

0350

# Ondergrondse geheimen Julianapark boven water

Een analyse van kwantiteits- en kwaliteitsmetingen van water in de uitlaat van een regenwaterstelsel en in het effluent van een ontvangbak, ingericht als randvoorziening

Augustus 1995

J.A.E. ten Veldhuis

---



Technische Universiteit Delft

Faculteit / Dienst

Civiele Techniek

96-0028-BIB

|                    |             |              |
|--------------------|-------------|--------------|
| A.J.H. de Beaufort | A.S. Beener | Chr. de Boer |
| <i>BJ.</i>         | <i>AS</i>   | <i>CB</i>    |

09 JAN. 1996

- ☐ Ter kennisneming
- ☐ Graag uw mening
- ☐ Ter goedkeuring / ondertekening
- ☐ Ingevolge uw verzoek
- ☐ Volgens afspraak
- ☐ Met dank retour
- ☐ Na inzage graag terug
- ☐ Ter herinnering
- ☐ Graag behandeling overnemen
- ☒ Voor uw documentatie / bibliotheek
- ☐ Voor bespreking / vergadering op

Doorkiesnummer

(015) 78 3347

Datum

4/1/1996

Onderdeel

Gezondheidstechniek

Verzonden door

Eva Hocks

☐ = 3 verschillende rapporten!

"ΟΥΤΟΣ ΣΟΦΩΤΑΤΟΣ ΕΣΤΙ ΟΣΤΙΣ ΕΓΝΩΚΕΝ  
ΟΤΙ ΟΥΔΕΝΟΣ ΑΞΙΟΣ ΕΣΤΙ ΠΡΟΣ ΣΟΦΙΑΝ"

"De wijste is hij die weet dat hij niets weet"

Plato, Apologie  
Tekstpassage 23B  
citaat van Socrates

# Ondergrondse geheimen Julianapark boven water

Een analyse van kwantiteits- en kwaliteitsmetingen van water in de uitlaat van een regenwaterstelsel en in het effluent van een ontvangbak, ingericht als randvoorziening

Technische Universiteit Delft  
Faculteit der Civiele Techniek  
Vakgroep Waterbeheer Milieu en Gezondheidstechniek  
Sectie Gezondheidstechniek

Afstudeerbegeleiders:  
Prof. ir. J.B.M. Wiggers  
Prof. dr. M. Donze  
Ing. W.W.J. Prinzhorn

Marie-claire ten Veldhuis  
Delft , augustus 1995



## VOORWOORD

Het werk dat u zojuist heeft opengeslagen bevat een verslag van de werkzaamheden die door mij in het kader van afstuderen zijn verricht in de periode van november 1994 tot en met augustus 1995. Deze werkzaamheden betreffen een analyse van de kwantitatieve en kwalitatieve metingen die zijn uitgevoerd aan het water dat uit een regenwaterstelsel en door een ontvangbak stroomt, in een woonwijk in Amsterdam. Deze metingen vonden plaats in het kader van het project Juliana-park, een project van de dienst RWA, Riolering en Waterhuishouding Amsterdam. De Technische Universiteit Delft is bij dit project betrokken ter wetenschappelijke ondersteuning.

Als afstudeerder van de TU Delft heb ik in eerste instantie de meetgegevens verwerkt om de resultaten op hun betrouwbaarheid te controleren en de zeer grote gegevensbestanden - kwantitatieve metingen per minutt voor de gehele onderzoeksperiode, kwalitatieve metingen tijdens buien, voor een zeer groot aantal parameters - overzichtelijk en toegankelijk te maken. Daarnaast moeten de kwantitatieve en de kwalitatieve gegevens in een aparte bewerkingsslag met elkaar worden gecombineerd.

Na validatie en deze eerste bewerking van de meetresultaten kon de analyse van de gegevens plaatsvinden. Naar aanleiding van de gegevensanalyse zijn een aantal malen aanpassingen van en aanvullingen op het oorspronkelijke meetprogramma uitgevoerd, teneinde de resultaten van het project te verbeteren en een beter begrip te krijgen van de zich afspelende processen.

Ik had mijn weg niet kunnen vinden in de veelheid en verscheidenheid aan gegevens die in de loop van het project op me af kwamen, zonder af en toe een richtingaanwijzing te krijgen van meer ervaren betreders van dit moeilijk begaanbare gebied. Ik wil prof.ir. J.B.M. Wiggers bedanken, die mij vanaf mijn eerste schreden op dit gebied heeft begeleid, en prof.dr. M. Donze, die me een aantal voor mij verrassende nieuwe wegen heeft gewezen.

Verder gaat mijn dank uit naar de mensen van de gemeente Amsterdam die aan dit project meewerken en in de loop van het project over allerlei problemen hebben meegedacht en steeds voor mijn vragen hebben opengestaan: in de eerste plaats ing. W.W.J. Prinzhorn, mijn directe begeleider en leider van het project Julianapark, verder P. Smits en T. Janse van het chemisch laboratorium, T. Bronius die het verloop van de metingen steeds in de gaten heeft gehouden, P. Theijssen en J.W. Voort, degenen die het meest van iedereen in het Julianapark aanwezig zijn geweest om daar meetgegevens en monsterflessen op te halen en allerlei problemen op te lossen.

Bij de meetsessies, die werden uitgevoerd in het kader van het practicum N71, Ecologie van prof. Donze, heb ik veel hulp gekregen van Hellen Havinga. Haar geduld en enthousiasme over de onverwachte resultaten die we boven water haalden, zorgden voor een plezierige en produktieve samenwerking.

Ik dank ook Lodewijk Wiggers die vele series simulatieberekeningen heeft uitgevoerd waarvan ik de resultaten in mijn verslag heb kunnen verwerken.

Tenslotte wil ik mijn ouders bedanken die mij wanneer ik mijn balans dreigde kwijt te raken weer in evenwicht brachten door hun geduld en vanzelfsprekende belangstelling.

