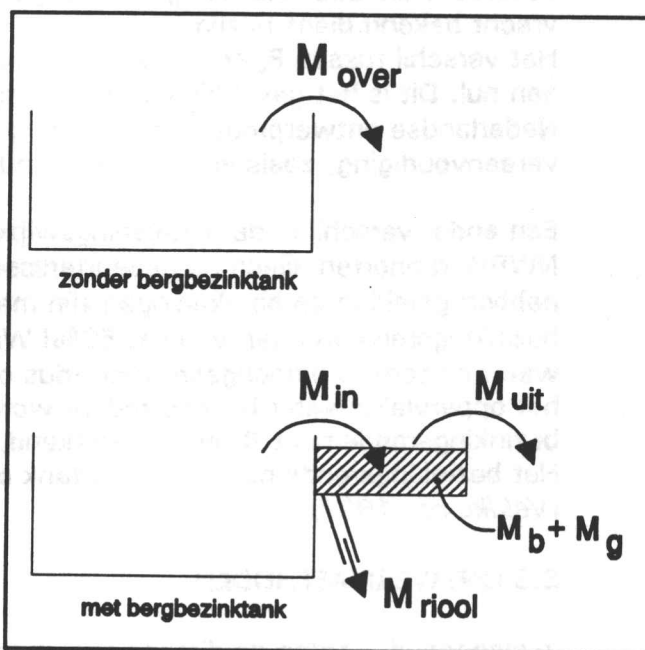
N.b: Als de invoer in de bergbezinktank kleiner is dan de inhoud van de tank, treedt geen overstorting uit de tank op, zodat  $M_{uit} = 0$ ,  $R_b = 0$  en  $R_g = R_t$ .

De hierboven gegeven definities dienen om een stelsel zonder bergbezinktank te vergelijken met datzelfde stelsel waaraan een bergbezinktank is gekoppeld. Wanneer

een vergelijking gemaakt moet worden tussen een stelsel uitbreiden met een bergbezinktank (berging en bezinking) en een stelsel uitbreiden met alleen meer berging, dan behoren weer andere definities te worden opgesteld. Dan kan bijvoorbeeld worden gekeken naar het verschil tussen een stelsel uitgebreid met 2 mm onderdrempelberging en een stelsel met 2 mm in een bergbezinktank. De definities hiervoor worden achterwege gelaten.

### Hoofdaansluiting

De definities van de rendementen voor bergbezinktanks in hoofdaansluiting zijn in hetzelfde als bij bergbezinktanks in nevenaansluiting. Opgemerkt wordt dat de inkomende vuilvracht  $M_{in}$  is niet gelijk aan  $M_{over}$ ! De rendementen  $R_t$ ,  $R_b$  en  $R_g$  dienen net zoals bij een bergbezinktank in nevenaansluiting te worden berekend met  $M_{over}$  in de noemer. Voor het bepalen van  $M_b$  en  $M_g$  dient rekening gehouden te worden met het feit dat ook de vracht  $M_{riool}$  bestaat. Al het water dat naar de rwzi wordt afgevoerd stroomt door de tank!



Figuur 3.5: Vuilvrachten bij stelsel zonder en met bergbezinktank in hoofdaansluiting.

### Gebruik van "rendement" in NWRW-rapporten

In de NWRW-rapporten (o.a. [NWRW eindrapport, 1989], [NWRW 8.1], [NWRW 8.2] en [NWRW 8.5]) wordt het bezinkingsrendement op een andere manier gedefinieerd dan hier. Dit is van belang, omdat de verschillende definities in verschillende waarden resulteren. De in die rapporten gepresenteerde rendementen worden veelvuldig in andere literatuur gebruikt (b.v. in [CUWVO VI, 1992]).

Voorgesteld wordt om het bezinkingsrendement zoals dat in de NWRW-rapporten wordt gebruikt het "virtuele bezinkingsrendement"  $R_v$  te noemen, om een duidelijk onderscheid te kunnen maken met het in dit rapport gedefinieerde bezinkingsrendement  $R_b$  [Veldkamp, 1992].