Marie-claire ten Veldhuis  
Delft, augustus 1995

## INHOUDSOPGAVE

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Voorwoord</b>                                                      | iv |
| <b>Samenvatting</b>                                                   | ix |
| <b>1. Inleiding</b>                                                   | 1  |
| 1.1 Afvoer van regenwater                                             | 1  |
| 1.2 Doelstelling van het afstudeeronderzoek                           | 1  |
| 1.3 Indeling van het verslag                                          | 2  |
| <b>2. Gescheiden rioolstelsels, de voorgeschiedenis</b>               | 3  |
| 2.1 De ontwikkeling van riolering                                     | 3  |
| 2.2 Ontstaan van milieubesef                                          | 3  |
| 2.3 Nieuwe inzichten over rioolwaterkwaliteit                         | 4  |
| <b>3. Project Julianapark</b>                                         | 5  |
| 3.1 Doel van het project                                              | 5  |
| 3.2 Gebied Julianapark Amsterdam                                      | 5  |
| 3.2.1 Beschrijving van het gebied                                     | 5  |
| 3.2.2 Afwatering in het gebied                                        | 5  |
| 3.3 Meetprogramma ontvangbak Julianapark                              | 6  |
| 3.3.1 Kwantiteitsmetingen                                             | 7  |
| 3.3.2 Watermonsters                                                   | 7  |
| 3.3.3 Metingen aan het slib                                           | 8  |
| 3.3.4 Aanvullende bepalingen                                          | 8  |
| <b>4. Methodiek van modelleren</b>                                    | 9  |
| 4.1 Opzet van modellen                                                | 9  |
| 4.2 Stappen in het modelleren van het regenwaterafvoerproces          | 9  |
| 4.3 Conceptueel model van het systeem voor regenwaterafvoer           | 10 |
| <b>5. Berekening van afgevoerde waterhoeveelheden</b>                 | 12 |
| 5.1 Modellen voor simulatie van stroming in rioolstelsels             | 12 |
| 5.2 Berekeningen uit de kwantiteitsmetingen voor het Julianapark      | 12 |
| 5.2.1 Neerslagverlies                                                 | 13 |
| 5.2.2 Vertragingstijd                                                 | 13 |
| 5.2.3 Beschouwing in-en uitgaande volumina regenwaterstelsel          | 14 |
| 5.3 Modeluitkomsten en meetresultaten                                 | 15 |
| 5.3.1 Gemeten debieten                                                | 15 |
| 5.3.2 Instelbare parameters                                           | 16 |
| 5.3.3 Resultaten van simulaties met variërende parameterwaarden       | 16 |
| 5.3.4 Conclusie simulaties niet-stationair stromingsmodel             | 19 |
| <b>6. Analyse van de waterkwaliteitsmetingen</b>                      | 21 |
| 6.1 Methode van analyse                                               | 21 |
| 6.1.1 Verschillende benaderingen voor analyse waterkwaliteitsgegevens | 21 |
| 6.1.2 Gedrag van een watersysteem                                     | 22 |
| 6.2 Kwaliteitsmetingen tijdens een bui                                | 25 |
| 6.2.1 Eerste benadering: Verloop van de concentraties in de tijd      | 25 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.1 Tweede benadering: Vrachten tijdens een bui                                                | 29 |
| <b>7. Metingen in droge periode</b>                                                              | 37 |
| 7.1 Meting tijdens bui en aansluitende droge periode                                             | 37 |
| 7.1.1 Concentratieverloop en vrachten voor chloride                                              | 37 |
| 7.1.2 Concentratieverloop en vrachten voor overige stoffen                                       | 39 |
| 7.1.3 Uitkomst van meting bui met aansluitende droge periode                                     | 40 |
| 7.2 Meting in lange periode van droog weer                                                       | 41 |
| 7.2.1 Concentraties en vrachten tijdens droog weer                                               | 41 |
| 7.2.2 Kanttekeningen bij concentratie-gemiddelden                                                | 43 |
| 7.2.3 Opmerkingen naar aanleiding van concentratie-variaties                                     | 45 |
| 7.2.4 Uitkomst van droogweer-meting                                                              | 46 |
| <b>8. Interne structuur van de watermassa in de ontvangbak</b>                                   | 47 |
| 8.1 Uitkomst meetsessies: gelaagdheid in de bak                                                  | 47 |
| 8.2 Droogweer-meetsessie                                                                         | 47 |
| 8.2.1 Meting van de geleidbaarheid op verschillende diepten                                      | 47 |
| 8.2.2 Metingen in de dwarsrichting van de ontvangbak                                             | 50 |
| 8.2.3 Aanvullende metingen                                                                       | 51 |
| 8.3 Meetsessie na onweersbui                                                                     | 52 |
| 8.3.1 Meting van de buimonsters                                                                  | 52 |
| 8.3.2 Meting van de geleidbaarheid op verschillende diepten                                      | 55 |
| 8.3.3 Aanvullende metingen                                                                       | 56 |
| 8.4 Consequenties van bevindingen meetsessies                                                    | 56 |
| <b>9. Gevolgtrekkingen en hypothesen over stromingsprocessen in stelseluitlaat en ontvangbak</b> | 58 |
| 9.1 Droogweer-situatie                                                                           | 58 |
| 9.2 Situatie met regenwater-afvoer                                                               | 58 |
| 9.3 Overgangssituatie van droogweer- naar regenafvoer                                            | 59 |
| 9.3.1 Overgangsprocessen in de stelseluitlaat                                                    | 60 |
| 9.3.2 Overgangsprocessen in de ontvangbak                                                        | 60 |
| 9.4 Overgangssituatie van regen- naar droogweer-afvoer                                           | 62 |
| 9.4.1 Veronderstellingen naar aanleiding van meting tijdens bui en aansluitende droge periode    | 62 |
| 9.4.2 Veronderstellingen die volgen uit droogweer-meetsessie                                     | 63 |
| <b>10. Ontwerp nieuwe meetopstelling</b>                                                         | 65 |
| 10.1 Processen in het totale afvoersysteem die metingen beïnvloeden                              | 65 |
| 10.2 Aandachtspunten bij inrichten meetopstelling                                                | 65 |
| 10.3 Voorstel voor nieuwe meetopstelling                                                         | 66 |
| 10.4 Samenvatting aanpassing meetopstelling                                                      | 68 |
| <b>11. Conclusies en aanbevelingen</b>                                                           | 69 |
| 11.1 Conclusies ten aanzien van afvoerprocessen met betrekking tot watekwantiteit                | 69 |
| 11.2 Conclusies ten aanzien van uitvoering meetproject Julianapark                               | 70 |
| 11.3 Conclusies uit analyses meetgegevens                                                        | 70 |
| 11.4 Conclusies over verloop en voortgang van het meetproject Julianapark                        | 71 |
| 11.5 Aanbevelingen                                                                               | 72 |

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Referenties</b>                                                                | 74  |
| <b>Bijlagen</b>                                                                   |     |
| I Gegevens wijk Julianapark en meetplan project                                   | 75  |
| I.1 Kenmerken van het gebied                                                      | 75  |
| I.2 Afwatering in het gebied                                                      | 77  |
| I.3 Meetplan project Julianapark                                                  | 81  |
| I.3.1 Kwantiteitsmetingen                                                         | 81  |
| I.3.2 Kwaliteitsmetingen                                                          | 82  |
| I.3.3 Metingen aan het slib                                                       | 83  |
| I.3.4 Aanvullende metingen                                                        | 83  |
| II Niet-stationaire modellen voor stroming in rioolstelsels                       | 85  |
| II.1 Inleiding                                                                    | 85  |
| II.2 Gegevensbestanden voor een simulatieprogramma voor stroming in rioolstelsels | 85  |
| II.3 Berekeningsgrondslagen van een rioolmodel                                    | 86  |
| III Van neerslag naar rioolinloop                                                 | 87  |
| III.1 Inleiding                                                                   | 87  |
| III.2 NWRW-inloopmodel                                                            | 87  |
| III.3 Afstromingsmodel van Hydroworks                                             | 88  |
| IV Meetresultaten project Julianapark                                             | 91  |
| IV.1 Resultaten kwantiteitsmetingen van regenbuien                                |     |
| IV.2 Resultaten monsteranalyses regenbuien                                        |     |
| V Chloride in grond- en kwelwater                                                 | 105 |
| VI Berekening in- en uitgaande vrachten en voorraad in ontvangbak en stelsel      | 107 |
| VII Berekening zout-afname in ontvangbak ten gevolge van onweersbui 14 juli       | 111 |

## SAMENVATTING

"Het is altijd hetzelfde: een flinke zomerse bui en bij die pijp (uitlaat regenwaterstelsel, MCtV) drijven de vissen op der rug." (uitspraak bewoner wijk Julianapark).

"Het is toch zonde dat we dat schone regenwater maar in het riool gooien, samen met dat smerige afvalwater, daar zijn veel mooiere oplossingen voor te bedenken." (spreekster ingenieursbureau OpMaat).

### *Waar ligt de waarheid?*

Is regenwater zo vuil dat het als afvalwater moet worden afgevoerd, of is het te schoon om het met het afvalwater af te voeren? Noch voor de ene, noch voor de andere opvatting zijn tot op dit ogenblik voldoende overtuigende argumenten voorhanden. Het belang van die argumenten is snel toegenomen sinds er wettelijke regels zijn uitgevaardigd die strenge eisen stellen aan de systemen voor regenwaterafvoer, doordat de kwaliteit van de leefomgeving steeds meer aandacht krijgt. Het meetproject Julianapark van de gemeente Amsterdam levert belangrijke nieuwe argumenten voor de discussie over de regenwaterafvoer, doordat het antwoord geeft op een aantal vragen, maar evenzeer doordat het vele nieuwe vragen heeft doen rijzen.

Dit afstudeerwerk, dat de analyse inhoudt van de resultaten van het project Julianapark voor de periode december 1994 tot augustus 1995, is een stap op de lange weg die het onderzoek naar het proces van regenwaterafvoer nog heeft af te leggen.

Het doel van het onderzoek is om de afvoer van regenwater en van vuil met het regenwater in modelmatige relaties te beschrijven. Het onderzoek omvat de afvoerprocessen in de wijk, in het regenwaterstelsel en in de ontvangbak, die in het Julianapark achter de regenwateruitlaat is geplaatst met als doel de vuiluitwerp naar het oppervlaktewater te reduceren.

### *Afvoer van regenwater, kwantitatieve aspecten*

Er bestaan verscheidene niet-stationaire modellen die de hydrodynamische processen die zich afspelen bij de afstroming van regenwater, eerst over het oppervlak, daarna in het rioolstelsel, simuleren. Het simulatie-programma dat in dit onderzoek is gebruikt, blijkt bij de simulatie van de regenwaterafvoer in het Julianapark goede resultaten te kunnen opleveren, die de metingen dicht benaderen. De interpretatie van deze resultaten wordt echter sterk gehinderd door de beperkte mate van inzicht die het model geeft in de gebruikte default-waarden en in de manier waarop het het oppervlakte-afstromingsproces modelleert.

Het blijkt mogelijk de parameters in de relaties die het simulatiemodel gebruikt zodanig te definiëren dat ze één bepaald type regengebeurtenissen goed beschrijven. Er bestaat echter geen serie parameters die voor alle soorten buien voldoet.

### *Afvoer van regenwater, kwalitatieve aspecten*

De processen die de afvoer van vervuilende stoffen met het regenwater bepalen zijn in de loop van het onderzoek zeer complex gebleken. De grote hoeveelheid gegevens die uit het meetproject is voortgekomen, is niet toereikend om modelmatige relaties voor de vuilafvoer op te kunnen stellen. Wel is in de loop van het onderzoek waardevolle ervaring opgedaan, die leert hoe een meetopstelling en een meetprogramma zodanig kunnen worden ontworpen dat op doelgerichte wijze betrouwbare en beter bruikbare meetresultaten worden verkregen.

### *Verloop van het meetproject Julianapark*

Het onderzoek richtte zich in eerste instantie op de afvoer van water en vervuilende stoffen tijdens regenbuien. Het omvatte alle onderdelen van het totale systeem waarin deze afvoer plaatsvindt:

### *Ondergrondse geheimen Julianapark boven water*

kwaliteit van het hemelwater, eigenschappen van de verschillende typen oppervlak, stroming in het stelsel, stroming in de ontvangbak, rendement van de ontvangbak, kwaliteit van het oppervlaktewater. Deze veelheid aan onderwerpen vertroebelde het zicht op de respectieve processen die van belang zijn en bovendien op de problemen die zich voordeden bij de vastlegging daarvan volgens het meetprogramma.