Voor het bepalen van het virtuele bezinkingsrendement wordt uitgerekend hoe groot de vuiluitworp uit een rioelstelsel met bergbezinktank is, ten opzichte van een stelsel met dezelfde tank, maar waar geen bezinking in optreedt.

$$R_v = 1 - \frac{M_{uit}(\text{met})}{M_{uit}(\text{zonder})} = \frac{M_b}{M_{over} - M_g}$$

Het is eenvoudig in te zien dat  $R_g + R_v > R_t$

$$R_g + R_v - \frac{M_g}{M_{over}} + \frac{M_b}{M_{over} - M_g} > \frac{M_g + M_b}{M_{over}} - \frac{M_{over} - M_{uit}}{M_{over}} = R_t$$

$R_v$  kan dus niet bij  $R_g$  worden opgeteld voor het berekenen van het totaalrendement! Ook is het minder eenvoudig dit rendement om te rekenen naar de vuilvracht die door bezinking is tegengehouden, omdat dan ook de geborgen vracht bekend dient te zijn.

Het verschil tussen  $R_v$  en  $R_b$  verdwijnt indien wordt aangenomen dat  $M_g$  gelijk is aan nul. Dit is het geval bij stationaire stroming, zonder begin en eind. De Nederlandse ontwerpmethodede voor bergbezinktanks maakt gebruik van deze vereenvoudiging, zoals is beschreven in het volgende hoofdstuk.

Een ander verschil in de berekeningswijze van de rendementen is dat in de NWRW-rapporten alleen de gebeurtenissen die tot externe overstortingen hebben geleid in de berekeningen zijn meegenomen. Dit resulteert in virtuele bezinkingsrendementen van ca. 50%! Wanneer alle gebeurtenissen waarbij water de tank is binnengestroomd (dus ook die waarbij geen overstorting op het oppervlaktewater is opgetreden) worden meegenomen, en het bezinkingsrendement  $R_b$  wordt berekend, dan is het resultaat een stuk lager. Het bezinkingsrendement (voor de tank in Amersfoort) ligt in de buurt van 20% [Veldkamp, 1991].

### 3.3 ONTWERPMETHODEN

In Nederland worden de dimensies van te bouwen bergbezinktanks op een andere manier berekend dan in andere Europese landen. Geen van de methoden houdt echter voldoende rekening met het niet-stationaire (dus tijdsafhankelijke) karakter van de stroming door bergbezinktanks. Allereerst zal de Nederlandse ontwerpmethodede worden behandeld.

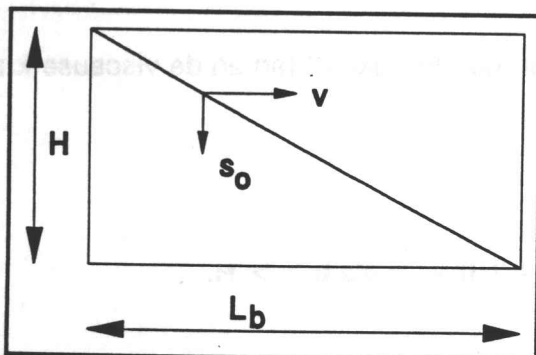
#### 3.3.1 Nederlandse ontwerpmethodede

In Nederland wordt bij het ontwerpen van bergbezinktanks uitgegaan van stationaire, uniforme stromingscondities in de tank. De tank wordt op dezelfde manier ontworpen als een bezinktank voor de afvalwaterzuivering. Hierbij is aangenomen dat in een tank drie zones zijn te onderscheiden: de inlaatzone, de bezinkzone en de uitlaatzone. De bezinktheorie geldt in de bezinkzone en is opgezet voor bezinking onder ideale omstandigheden:

- \* stationaire stroming;
- \* over de breedte en diepte uniforme stroming;
- \* geen turbulentie;
- \* geen kortsluitstromen;
- \* een homogene concentratieverdeling van de te bezinken stoffen over de verticaal bij het begin van de bezinkzone;
- \* geen coagulatie;
- \* geen opwoeling van eerder bezonken slib;
- \* turbulente diffusie van gesuspenseerd sediment wordt verwaarloosd.