De kwaliteitsmetingen tijdens buien leverden resultaten op die in verschillende opzichten onverklaarbaar waren. De concentraties vertoonden tijdens de regenbuien veelvuldig pieken, dalingen en stijgingen die niet aan bekende processen konden worden gerelateerd of zelfs volkomen onlogisch waren. Bovendien leek een aantal stoffen in concentratie toe te nemen bij het doorlopen van de ontvangbak, die evenwel geacht werd het tegenovergestelde effect te bewerkstelligen.

Dit was aanleiding tot het uitvoeren van aanvullende metingen, de eerste tijdens een bui en de daaraan aansluitende droge periode, de volgende tijdens een langdurige droge periode. Het doel van deze metingen was een kloppende balans te kunnen opstellen voor de afvoer van vervuilende stoffen in de ontvangbak. Geen van beide metingen leverde echter een sluitende balans op. De resultaten riepen daarentegen slechts meer vragen op over de aard van de processen die zich bij de afvoer in het stelsel en in de ontvangbak afspeelden.

Teneinde over de stromingsprocessen in de ontvangbak enig uitsluitsel te krijgen, heeft een tweetal meetsessies plaatsgevonden. De eerste vond plaats tijdens droogweer-afvoer, die bestaat uit drainage- en lekwater, de tweede bij regenafvoer. Op een aantal plaatsen in de lengte-, breedte- en diepterichting van de bak werd de geleidbaarheid gemeten. De geleidbaarheidsmetingen toonden aan dat er een sterke verticale gradiënt in de ontvangbak aanwezig is. In de droogweer-situatie konden vier verschillende lagen worden onderscheiden, bij regenafvoer twee.

Deze uitgesproken interne structuur van de watermassa in de ontvangbak verklaart dat de kwaliteitsmetingen schijnbaar onlogische of zelfs onmogelijke resultaten opleverden. Het vermoeden bestaat dat zich niet alleen in de bak een verticale gradiënt instelt, maar dat zich ook in de stelseluitlaat bij lage stroomsnelheid een gelaagdheid voordoet die de onverwachte ontwikkelingen in het concentratieverloop aldaar kan verklaren.

### *Resultaten van het onderzoek*

Uit de analyse en de interpretatie van de meetgegevens van het project Julianapark kan veel lering worden getrokken over de manier waarop een onderzoek naar de vuilafvoerprocessen in rioolstelsels efficiënt kan worden ingericht. Het onderzoek wint sterk aan helderheid en doeltreffendheid wanneer er een eenduidig, goed gedefinieerd onderzoeksdoel aan ten grondslag ligt. Hierbij moet de complexiteit van de processen die de vuilafvoer met het regenwater bepalen, niet worden onderschat. Daarnaast verdient het aanbeveling het definitieve onderzoek door een oriënterend onderzoek vooraf te laten gaan. Dit geeft inzicht in het gedrag van het te onderzoeken systeem, wat voor een goed ontwerp van het meetprogramma onontbeerlijk is en bovendien bijdraagt aan de interpretatie van de uiteindelijke meetresultaten. Tenslotte kan een flexibele opzet van het meetprogramma de efficiëntie tijdens het onderzoek verhogen, doordat het meetprogramma kan worden bijgesteld zodra de resultaten van het onderzoek daartoe aanleiding geven. Deze bijstelling kan een besparing opleveren door niet-productieve metingen te vervangen of te verbeteren.

De uitkomsten van de meetsessies hebben geleid tot aanpassing van de meetopstelling en van het meetprogramma voor het project Julianapark.

Het meetpunt voor de effluentstroom van de ontvangbak bleek niet representatief voor deze stroom. Het wordt verplaatst van de oorspronkelijke lokatie in de bak naar de effluentstroom zelf.



Daarbij wordt de monsternamen zodanig ingericht dat de verkregen monsters een representatief beeld geven van de totale effluentstroom.

De resultaten maakten duidelijk dat het niet mogelijk was de vuiluitworp te bepalen ten gevolge van één bui. De overgang van droogweer- naar regenafvoer en terug vindt zeer geleidelijk plaats, waarbij een beduidende mate van menging tussen de verschillende afvoerstromen optreedt. Er is geen duidelijk begin- en eindpunt van de vuilafvoer door regenwater te onderscheiden, wat tot gevolg heeft dat een balans voor de vuilafvoer alleen kan worden opgesteld voor een lange aaneengesloten periode. Daarom zullen de kwaliteitsmetingen in het vervolg tijdens droge perioden ononderbroken worden voortgezet.

De resultaten van het eerste gedeelte van het meetproject, van december tot augustus, leveren voldoende kwantiteitsgegevens om niet-stationaire modellen voor de stroming in rioolstelsels te kunnen calibreren. Daarnaast vergroten ze het inzicht in de processen die de neerslagverliezen en de vertraging bepalen die optreden bij de waterafvoer over het oppervlak en in het stelsel. Ze leveren bovendien gegevens van concentraties en vuilvrachten die tijdens buien voorkomen in de uitlaat van stelsel Julianapark.

Het nieuwe meetprogramma zal gegevens opleveren aan de hand waarvan een balans kan worden opgesteld voor de vuilafvoer in de ontvangbak. Uit deze balans volgt het rendement van de ontvangbak.

## 1. INLEIDING

### 1.1 Afvoer van regenwater

Afvoer van regenwater in stedelijke gebieden vindt in Nederland op twee manieren plaats: via een gemengd ofwel via een gescheiden stelsel. Daarnaast kan regenwater rechtstreeks afstromen over het oppervlak naar nabijgelegen oppervlaktewater of infiltreren in de ondergrond. Het grootste probleem dat gepaard gaat met de afvoer van neerslag is het dynamische karakter van dit verschijnsel. De neerslag vertoont grote variaties in intensiteit, duur en hoeveelheid, waardoor de af te voeren hoeveelheden water en de periode waarover moet worden afgevoerd, sterk kunnen variëren.

Bij een gemengd stelsel leiden hevige regenbuien tot een hogere belasting van de rwzi<sup>1</sup> en tot overstorten van een mengsel van regen- en afvalwater direct op het oppervlaktewater. Een gescheiden stelsel brengt directe lozing van grote hoeveelheden afgestroomd regenwater op het oppervlaktewater met zich mee. Dit water heeft vervuilende stoffen opgenomen uit de atmosfeer, bij afstroming over het oppervlak en stroming in het stelsel. Om de belasting van het oppervlaktewater in het laatste geval te verminderen, worden verbeterd gescheiden stelsels aangelegd, die een deel van de neerslag afvoeren naar de rwzi en het overige deel lozen op het oppervlaktewater. De rwzi moet deze grotere hoeveelheid water die wordt aangevoerd kunnen verwerken, de hydraulische, maar ook de biologische capaciteit moet daarop dus worden aangepast. De lozing van regenwater, dat over het oppervlak is afgestroomd, vervuult in dit geval nog steeds het oppervlaktewater, zij het in minder grote hoeveelheden.

Het probleem van de afvoer van sterk variërende neerslaghoeveelheden, die milieubelastende stoffen bevatten en daarmee het oppervlaktewater vervuilen, is hiermee nog niet voldoende opgelost.

### 1.2 Doelstelling van het afstudeeronderzoek

De kennis over het afvoerproces van regenwater verkeert, met name wat betreft de kwaliteitsaspecten, nog in een rudimentair stadium. De problemen die zich bij de afvoer voordoen kunnen met de huidige kennis niet zodanig worden opgelost dat aan de eisen met betrekking tot veiligheid, overlast en milieu wordt voldaan.

Het doel van dit afstudeeronderzoek is de processen die een rol spelen bij de afvoer van regenwater uit een woonwijk, vervolgens bij de afvoer via een regenwaterstelsel te bestuderen, teneinde deze processen in een model te kunnen beschrijven. Deze bestudering betreft zowel de waterafvoer als de afvoer van vervuilende stoffen met het water.

Uitgangspunt bij dit onderzoek is de verzameling van meetresultaten, kwantitatieve zowel als kwalitatieve, die gedurende het onderzoek voortkomen uit het project Julianapark van de gemeente Amsterdam. De meetresultaten van dit project leveren informatie over de afvoer vanuit het regenwaterstelsel in de wijk Julianapark. Het regenwaterstelsel is voorzien van een ontvangbak achter de uitlaat van het stelsel, waar het water doorheen stroomt alvorens over te storten in het oppervlaktewater.

De resultaten uit het project Julianapark worden gebruikt om het afvoerproces in dit gebied te analyseren en om te bekijken welke invloed de aldaar aangebrachte voorziening, de ontvangbak,

---

<sup>1</sup>r.w.z.i.: rioolwaterzuiveringsinrichting



## Ondergrondse geheimen

heeft op de samenstelling van het afgevoerde water.

Naar aanleiding van het onderzoek kunnen conclusies worden getrokken over de factoren die de regenwaterafvoer en de kwaliteit van het geloosde water beïnvloeden. Bovendien zal het onderzoek kunnen uitwijzen hoe zinvol het aanbrengen van een voorziening zoals die in het Julianapark is.