Alleen de bezinkzone draagt bij aan het bezinkingsrendement. De grootte van deze zone is afhankelijk van de in- en uitstroomcondities. In ongunstige gevallen

kan voor de bezinkzone slechts een klein gedeelte van de tank overblijven. Door de aanwezigheid van neren (en dus kortsluitstromen) kunnen de verblijftijd en de bezinkzone in de tank aanzienlijk kleiner zijn dan aangenomen. De theorie voor de bezinking onder stationaire, uniforme stromingscondities geldt niet voor de in- en uitlaatzone.



Figuur 3.6: Stationaire bezinking.

Voor een rechthoekige tank met een over de diepte gemiddelde doorstromingsnelheid  $v$  betekenen deze ideale condities het volgende: Het deeltje in figuur 3.6, dat zich bij binnenkomst bovenin de tank bevindt en een bezinksnelheid  $s$  heeft, die gelijk is aan de oppervlaktebelasting  $s_0$ , bereikt aan het einde van de tank net de bodem. Alle deeltjes met een bezinksnelheid  $s_0$  of groter zullen onder deze ideale omstandigheden bezinken. Van de deeltjes met een lagere bezinksnel-

heid zal een gedeelte bezinken. Afhankelijk van hun plaats in de verticaal bij binnenkomst zullen ze de bodem wel of niet voor het einde van de tank halen. Vanwege de aangenomen homogene concentratieverdeling van de bezinkbare deeltjes bij binnenkomst van de tank, wordt van deze deeltjes een gedeelte  $s/s_0$  verwijderd.

Uit figuur 3.6 volgt dat de verhouding tussen  $s$  en  $v$  gelijk is aan die tussen de diepte van de tank  $H$  en de lengte van de bezinkzone  $L_b$ . Dit kan worden omgeschreven tot  $s_0 = Q/A_b$ , met  $Q$  gelijk aan het debiet door de tank en  $A_b$  het oppervlak van de bezinkzone van de tank. Deze aannames houden voor een rechthoekige tank in dat het rendement van de bergbezinktank alleen wordt bepaald door de verhouding  $s_0 = Q/A_b$ . De diepte van de tank en de verblijftijd hebben (onder deze ideale omstandigheden) geen invloed op het rendement.

Indien de verdeling van de bezinksnelheden van de bezinkbare deeltjes bekend is, kan het verwijderingsrendement door bezinking worden berekend. Dit rendement wordt het stationaire bezinkingsrendement genoemd, omdat dit rendement berekend wordt voor stationaire stroming. Stel  $p_0$  is de fractie van deeltjes met een bezinksnelheid groter of gelijk aan  $s_0$ , dan is het stationaire bezinkingsrendement  $R_s$  gelijk aan:

$$R_s = p_0 + \int_{p_0}^1 \frac{s}{s_0} dp$$

Uitgaande van deze theorie, kan aan de hand van de gewenste vuilreductie en de bekende of geschatte verdeling van de bezinksnelheden een oppervlaktebelasting worden gekozen.

Het debiet volgt uit hydraulische berekeningen. Deze hydraulische berekeningen kunnen heel eenvoudig zijn: B.v. de gekozen regenintensiteit, die overeenkomt met de herhalingstijd waarop het systeem ontworpen wordt, vermenigvuldigd met het verharde oppervlak min de p.o.c. geeft het debiet. Vervolgens wordt het oppervlak van de bezinkzone van de tank berekend met  $A_b = Q/s_0$ .



De lengte, L, breedte, b, en diepte, H, van de tank volgen uit richtlijnen uit de praktijk (b.v. L/b = 6 tot 10) of uit de volgende twee kengetallen voor de stroming in de tank: Reynolds-getal en Froude-getal. Het Reynolds-getal geeft een indicatie van de turbulentie van de stroming en het Froude-getal geeft een indicatie van het optreden van kortsluitstromen.