### 1.3 Indeling van het verslag

De hoofdstukken 2 en 3 vormen een algemene inleiding tot het onderwerp van het afstudeeronderzoek. In hoofdstuk 4 volgt een theoretische behandeling van het modelleringsproces voor de regenwaterafvoer. Hoofdstuk 5 bevat de resultaten van de kwantitatieve analyse van het regenwaterafvoerproces. Vervolgens komen in hoofdstuk 6, 7 en 8 de kwalitatieve aspecten aan de orde. Hoofdstuk 9 behandelt de gevolgtrekkingen en hypothesen die voortkomen uit de analyses van de waterkwaliteitsmetingen. Hoofdstuk 10 bevat een voorstel voor het verbeteren van de meetopstelling, naar aanleiding van de resultaten van de kwalitatieve analyse. Het verslag eindigt met de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 11.

## **2. GESCEIDEN RIOOLSTELSELS, DE VOORGESCHIEDENIS**

Het rioolstelsel is, naast de bebouwing, het wegenplan en de leidingenstelsels voor de voorziening van drinkwater, gas, e.d., een vast onderdeel van de inrichting van bewoonde gebieden. Dit geldt pas sinds de tweede helft van de vorige eeuw, toen het besef doordrong van de zin van met name afvalwaterafvoer. Nu, ruim 100 jaar later, leiden de steeds verder stijgende kosten voor aanleg en onderhoud van rioolstelsels en de steeds strengere milieu-eisen ertoe dat de opvattingen over het ontwerp van een rioolsysteem veranderen. Daarom is het interessant de oorspronkelijke motieven voor het aanleggen van rioolstelsels nog eens naast elkaar te zetten.

### **2.1 De ontwikkeling van riolering**

Het enige "rioolsysteem" dat in de middeleeuwen bestond, was het tonnetjessysteem. De menselijke faecaliën werden verzameld in tonnetjes en met karren opgehaald langs de huizen. De inhoud van de tonnetjes werd als mest verkocht aan boeren en tuinders en had zo een zekere economische waarde.

Rond 1870 braken in de Europese steden op grote schaal cholera-epidemieën uit. Toen werd voor het eerst het verband gelegd tussen de verspreiding van deze ziekte en de verontreiniging van het drinkwater met faecaliën. De primaire reden om te beginnen met de aanleg van stelsels voor de afvoer van afvalwater was dan ook een hygiënische: bescherming van de volksgezondheid door de besmetting van het water dat diende als bron voor drinkwater, te voorkomen.

Een tweede belangrijke beweegreden voor de aanleg van rioolstelsels was het voorkomen van wateroverlast als gevolg van hevige regenbuien. Hiervoor zijn in de loop van de jaren ontwerpregels tot stand gekomen die het risico van overstroming tot een aanvaardbaar niveau beperken.

Daarnaast kreeg de riolering een functie bij het ontwateren van drassige gebieden en voor de afvoer van afvalwater van bedrijven en industrieën. Het riool werd de vergaarbak voor alle soorten van afval- en overtollig water en transporteerde dit simpelweg naar plaatsen waar het minder overlast bezorgde.

### **2.2 Ontstaan van milieubesef**

In de jaren 60 van deze eeuw bleek dat deze methode voor de waterafvoer geen bevredigende oplossing bood: de wateren waarop geloosd werd, raakten ernstig vervuild en het aquatisch leven dreigde volledig te verdwijnen.

Dat is het moment waarop werd besloten tot de aanleg van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Deze dienden en dienen om de kwaliteit van het milieu te verbeteren, door de hoeveelheid met het afgevoerde water op het oppervlaktewater geloosde vervuilende stoffen, te reduceren.

Een nadeel van het bestaande stelsel treedt echter aan het licht: doordat al het af te voeren water in één stelsel wordt verzameld, zijn de afgevoerde hoeveelheden tijdens regenbuien groot en wisselt het water sterk van kwaliteit. De rioolwaterzuiveringsinstallaties moeten al dit water kunnen verwerken en behandelen en moeten bovendien de variaties in aangevoerde hoeveelheden en concentraties kunnen opvangen. Overigens worden rioolstelsels en zuiveringsinrichtingen niet ontworpen om alle voorkomende regenbuien te kunnen verwerken, maar alleen die tot een bepaalde ontwerpintensiteit. Buien met een grotere intensiteit leiden tot overstorting van het rioolstelsel waarbij een mengsel van afval- en regenwater rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht komt.

In eerste instantie leefde het idee dat het regenwater voldoende schoon was om het direct op het oppervlaktewater te kunnen lozen, zonder nadelige effecten. Dit water zou dus niet via een zuiveringsinrichting hoeven stromen, als het niet met afvalwater gemengd zou worden.

Een logisch vervolg was over te gaan tot het aanleggen van gescheiden rioolstelsels, die het afvalwater en het regenwater via twee afzonderlijke systemen afvoeren. Het relatief schone regenwater wordt dan niet vervuild door menging met het afvalwater. Het afvalwatersysteem voert af naar de rioolwaterzuiveringsinrichting, vanwaar het water na behandeling wordt geloosd. Het regenwatersysteem voert het water rechtstreeks af naar nabijgelegen oppervlaktewater. Gescheiden rioolstelsels hebben het voordeel dat in vergelijking tot gemengde stelsels de afvalwaterstroom sterk afneemt en dat de stroom in hoeveelheid en in samenstelling veel constanter is. Een nadeel is dat de kosten voor de aanleg en het onderhoud van twee stelsels hoger zijn, maar deze nemen af naarmate er meer oppervlaktewater beschikbaar is op korte afstand. Het regenwaterstelsel kan hier gemakkelijk op lozen, waardoor de lengte en de doorsneden van de leidingen beperkt kunnen blijven.

### **2.3 Nieuwe inzichten over rioolwaterkwaliteit**

Intussen heeft de bescherming van het milieu steeds hogere prioriteit gekregen en zijn de milieueisen steeds strenger geworden. Op 1 december 1970 treedt de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren in werking, die tot gevolg heeft dat met name op het gebied van de riolering grote nadruk komt te liggen op het verbeteren van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Waarnemingen en metingen hebben in de eerste plaats aangetoond dat overstortingen vanuit gemengde stelsels een onaanvaardbare belasting van het oppervlaktewater met zich mee brengen. Dit uit zich in hinder door stank en drijvend vuil, in ernstige zuurstoftekorten in het water vlak na een regenbui en in stijgende concentraties aan vervuilende stoffen in het oppervlaktewater.

In de tweede plaats is het duidelijk geworden dat het regenwater na afstroming over het oppervlak wel degelijk hoge concentraties aan vervuilende stoffen bevat en niet zomaar geloosd kan worden zonder nadelige effecten. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van verbeterde stelsels, gemengde zowel als gescheiden. De verbetering van een gemengd stelsel bestaat hierin, dat achter een overstort een bassin wordt aangelegd dat tijdens een hevige regenbui het overstortende water bergt, waardoor de hoeveelheid water die alsnog overstort sterk afneemt. Een bergbezinkbassin heeft naast een bergende functie ook de functie materiaal te laten bezinken waardoor het alsnog overstortende water minder vervuilende stoffen bevat. Het water dat na de regenbui in het bassin achterblijft kan naar de rioolwaterzuiveringsinrichting worden gepompt zodra daar de aanvoerpiek van de regenbui voorbij is.

Een verbeterd gescheiden stelsel lost niet meer al het regenwater direct op het oppervlaktewater, maar heeft één of meer verbindingen met het vuilwaterstelsel via welke het regenwater naar de zuiveringsinrichting wordt afgevoerd. Wanneer de hoeveelheid afstromend regenwater een bepaalde waarde overschrijdt en al het water niet meer via de tussenverbindingen kan worden afgevoerd, stroomt de rest rechtstreeks af naar het oppervlaktewater.

Deze bevindingen vinden hun weerslag in de CUWVO-richtlijnen die zijn uitgevaardigd als uitvloeisel van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren en tot doel hebben de belasting van het oppervlaktewater met vervuilende stoffen vanuit de rioolstelsels te verminderen. Ze stellen eisen aan rioolstelsels en aan de voorzieningen voor verbeterde gemengde en gescheiden stelsels, opdat de vuiluitworp naar het oppervlaktewater afneemt. In welke mate de maatregelen die de CUWVO-richtlijnen eisen de belasting van het oppervlaktewater verminderen, is nog niet aangetoond.

### 3. PROJECT JULIANAPARK

#### 3.1 Doel van het project

In het Julianapark in Amsterdam, een laag gelegen gebied in het oosten van de stad, bevindt zich een nieuwbouwwijk. Deze wijk is voorzien van een gescheiden stelsel dat het afvalwater via een gemaal afvoert naar de afvalwaterzuiveringsinrichting RI Oost en het regenwater loost op een waterpartij aan de rand van de wijk. De kwaliteit van het water in deze waterpartij is matig tot slecht.

In dit stelsel is een ontvangbak aangebracht bij de uitlaat van het regenwaterriool, die de belasting van het oppervlaktewater door het regenwater moet verminderen zonder dat de rwzi extra hoeft te worden belast, zoals bij een verbeterd gescheiden stelsel. In december 1994 is het project Julianapark gestart, in het kader waarvan er kwantiteits- en kwaliteitsmetingen worden verricht aan het stelsel en de aangebrachte voorziening.

Er is een meetprogramma opgezet voor dit stelsel dat een periode beslaat van één jaar, lopend van december 1994 tot december 1995. De metingen vinden plaats in de uitlaat van het regenwaterstelsel naar de ontvangbak en bij de uitstroomzijde van de bak. Op deze manier kan het effect van de ontvangbak op de kwaliteit van het afstromende water worden vastgesteld.

Het doel van het project Julianapark is vast te stellen of door de aanleg van ontvangbakken bij de uitlaten van regenwaterstelsels een oppervlaktewaterkwaliteit kan worden bereikt die vergelijkbaar is met die van wateren waarop de regenwaterriolering van een gescheiden stelsel loost. Daarnaast levert het project een schat aan gegevens, kwantitatieve zowel als kwalitatieve, over de waterafvoer uit een regenwaterstelsel.

#### 3.2 Gebied Julianapark Amsterdam

##### 3.2.1 Beschrijving van het gebied

De wijk Julianapark is een nieuwbouwwijk in Amsterdam, aangelegd in 1990, gelegen naast het station Amsterdam Amstel. De wijk maakt onderdeel uit van de Watergraafmeer, een diepe polder, en ligt op 5 à 5.5 m beneden NAP. Het Julianapark bestaat voor een deel uit een voormalig volkstuinencomplex, waarvan de bovenste 0.5 à 1.0 m grond is afgegraven toen de wijk werd gebouwd. Daarna zijn de lagere delen opgehoogd met zand. De laag ophoogzand heeft een dikte van 1.0 tot 1.7 m en de onderkant van de laag ligt globaal op NAP - 5.0 m. Daaronder bevindt zich klei afgewisseld met lagen veen.

In de wijk staan 103 eengezinswoningen en 321 flatwoningen, aan de rand van de wijk staat een groot kantoorgebouw. Het groen in de wijk bestaat uit enkele plantsoentjes langs de weg, de tuinen bij de woningen en een parkje met een vijver aan de rand van de wijk. Verder is het oppervlak in de wijk grotendeels verhard, de verharding bestaat uit klinkers en asfalt, de daken zijn voor het merendeel plat, een klein gedeelte is hellend.

##### 3.2.2 Afwatering in het gebied

De waterafvoer vanuit het Julianapark vindt plaats via een gescheiden stelsel. Het vuilwaterstelsel voert via een gemaal af naar de zuiveringsinrichting RI Oost. Het regenwaterstelsel verzamelt het regenwater uit de woonwijk en daarnaast van een deel van het station en van een aantal naastliggende verkeerswegen. Bovendien is een deel van de woonwijk voorzien van een drainagestelsel

## Julianapark

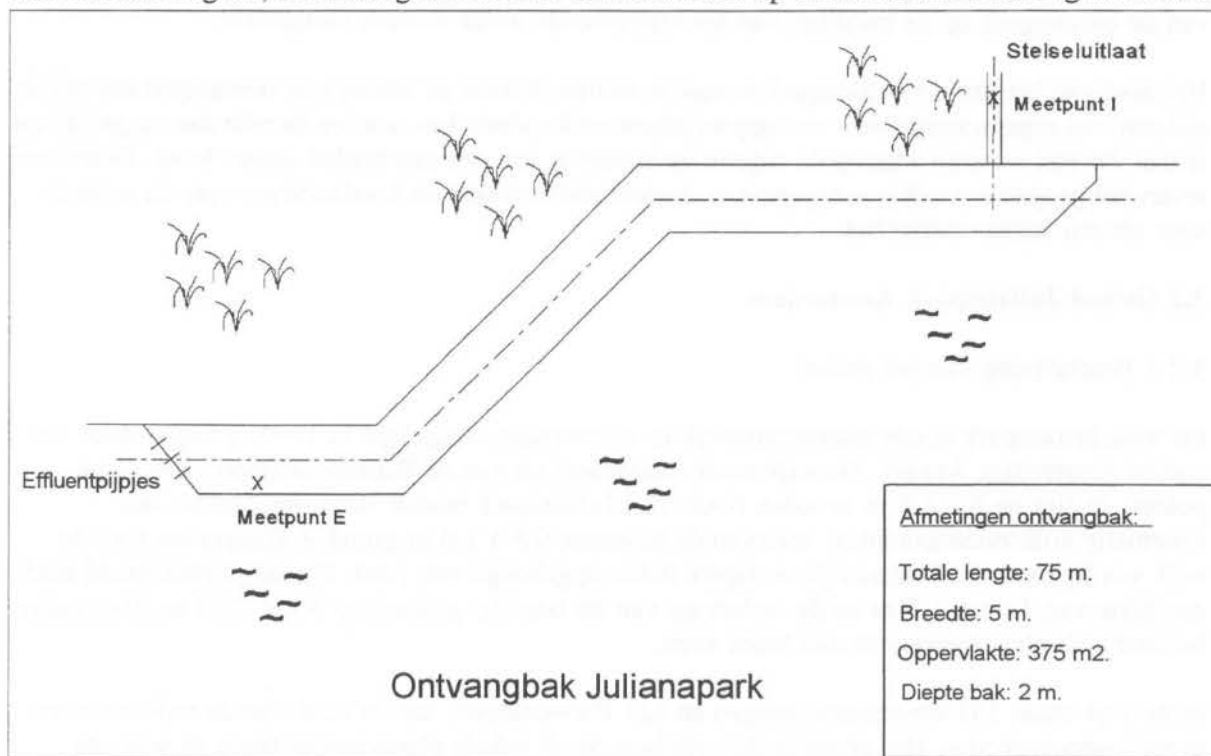
dat op het regenwaterstelsel loost en van een aantal oudere buizen van het regenwaterstelsel, met name onder de verkeerswegen, mag worden verwacht dat ze lekken, waardoor ze eveneens als drainageleidingen fungeren.

De toestroming van kwelwater naar de wijk Julianapark bedraagt ongeveer 1.7 mm/dag, als gevolg van een geschat potentiaalverschil van 3.4 m tussen het spanningswater en het freatisch grondwater, bij een hydraulische weerstand van de afsluitende holocene laag van 2000 dagen. Het kwelwater is naar verwachting matig ijzerhoudend en bezit een hoog chloridegehalte ( $> 1000$  mg/l).

Daarnaast is er een grondwaterstroom vanuit het terrein ten noordwesten van het onderzoeksgebied het Julianapark in.

Het regenwaterstelsel mondt uit in de waterpartij aan de rand van de wijk. In deze waterpartij is met damwanden een ontvangbak geconstrueerd. Het water uit het regenwaterstelsel doorstroomt deze bak alvorens uit te stromen in het oppervlaktewater van de waterpartij. De bak heeft een geknikte vorm, is 75 m lang, 5 m breed en 2 m diep (figuur 3.1).

De laatste rioolbuis, de uitlaat van het stelsel, heeft een diameter van 1 m en mondt onder water uit in de ontvangbak, de richting van de buis staat loodrecht op de hoofdstroomrichting in de bak.



Figuur 3.1 Plattegrond ontvangbak

### 3.3 Meetprogramma ontvangbak Julianapark

De metingen die in het Julianapark worden uitgevoerd zijn in een aantal groepen onder te verdelen. De eerste groep bestaat uit de kwantitatieve metingen. Deze betreffen een aantal fysische gegevens, die continu worden geregistreerd. De tweede groep gegevens bestaat uit de resultaten van de analyses op de watermonsters. Als derde groep zijn er de metingen aan het slib. Tenslotte



is er een groep metingen die aanvullende informatie geeft over factoren die de waterkwaliteit beïnvloeden.

### 3.3.1 Kwantiteitsmetingen

De kwantiteitsmetingen dienen om een waterbalans op te kunnen stellen voor de waterafvoer in het gebied en om de vertraging in de afstroming te kunnen vaststellen. Een datalogger registreert de kwantiteitsgegevens elke minuut, gedurende droge en natte perioden.

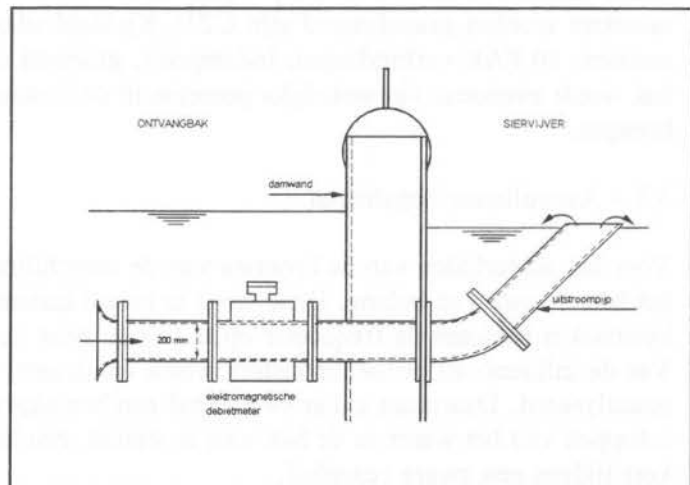
De neerslag wordt gemeten door een meter met een kantelbakje die op het dak van de meetcontainer staat, aan de rand van de ontvangbak. Er is een tweede regenmeter die de regen opvangt in een trechter waarin de waterstand wordt gemeten. Deze meter staat op de rand van de ontvangbak, waar deze grenst aan het oppervlaktewater.