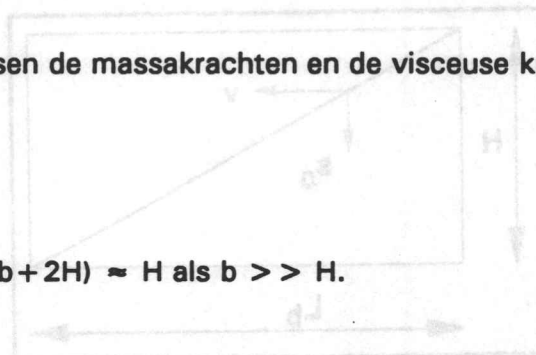
### Reynolds-getal

Dit getal geeft de verhouding tussen de massakrachten en de visceuse krachten.

$$Re = \frac{vR}{\nu} = \frac{Q}{(b+2H)\nu}$$

R = hydraulische straal =  $b \cdot H / (b + 2H) \approx H$  als  $b \gg H$ .

$\nu$  = viscositeit  $\approx 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



Bij lage snelheden en hoge viscositeiten, dus bij lage waarden voor het Reynolds-getal, is de stroming niet turbulent maar laminair. Laminaire stroming treedt op als het Reynolds-getal kleiner is dan 1600 à 2000. In de praktijk blijkt de stroming door een bergbezinktank turbulent te zijn. Om optimale bezinkingscondities te creëren, dient de turbulentie beperkt te blijven. Dit betekent dat voor een bepaald debiet de doorstromingsnelheid en de hydraulische straal klein moeten zijn. Dit vraagt om een brede, diepe bak.

### Froude-getal

Het Froude-getal geeft de verhouding tussen massakrachten en zwaartekracht weer.

$$Fr = \sqrt{\frac{v^2}{gH}}$$

g = zwaartekracht versnelling  $\text{m/s}^2$

Een hoge waarde van het Froude-getal duidt op stromingscondities met weinig kans op kortsluitstromen. De aanwezigheid van kortsluitstromen verkleint het bezinkeffect. Voor verkrijgen van een stabiele stroming wordt in het algemeen de tank zo gedimensioneerd dat het Froude-getal niet kleiner is dan  $10^{-5}$ . Een hogere waarde van het Froude-getal verhoogt de stabiliteit van de stroming nog verder, maar dan treedt ook meer turbulentie op. Een hoge waarde voor het Froude-getal vraagt om een smalle ondiepe bak.

De tank wordt zodanig gedimensioneerd dat aan de eisen voor het Reynolds-getal en het Froude-getal zo goed mogelijk wordt voldaan. De eis voor het Froude-getal wordt bij grote debieten wel gehaald. Het Reynolds-getal blijkt echter alleen bij zeer kleine debieten klein genoeg te zijn, zodat de stroming meestal turbulent is.

### Turbulentie

Er bestaat bij de theorie van bezinking onder stationaire stromingscondities in bezinktanks een methode om rekening te houden met turbulentie in de tank [DHSV, Hoogheemraadschap West-Brabant] en [Huisman, 1981]. In zogenoemde

Camp-grafieken staat het effect van de turbulentie op het rendement van de bezinking weergegeven. De methode is als volgt:  
Eerst wordt een oppervlaktebelasting gekozen. Vervolgens wordt aan de hand van het Reynolds-getal en het Froude-getal de breedte en de diepte van de tank vastgesteld. Hieruit volgt de doorstroomsnelheid. De doorstroomsnelheid en de oppervlaktebelasting ingevoerd in de Camp-grafiek geven de reductie van het rendement ten gevolge van turbulentie. Door kleine wijzigingen aan te brengen in het ontwerp kan uiteindelijk het gewenste rendement worden bereikt.