De debieten worden gemeten in de uitlaat van het regenwaterstelsel, het influentdebiet van de ontvangbak, en aan de uitstroomzijde van de bak, het effluentdebiet.

De influentdebietmeter bevindt zich in een rioolbuis met een diameter van 1 m, waarin de snelheden steeds laag zijn, en deze meter registreert dan ook alleen grote debieten, die optreden bij hevige regenbuien. De werking van deze meter heeft tijdens het project voortdurend problemen opgeleverd en de influentdebietgegevens zijn tot op heden niet geschikt voor verwerking.

De effluentdebietmeter zorgt voor de registratie van de kleinere debieten. De uitstroomzijde van de bak bestaat uit een overstortrand waar het water alleen bij hevige regenbuien overheen stroomt. Bij lage debieten stroomt het water door drie effluentpijpjes, elk met een diameter van 0.2 m, die in de wand van de bak zijn aangebracht. In één van deze pijpjes bevindt zich de effluentdebietmeter (figuur 3.2).

Ten slotte wordt het waterniveau gemeten ten opzichte van NAP. Dit gebeurt aan de instroom- en aan de uitstroomzijde van de bak en in het oppervlaktewater.



Figuur 3.2 Effluentpijpje met debietmeter

### 3.3.2 Watermonsters

De analyses van de waterkwaliteit dienen om een beeld te krijgen van het verloop van een aantal basis-parameters, zoals CZV en nutriënten, in het water dat de bak in- en uitstroomt tijdens een regenbui. Aan de hand van deze gegevens kunnen de vuilvrachten van een regenbui worden berekend. Daarnaast wordt van een groter aantal parameters de in- en uitgaande concentratie gemeten aan het begin en aan het einde van de bui om het effect van de bui op de concentraties en van de aanwezigheid van de bak op de concentraties te kunnen vaststellen.

### *Julianapark*

De watermonsters worden genomen in de uitlaat van het regenwaterstelsel, in het meetpunt I en bij de uitstroomzijde van de bak, in het meetpunt E (zie figuur 3.1). Daarnaast worden er oppervlaktewatermonsters genomen in de aangrenzende waterpartij.

Er worden volumeproportionele steekmonsters genomen, volgens het zogenaamde doorstroom-principe, dat het verkrijgen van representatieve monsters in deze situatie verzekert.

De bemonsteringscyclus is zo gedefinieerd dat de eerste monsters worden genomen bij aanvang van de regenbui, vervolgens bij elke 150 m<sup>3</sup> water die de bak doorstroomt, de laatste monsters tenslotte, wanneer er 30 minuten lang geen neerslag is gevallen en het effluentdebiet beneden 15 m<sup>3</sup>/u komt.

Op de monsters aan het begin en het einde van de bui wordt een uitgebreid pakket van analyses uitgevoerd, op de tussenmonsters slechts een beperkt pakket. Voor het bestuderen van het verloop van de waterkwaliteit van het afgevoerde water tijdens een bui, staan alleen deze gegevens ter beschikking, te weten chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof, ammonium, totaal-fosfaat en bezinkselvolume.

Op de monsters van het begin en het einde van de bui worden bovendien de volgende analyses uitgevoerd: droogrest, minerale olie, 8 zware metalen, 10 PAK-verbindingen en E-coli.

#### 3.3.3 Metingen aan het slib

De slibvolumina en -vrachten geven informatie over de stoffen die in de bak achterblijven.

Slibmonsters worden vierwekelijks genomen in 5 raaien in de bak. De parameters waarop deze monsters worden geanalyseerd zijn CZV, Kjeldahl-stikstof, totaal-fosfaat, minerale olie, 8 zware metalen, 10 PAK-verbindingen, indamprest, gloeirest en zandrest. De dikte van de sliblaag in de bak wordt eveneens vierwekelijks gemeten in de 5 raaien, om de slibaccumulatie in beeld te brengen.

#### 3.3.4 Aanvullende bepalingen

Voor het achterhalen van de bronnen van de verschillende soorten vervuiling is de kwaliteit van het hemelwater van belang. Deze werd in eerste instantie elk kwartaal bepaald, maar in het tweede kwartaal is besloten de frequentie op te voeren naar 1x per maand.

Van de influent- en effluentmonsters wordt incidenteel de opgeloste en onopgeloste fractie geanalyseerd. Daarnaast zal er twee maal een bezinkproef worden uitgevoerd om de bezinkeigenschappen van het water in de bak vast te stellen, één keer gedurende een droge periode en één keer tijdens een zware regenbui.

In aanvulling op de metingen in en bij de ontvangbak worden een aantal keren monsters genomen in een drietal peilbuizen in de wijk Julianapark, die een indruk geven van de kwaliteit van het grondwater in het gebied. De kwaliteit van het drainagewater is grotendeels hiervan afhankelijk. Gedurende de periode van het meetprogramma worden oppervlaktewatermonsters genomen op een zestal lokaties in de directe omgeving van het Julianapark. De frequentie van deze bemonstering is zes maal per jaar.



## 4. METHODIEK VAN MODELLEREN

Een model is een vereenvoudigde weergave van een werkelijk object, proces, concept of systeem. De bedoeling van een model is inzicht te verschaffen in ingewikkelde processen door de relaties die deze processen bepalen zo eenvoudig en direct mogelijk te beschrijven. Zo'n beschrijving moet zo weinig elementen bevatten dat zij het inzicht vergemakkelijkt, maar voldoende om de werkelijkheid op een betrouwbare manier te benaderen.

### 4.1 Opzet van modellen

Modellen kunnen volgens een aantal verschillende principes worden opgezet, zo bestaan er onder andere mathematische, grafische en conceptuele modellen. De relaties binnen het regenwaterafvoerproces in het Julianapark zullen voorzover mogelijk worden vastgelegd in een mathematisch model.

Een mathematisch model is een mathematische vergelijking of set van vergelijkingen die een beredeneerd begrip van een systeem of een proces vertaalt in kwantitatieve termen. Mathematische modellen zijn in te delen in een aantal categorieën, volgens verschillende criteria.

De eerste verdeling is die in empirische en theoretische modellen. Een empirisch model komt voort uit een analyse van gegevens waarvan het model de waargenomen relaties zo goed mogelijk moet beschrijven, los van de theoretische achtergrond. Een theoretisch model bestaat uit wiskundige beschrijvingen op grond van theoretische principes.

Een tweede verdeling volgt uit het doel van het model. Simulatiemodellen aan de ene kant beschrijven het functioneren van een systeem, optimalisatiemodellen aan de andere kant hebben de bedoeling te bepalen welke oplossing vanuit een zeker gezichtspunt de beste is.

Kijkend naar het tijdsaspect zijn modellen onder te verdelen in statische en dynamische. Statische modellen beschrijven een gedrag dat constant is in de tijd, dynamische modellen beschrijven een gedrag dat varieert in de tijd, dus tijdsafhankelijk is.

Een dergelijke benadering voor het plaatsaspect leidt tot een onderverdeling in samengenomen en verspreide parameter modellen. De eerste zijn 0-dimensionaal naar plaats en gaan uit van uniforme condities in het hele systeem. De tweede beschrijven een systeem met condities die variëren in 1 of meer dimensies naar plaats.

Tenslotte bestaat er een onderverdeling in deterministische en probabilistische modellen.

Deterministische modellen maken gebruik van verwachtingswaarden voor alle parameters en variabelen en leveren voorspellingen op die ook verwachtingswaarden zijn. Stochastische modellen brengen variabiliteit en mogelijke afwijking in rekening in kansdichtheidsfuncties voor geselecteerde variabelen of parameters. Dit resulteert in een kansdichtheidsfunctie voor de voorspelling.

### 4.2 Stappen in het modelleren van het regenwaterafvoerproces

Het ontwikkelen van een mathematisch model verloopt volgens een aantal fasen. De eerste fase is het bepalen van het doel waarvoor het model wordt opgesteld en het vaststellen van de criteria volgens welke aan het doel moet worden voldaan.

Het doel van het model in dit onderzoek, een model voor regenwaterafvoer in een stedelijk gebied, is het effect vast te stellen van een regenbui op de kwaliteit van het water dat uit het regenwaterstelsel stroomt en de factoren te identificeren die deze kwaliteit beïnvloeden, evenals de mate van invloed die ze uitoefenen. Het regenwaterafvoersysteem in het Julianapark is bovendien voorzien van een ontvangbak en het doel van het model wordt dan ook uitgebreid met het vaststellen van het effect van de ontvangbak op de kwaliteit van het afstromende water.

De criteria die worden gebruikt om het effect vast te stellen zijn in de eerste plaats de chloride-concentratie, de stikstof- en fosfaatgehalten en de CZV-concentratie en in de tweede plaats de

droogrest, het gehalte aan minerale olie, de concentraties van zware metalen en de som van tien PAK-verbindingen. De betrouwbaarheid van het model zal worden beoordeeld aan de hand van de betrouwbaarheid waarmee de kwantitatieve processen in het systeem kunnen worden beschreven. Bovendien is uiteraard de betrouwbaarheid van de meetgegevens, die de basis vormen voor het model, van groot belang en de dichtheid van de gegevens, dat wil zeggen de mate waarin de frequentie waarmee de gegevens zijn bepaald representatief is voor de veranderingen die optreden in het systeem.

De tweede fase is het ontwikkelen van een conceptueel model van het systeem en van de relevante kenmerken van het systeem. In deze fase worden de grenzen van het systeem gedefinieerd en de eigenschappen van het systeem beschreven, voorzover ze voor het model relevant zijn. In het model voor de regenwaterafvoer zijn dat in de eerste plaats de karakteristieken van het gebied: de verschillende typen oppervlakken, hun afmeting en kenmerken, de kwel- en drainagestroom, de kenmerken van het regenwaterstelsel. In de tweede plaats zijn voor dit model de vuilparameters van belang, de bronnen vanuit welke de vervuilende stoffen in het systeem komen, de manier waarop ze zich gedragen en verspreiden. Dit laatste vereist een goede beschrijving van de transportmechanismen in het systeem, voor het water en voor de vervuilende stoffen. Tenslotte is natuurlijk de invloed van de stoffen op de waterkwaliteit belangrijk.

De volgende fase is het construeren van een mathematisch model uitgaande van het conceptuele model. Hierin worden de relaties tussen de controlevariabelen, dit zijn de variabelen die invloed uitoefenen, en de beslissingsvariabelen, dat zijn de variabelen die worden beïnvloed, in wiskundige termen uitgedrukt. In het model voor de regenwaterafvoer zijn de controlevariabelen de verschillende kenmerken van een regenbui, zoals buivolume, buiduur en neerslagintensiteit; de beslissingsvariabelen zijn de vuilparameters die de waterkwaliteit karakteriseren.

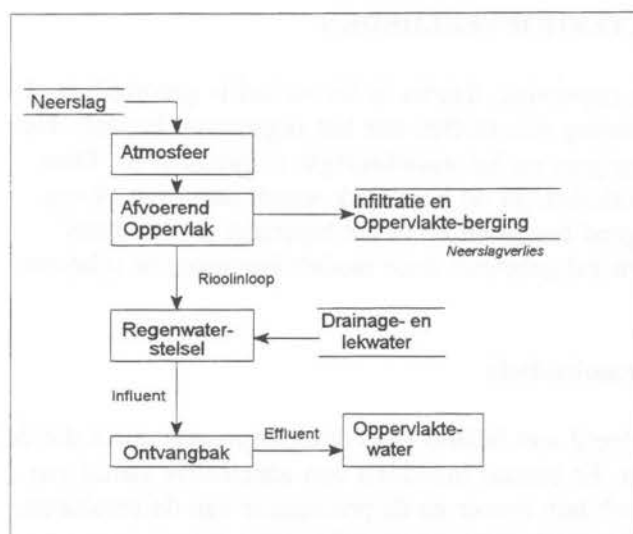
Hierna volgt een calibratie-fase, waarin de waarden van de parameters zo goed mogelijk worden geschat aan de hand van een vooraf bepaald optimalisatie-criterium. De onnauwkeurigheid in de schattingen moet worden aangegeven.

De laatste fase is het bevestigen van het model. Het model wordt onderworpen aan een nieuwe situatie, verschillend van degene die werd gebruikt voor de calibratie, en de bevestiging van het model volgt uit de mate waarin het model deze situatie correct beschrijft.

#### **4.3 Conceptueel model van het systeem voor regenwaterafvoer**

Het systeem valt uiteen in drie subsystemen voor wat betreft de verdeling van de waterstromen en dus ook voor de stoffen die met het water worden meegevoerd (figuur 4.1).

Het eerste subsysteem wordt gevormd door de atmosfeer, waaruit de neerslag valt, samen met het oppervlak waarop de neerslag terecht komt en waarover deze afstroomt. De invoer van dit systeem is het neerslagverloop, de uitvoer is de rioolloop, i.e. het water dat na afstroming over het oppervlak in het regenwaterstelsel terecht komt. De beïnvloedende factoren in dit subsysteem zijn de verschillende typen oppervlak en de grootte van deze oppervlakken, de beschikbare berging op het oppervlak, de infiltratie in het oppervlak, de voorafgaande periode zonder neerslag en de door een regendruppel af te leggen weg over het oppervlak vanaf waar hij neer komt tot waar hij het riool in stroomt. Deze factoren komen tot uitdrukking in een aantal invoerparameters: de neerslag-curve, de oppervlakteberging, de infiltratiecapaciteit voor doorlatende oppervlakken, een verliescoëfficiënt voor ondoorlatende oppervlakken en de afstromings- of vertragingcoëfficiënt. De factoren die van invloed zijn op de kwalitatieve processen in dit subsysteem, zijn de kwaliteit



Figuur 4.1 Schema van het systeem voor regenwaterafvoer

van het hemelwater, de vuilophoping op het oppervlak en de afspoeling van vuil vanaf het oppervlak.

Het volgende subsysteem is het regenwaterstelsel. De invoer van dit subsysteem is de rioolinloop vermeerderd met het drainage-debiet, de uitvoer is het uitstroomdebiet van het stelsel, voor het Julianapark komt dit overeen met het influentdebiet van de ontvangbak. De rioolinloop volgt uit de uitvoer van het eerste subsysteem. Het drainage-debiet is te schatten aan de hand van het gemeten debiet in de bak bij droog weer. Dit debiet is niet voor elke droogweeperiode precies gelijk en blijft ook niet constant gedurende de bui. Het drainage-debiet tijdens de bui kan daarom slechts worden geschat.

De beïnvloedende factoren in dit subsysteem

zijn de afmetingen van de leidingen in het stelsel en de stromingscondities in de leidingen. Er bestaan verschillende rioolmodellen die deze elementen in een niet-stationaire simulatieberekening verwerken. Deze modellen berekenen debieten, snelheden en waterstanden in de leidingen en putten van het rioolstelsel. Met een dergelijk model kan een regenbui in het Julianapark worden gesimuleerd, waarbij onder andere het verloop van het debiet bij de uitlaat van het stelsel wordt berekend. De meevoering van vervuilende stoffen met het afstromende regenwater volgt uit het eerste subsysteem. De aanvoer van vervuilende stoffen met het drainagewater kan gedurende een droge periode worden vastgesteld. Deze aanvoer is, evenmin als het drainage-debiet zelf, constant tijdens een bui. Er is een bijdrage aan vervuilende stoffen vanuit het stelsel zelf die voortkomt uit opwoeling van vuil dat zich in de leidingen en putten in het stelsel heeft opgehoopt.

Het laatste subsysteem is de ontvangbak. De invoer is het influentdebiet, ofwel het debiet dat uit het regenwaterstelsel stroomt, de uitvoer is het effluentdebiet dat door de effluentpijpjes, en bij hevige regenbuien over de overstortrand stroomt. De effluentdebietmeter meet de debieten in het lage bereik, de influentdebietmeter die in het hoge bereik, wanneer het water over de overstortrand stroomt. Het debiet aan de zijde van de ontvangbak waar niet gemeten wordt (waar het debiet buiten het bereik van de betreffende meter valt), volgt uit de waterbalans voor de ontvangbak, waarin verder de neerslag en de variatie in de waterstand in de bak zijn opgenomen. De vuilaanvoer naar de bak bestaat uit de stoffen die in het influentwater voorkomen. De stoffen in het effluentwater van de bak vormen de vuilafvoer. Het verschil tussen de vuilaanvoer en de vuilafvoer bepaalt de werking van de bak. Deze werking hangt af van de processen die zich in de bak voordoen.

Het voorafgaande heeft, voor de beschrijving van het systeem in kwantitatieve termen, met name betrekking op de waterstromen. Over de processen die de stoffen die met het afgevoerde water mee stromen ondergaan, is echter veel minder bekend en de beschrijving hiervan gaat noodzakelijkerwijs met een veel grotere onzekerheid gepaard. Dit betekent dat de mate van detail waarin de relaties tussen de invoer- en de uitvoerparameters voor de waterkwaliteit worden beschreven veel kleiner is. De bestaande kennis en de informatie die de resultaten van het project Julianapark hieraan toevoegen, zijn waarschijnlijk slechts voldoende om de relaties in kwalitatieve termen te beschrijven.

## 5. BEREKENING VAN AFGEVOERDE WATERHOEVEELHEDEN

Het afvoerproces van regenwater, eerst over het oppervlak, daarna in het stelsel is gecompliceerd. Nog gecompliceerder is het proces dat de meevoering van stoffen met het regenwater bepaalt. Het proces van waterafvoer is het eenvoudigst te begrijpen en het nauwkeurigst te beschrijven. Deze nauwkeurige beschrijving vindt plaats in rioolmodellen. In dit hoofdstuk wordt nagegaan of een rioolmodel het afvoerproces in het Julianapark goed beschrijft en of het bijdraagt tot een beter begrip van het totale regenwaterafvoerproces. Dit zal gebeuren door modeluitkomsten te relateren aan de resultaten van het meetproject.

### 5.1 Modellen voor simulatie van stroming in rioolstelsels

De stroming in rioolstelsels kan worden gesimuleerd met behulp van computerprogramma's die de niet-stationaire stroming in de stelsels berekenen. Er bestaat inmiddels een aanzienlijk aantal van deze modellen die alle verschillen voor wat betreft hun invoer en de presentatie van de resultaten. Ze zijn echter wel allemaal gebaseerd op dezelfde hydraulische vergelijkingen.