#### **Vereenvoudigde ontwerpmethoden**

Naast deze uitgebreide methode worden in Nederland ook nog eenvoudiger methoden gebruikt voor het bepalen van de dimensies van een tank:

Een methode gaat uit van een minimale verblijftijd  $T$  van het water in de tank. Meestal worden minimale verblijftijden van 15 tot 30 minuten als ontwerp-grootte gekozen. Wanneer het debiet bekend is uit hydraulische berekeningen, volgt het volume van de tank  $V$  uit de verblijftijd:  $V = T/Q$ . Voor het bepalen van de diepte  $H$  van de tank wordt dan uitgegaan van de volgende eis:

$s_0 = Q/A_b < 5$  à  $10$  m/h. Met  $A_b$  en  $V$  kan de diepte  $H$  van de tank worden berekend. De extra berging  $B$  die hiermee gecreëerd wordt is gelijk aan  $B = V/10 \cdot F_v$  mm.  $F_v$  staat voor het afvoerende oppervlak in hectare. Met deze berging en de waarde van de p.o.c. kan uit een stippengrafiek de overstortingsfrequentie van de tank worden gevonden. Indien deze te hoog is, moet een grotere bergbezinktank worden ontworpen.

Andersom kan, uitgaande van een bepaalde overstortingsfrequentie en andere stelselkarakteristieken zoals berging in het stelsel en p.o.c, het benodigde volume van de tank worden berekend. De diepte, lengte en breedte van de tank volgen uit de eisen voor het Reynolds-getal en het Froude-getal.

Het eenvoudigste is om simpelweg een bepaald volume aan te nemen, en daar de rest van het ontwerp op baseren. B.v. 2 mm extra berging ten opzichte van het verharde oppervlak ( $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), zoals voorgesteld door de CUWVO VI subwerkgroep.

Met de hierboven beschreven methoden kan het bezinkingsrendement niet voldoende nauwkeurig worden berekend. Het grootste probleem zit in het feit dat de theorie is opgesteld voor stationaire stroming, terwijl de processen in een bergbezinktank zeker niet stationair zijn. Het debiet, en de slibconcentraties zullen tijdens de bui sterk variëren. Eerder bezonken slib kan weer worden opgewoeld als plotseling een groter debiet de bak instroomt en de bak zich als een woelbak gaat gedragen. Dit heeft een negatieve invloed op het rendement van de bezinking.

#### **3.3.2 Buitenlandse ontwerpmethoden**

In Duitsland en Zwitserland is de meeste ervaring opgedaan met het ontwerpen en aanleggen van bergbezinktanks. De ontwerpmethoden die daar worden gebruikt zijn gebaseerd op metingen aan bestaande, kleine stelsels in hellende gebieden. Het zijn dus empirische ontwerpmethoden. De in Frankrijk gebruikte ontwerpmethode is gebaseerd op een Duitse methode. In vergelijking met de

methoden uit Duitsland en Zwitserland resulteert de Nederlandse methode in een grotere reservoirinhoud.

Voor een uitgebreide beschrijving en vergelijking van de meest gebruikte ontwerpmethoden wordt verwezen naar [Rompaey, 1991].

Geen van de methoden beschrijft de stroming en/of bezinking in de tanks voldoende nauwkeurig om een betrouwbare schatting te maken van het rendement c.q. de vuiluitworp. Bij elke methode wordt aan de hand van een andere set invoerparameters de grootte van de tank bepaald. De buitenlandse methoden maken gebruik van allerlei empirisch bepaalde grootheden en zijn niet goed bruikbaar voor de Nederlandse situatie, waar de gebiedskenmerken (b.v. helling) en stelselkarakteristieken (o.a. onderdrempelberging en pompen naar de rwzi in plaats van stroming onder vrij verval) sterk verschillen van de rioolstelsels waarvoor deze ontwerpmethoden zijn opgesteld. Het is niet duidelijk hoe deze methoden aan de Nederlandse situatie kunnen worden aangepast.

Opgemerkt wordt dat verschillen in ontwerpresultaten met methoden uit de verschillende landen, ook het gevolg zijn van het feit dat de gewenste vuilreductie en functie van de tanks niet overal gelijk zijn. In hellende gebieden hebben de tanks een belangrijke functie voor het opvangen van de first flush. Ook de onderdrempelberging is in hellende gebieden aanzienlijk kleiner dan in vlakke gebieden. De reductie van vuiluitworp door de aanleg van 2 mm extra berging zal een stuk groter zijn bij een stelsel met weinig onderdrempelberging dan bij een stelsel met een grote berging.

### **3.3.3 Conclusies**

Er bestaat geen voldoende nauwkeurige methode om de vuiluitworp van bergbezinktanks te berekenen en dus om een optimaal ontwerp te kunnen maken. De Nederlandse methode gaat uit van stationaire stromingscondities, die in werkelijkheid niet, of slechts een korte tijd optreden. De buitenlandse methoden zijn niet zonder meer in Nederland toepasbaar.

Tekenend is dat de CUWVO VI subwerkgroep een berging van minder dan 2 mm afraadt omdat daarmee geen voldoende ervaring bestaat (onderzoek naar de vuiluitworp van bergbezinktanks worden als wenselijk beschouwd).

Optimalisering van het ontwerp is gewenst.

Om een goede voorspelling van het rendement van de bezinking in een bergbezinktank te kunnen geven en om het rendement te verhogen, is een ontwerpmethode gewenst die rekening houdt met het niet-stationaire karakter van de stromings- en bezinkingsprocessen in de tanks.

## 4 MODELLERING

Met een stromingssimulatieprogramma kan de stroming en bezinking in bergbezinktanks tijdsafhankelijk worden gesimuleerd. Met een deterministisch model van de stroming en bezinking, opgezet met zo'n programma kan de invloed van aanpassingen aan het ontwerp zoals verandering in vorm, of het toepassen van schotten worden voorspeld. Het is de verwachting dat door middel van zo'n model inzicht wordt verkregen in wat zich in een bergbezinktank afspeelt, zodat een optimaal ontwerp kan worden gemaakt. Ook kan met zo'n model betrekkelijk eenvoudig de werking van een ontworpen tank bij veel verschillende belastingen worden beoordeeld.

### 4.1 MODELKEUZE

De bezinking in bergbezinktanks kan worden vergeleken met die in nabezinktanks voor afvalwaterbehandeling, waar reeds meer onderzoek naar is verricht. Bij nabezinktanks wordt uitgegaan van stationaire stroming. Voor een goede voorspelling van de rendementen voor nabezinktanks wordt echter aangeraden de stroming 2- of 3-D niet-stationair te modelleren [Vermeer, 1990], omdat de in- en uitvoer fluctueert. Bij bergbezinktanks wisselt de in- en uitvoer nog veel meer dan bij nabezinktanks (binnen een paar uur van geen instroom tot het maximale debiet en weer naar geen instroom), zodat de stromings- en bezinkingsprocessen niet goed stationair zijn te beschrijven.

Er bleken geen computerprogramma's te bestaan, die speciaal geschreven zijn voor de modellering van niet-stationaire stroming in bezinktanks of aanverwante stromingsprocessen [Vermeer, 1990]. Wel bestaan meer algemene computerprogramma's die allerlei verschillende stromingssituaties kunnen modelleren.

Na uitvoerig overleg is gekozen voor het stromingssimulatieprogramma PHOENICS. Dit programma is aanwezig op de TUD en bovendien kon bij het starten gebruik worden gemaakt van de ervaringen en kennis van anderen [Melis, 1991]. Daarnaast is het mogelijk eigen programmatuur aan PHOENICS toe te voegen, zodat het geschikt gemaakt kan worden voor een eigen specifieke toepassing: de modellering van bergbezinktanks.

### 4.2 MODELINVOER

Voor het opstellen van het model dienen onder andere de grootte en het verloop in de tijd van de volgende parameters bekend te zijn: de hoeveelheid water, de hoeveelheid bezinkbaar materiaal en de samenstelling van het bezinkbare materiaal.

#### Water

De grootte van het instromend debiet is voornamelijk afhankelijk van het aantal hectare verhard oppervlak en de grootte van de regenbui. Wanneer op de TUD de meetgegevens van de NWRW betreffende overstortingen uit rioolstelsels beschikbaar zijn, kunnen uit deze gegevens hoeveelheden overstortend water voor verschillende stelsels worden bepaald. Indien mogelijk zullen een aantal maatgevende invoeren van water in bergbezinktanks worden bepaald. De werking van de bergbezinktanks zal dan voor elke maatgevende invoer worden beoordeeld.



Een andere mogelijkheid is dat veel verschillende invoeren worden bepaald en dat vervolgens de werking van een ontworpen bergbezinktank voor elk van de invoeren wordt beoordeeld. Er kan dan een gemiddeld oordeel over de werking van de bergbezinktanks worden geveld. Dit is de stochastische benadering. Hierbij is het echter zaak dat de rekentijden van het deterministische model van de tank beperkt blijven.

#### **Vuil in water**

De samenstelling van slib, de concentraties van bezinkbare en niet bezinkbare deeltjes, de hoeveelheid en soorten drijvende en zwevende stoffen, etc. zijn vooralsnog onbekend. Het is gebleken dat per rioelstelsel deze gegevens sterk kunnen verschillen.

Er zijn en worden een aantal onderzoeken uitgevoerd naar het transport van zand en slib in rioelbuizen. In het verdere verloop van dit onderzoek zullen de gegevens die nodig zijn voor het modelleren van de bezinking, worden verzameld en bestudeerd. Naar verwachting zullen de meetgegevens van de NWRW de benodigde informatie verschaffen. De resultaten zullen in een van de volgende rapporten worden beschreven.

#### **4.3 STAND VAN ZAKEN**

Op het moment dat dit rapport uitkomt zijn al enige berekeningen uitgevoerd. De stroming door een rechthoekige bergbezinktank (tijdens overstorten) is stationair gemodelleerd. De resultaten zijn bevredigend. Het model zal worden uitgebreid naar niet-stationaire stroming. Andere configuraties dan een rechthoekige tank (b.v. schuine bodem en/of wanden en ronde tanks), zullen in de toekomst worden gemodelleerd.

Het modelleren van een vrij wateroppervlak zal de nodige problemen met zich meebrengen. Er bestaat een berekeningsmethode om een variërende waterhoogte (ten gevolge van een wisselend debiet door de tank) te modelleren. De verwachting is dat hiermee betrouwbare resultaten zullen worden behaald. Het vullen van de tank zal mogelijk meer problemen opleveren. Maar de verwachting is dat dit ook mogelijk zal zijn. Ook het modelleren van de bezinking van verschillende deeltjes behoort tot de mogelijkheden van PHOENICS.

De resultaten van de berekeningen met PHOENICS zullen worden beschreven in het volgende rapport.

## VERKLARENDE WOORDENLIJST EN AFKORTINGEN

### **Bergbezinkbassin of bergbezinktank.**

Omdat een bassin een open reservoir betekent, en een tank open en gesloten kan zijn, is gekozen om hier het woord bergbezinktank te gebruiken.

### **Overstort**

Constructie waar water overheen stort. Overstorten bevinden zich tussen het riool en de bergbezinktanks (interne overstort) en tussen de bergbezinktanks en het oppervlaktewater (externe overstort).

### **Overstorting.**

De gebeurtenis waarbij water over de overstort stroomt.

|               |  |
|---------------|--|
| <b>AMK</b>    | Algemene Milieu Kwaliteit.                                 |
| <b>BZV</b>    | Biochemisch Zuurstof Verbruik.                             |
| <b>CUWVO</b>  | Commissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewater. |
| <b>dwa</b>    | droogweerafvoer.   |
| <b>IMP</b>    | Indicatief Meerjaren Programma water.                      |
| <b>NWRW</b>   | Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit.           |
| <b>p.o.c.</b> | pompoevercapaciteit (mm/h).                                |
| <b>rwzi</b>   | rioolwaterzuiveringsinrichting.                            |
| <b>TUD</b>    | Technische Universiteit Delft.                             |

## SYMBOLENLIJST

|             |   |
|-------------|---|
| $A_b$       | oppervlak bezinkzone ( $m^2$ )  |
| $B$         | onderdrempelberging in gemengd rioelstelsel (mm)  |
| $b$         | breedte (m)   |
| $c$         | concentratie  |
| $C_{in}$    | concentratie van instromende water  |
| $C_{uit}$   | concentratie van uitstromende water   |
| $F_v$       | verhard oppervlak (ha)  |
| $g$         | zwaartekracht versnelling ( $m/s^2$ )   |
| $H$         | diepte (m)  |
| $L$         | lengte (m)  |
| $M_b$       | bezonden vuilvracht (kg)  |
| $M_g$       | geborgen vuilvracht (kg)  |
| $M_{in}$    | vuilvracht die in een bergbezinktank binnenstroomt (kg)                                   |
| $M_{over}$  | vuilvracht die overstort uit rioelstelsel zonder bergbezinktank (kg)                      |
| $M_{uit}$   | vuiluitworp uit een bergbezinktank (kg)   |
| $M_{riool}$ | vuilvracht die doorstroomt naar het rioel bij een bergbezinktank in hoofdaansluiting (kg) |
| $Q_{in}$    | instromend debiet ( $m^3/s$ )   |
| $Q_{uit}$   | uitstromend debiet ( $m^3/s$ )  |
| $R$         | hydraulische straal (m)   |
| $R_b$       | bezinkingsrendement   |
| $R_g$       | bergingsrendement   |
| $R_s$       | stationaire bezinkingsrendement   |
| $R_t$       | totaalrendement   |
| $R_v$       | virtuele bezinkingsrendement  |
| $s$         | bezinksnelheid (m/s)  |
| $s_o$       | oppervlakte belasting (m/s)   |
| $T$         | verblijftijd (s)  |
| $t$         | tijd (s)  |
| $V$         | Volume ( $m^3$ )  |
| $v$         | stroomsnelheid (m/s)  |
| $\nu$       | viscositeit ( $m^2/s$ )   |

## LITERATUURLIJST

CUWVO VI, 1991, *Aanbevelingen voor het beleid en de vergunningverlening met betrekking tot overstorting uit rioolstelsels en regenwaterlozingen*, CUWVO VI: subwerkgroep Eisen rioolwateroverstorten.

DHV, *Handleiding ontwerp berg(bezink)randvoorzieningen*, Hoogreemraadschap West-Brabant.

Huisman L., 1981, *Sedimentation and Flotation, Mechanical Filtration*, TUD, dictaat N4, Delft.

Koot A.J.C., 1988, *Inzameling en transport rioolwater*, TUD, dictaat N3, Delft.

Melis H., 1991, *Optimalisering van grote nabezinktanks; Mathematisch model voor de waterbeweging*, STORA project 1.1.6, TUD, Delft.

NWRW, 1989, *Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989*, eindrapport.

NWRW, nr. 3.1, 1984, *Randvoorzieningen aan rioolstelsels*.

NWRW, nr. 5.2, 1989, *Vuiluitworp van gemengde rioolstelsels*.

NWRW, nr. 8.1, *Rendement randvoorziening bergbezinkbassin Amersfoort*.

NWRW, nr. 8.2, *Rendement randvoorziening bergbezinkbassin Kerkrade*.

NWRW, nr. 8.5, *Rioolstelsels met en zonder bergbezinkbassins*.

NWRW, nr. 9.1, 1989, *Hoofdrapport Effecten van emissies op oppervlaktewater*.

Rompaey D. van, 1991, *Bergbezinkbassins in gemengde rioolstelsels*, KUL en TUD, Leuven.

Veldkamp R.G., 1991, *Randvoorzieningen kritisch beschouwd*, Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, TUD, Mededeling van de vakgroep nr. 42, Delft.

Veldkamp R.G., 1992, *Een nieuwe visie op het rendement van bergbezinktanks*, publicatie in H2O in voorbereiding.

Vermeer E.A. en Kop J.H., 1990, *Optimalisering van grote nabezinktanks; Literatuurstudie*, STORA project 1.1.6, TUD, Delft.



Bibliotheek TU Delft  
Fac. CiTG subfac. Civiele Techniek

c3132296