De gemeente Amsterdam voert stromingsberekeningen uit met het pakket EXTRAN, zoals het is ontwikkeld door Grontmij. Met dit pakket zijn enkele simulatieberekeningen uitgevoerd voor het stelsel Julianapark. De stroming in het stelsel is daarnaast uitgebreid gesimuleerd met het pakket Hydroworks.

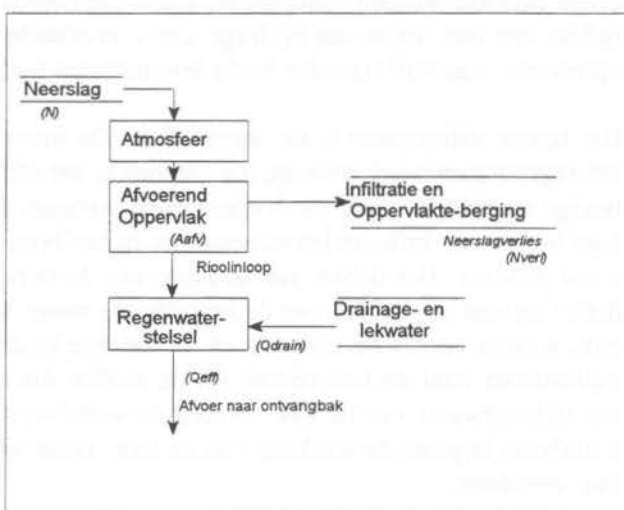
Bijlage II bevat een beschrijving van de manier waarop deze modellen de hydraulische berekening en uitvoeren. In bijlage III staat beschreven hoe de hydrologische aspecten, de omvorming van neerslag naar rioolinloop, door de modellen in rekening worden gebracht.

### 5.2 Berekeningen uit de kwantiteitsmetingen voor het Julianapark

De gegevens die voor de berekening van de afgevoerde waterhoeveelheden in het Julianapark van belang zijn, zijn de neerslag, de debieten die via de stelseluitlaat uitstromen, het waterpeil in het uitstroompunt, het drainagedebiet en het afvoerend oppervlak. Door voor de afvoerperiode van een bui het beginpunt te kiezen bij aanvang van de bui, als het debiet gelijk is aan het droogweerdebiet, en het eindpunt te kiezen als het debiet opnieuw dit evenwichtsdebiet bereikt, kan de berging in het stelsel in de berekening buiten beschouwing blijven.

Uit de debietmetingen gedurende droge periodes kan het drainagedebiet in deze periodes worden bepaald. Het drainagedebiet tijdens een regenbui wordt het best benaderd door het droogweerdebiet bij aanvang van de bui. Dit debiet varieert tussen 12 en 20

m<sup>3</sup>/u. Het is waarschijnlijk dat het drainagedebiet tijdens de bui enigszins daalt, doordat het drukpeil in de leidingen stijgt. Op veel plaatsen liggen de leidingen echter zodanig diep, dat het drukpeil het grondwaterpeil noch de stijghoogte van het diepe spanningswater bereikt. Dit betekent dat er drainagewater naar het stelsel blijft stromen tijdens een bui. In de berekening is uitgegaan



Figuur 5.1 Schema in- en uitgaande regenwaterstelsel



van een constant drainagedebiet tijdens de bui, dat gelijk is aan het droogweer-debiet bij aanvang van de bui.

### 5.2.1 Neerslagverlies

Het neerslagverlies vloeit voort uit het verschil tussen het buivolume en het volume dat via de stelseluitlaat uitstroomt. Het buivolume is het produkt van de neerslaghoogte van een bui en het afvoerend oppervlak. Het uitstromend volume van een bui is het verschil tussen het totale afgevoerde volume en het geschatte drainagevolume tijdens een bui. Omdat het drainagedebiet tijdens de bui geschat moet worden is het neerslagverlies ook een geschatte hoeveelheid. Het uitstromend en het buivolume volgen uit de volgende vergelijkingen:

$$V_{ef} = \int_{t_a}^{t_e} Q_{ef} dt - Q_{drain} \cdot (t_e - t_a)$$

$$V_{bui} = N_{tot} \cdot A_{afv} \cdot 10$$

$$N_{verl} = \frac{V_{bui} - V_{ef}}{A_{afv} \cdot 10}$$

|         |             |                                                |
|---------|-------------|------------------------------------------------|
| Waarin: | $V_{ef}$    | : Uitstromend volume [m <sup>3</sup> ]         |
|         | $V_{bui}$   | : Buivolume [m <sup>3</sup> ]                  |
|         | $N_{verl}$  | : Neerslagverlies [mm]                         |
|         | $Q_{ef}$    | : Uitstromend debiet [m <sup>3</sup> /min]     |
|         | $Q_{drain}$ | : Drainagedebiet [m <sup>3</sup> /min]         |
|         | $t_a$       | : tijdstip aanvang bui [min]                   |
|         | $t_e$       | : tijdstip einde bui [min]                     |
|         | $N_{tot}$   | : Totale hoeveelheid neerslag van een bui [mm] |
|         | $A_{afv}$   | : Totale afvoerend oppervlak [ha]              |

Het berekende neerslagverlies van een bui varieert tussen 0,2 en 4,9 mm en bedraagt 20 tot 60 % van de gevallen neerslag per bui. Neerslagverliezen van rond 1 mm en lager komen alleen voor bij kleine buien, met neerslaghoeveelheden tot 3 mm. Neerslagverliezen van meer dan 4 mm doen zich alleen voor bij buien met een neerslaghoeveelheid van meer dan 8 mm. Verliespercentages van 50% of hoger treden voornamelijk op bij kleine buien.

### 5.2.2 Vertragingstijd

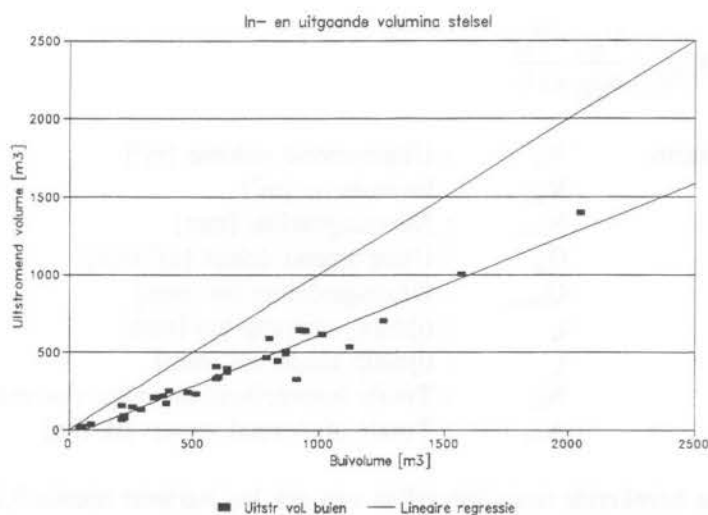
Het verloop van de neerslagintensiteiten tijdens de bui en dat van de gemeten debieten bij de uitlaat van het stelsel geven een beeld van de vertragingstijd van het uitstroomdebiet ten opzichte van de gevallen neerslag. Deze vertragingstijd is de som van de vertraging bij de afstroming over het oppervlak (subsysteem 1, zie hoofdstuk 4) en bij de afstroming in het stelsel (subsysteem 2). In de eerste plaats is er een vertraging in het aanvangstijdstip van neerslag- en afvoercurve. Het verschil tussen het moment waarop een regenbui begint en het moment waarop een debietsverhoging optreedt in de uitlaat van het stelsel bedraagt voor het stelsel Julianapark slechts enkele minuten. In de tweede plaats doet zich, los van de aanvangsvertraging, een vertraging voor in de afvoerpiek ten opzichte van de piek in het verloop van de neerslagintensiteit voor een bui. Deze vertraging is voor alle buien die in het Julianapark gevallen zijn in de periode van december 1994

tot april 1995 min of meer gelijk en bedraagt gemiddeld 30 minuten. De tijd die verloopt tussen de laatst gevallen neerslag en het moment waarop het uitstroomdebiet weer het evenwichtsdebiet bereikt bedraagt 3 tot 5 uur.

### 5.2.3 Beschouwing in- en uitgaande volumina regenwaterstelsel

Een goede methode om een inzicht te krijgen in de binnenkomende en uitstromende volumina van een reeks regenbuien, is ze tegen elkaar uit te zetten in een XY-diagram. Integratie van de gemeten debieten levert het totale uitgestroomde volume. Het verschil tussen dit volume en de drainagestroom, die constant wordt verondersteld tijdens een bui, geeft het uitstromende volume ten gevolge van de bui. Dit volume wordt uitgezet tegen het buivolume, i.e. de totale neerslaghoeveelheid vermenigvuldigd met het afvoerend oppervlak.

Als er in dit diagram punten boven de 45°-lijn vallen, zou dit betekenen dat er meer water is binnengekomen dan er is uitgestroomd. Dit is dus een controle op de juistheid van de meetresultaten; alle punten moeten beneden de 45°-lijn liggen. De punten in het diagram bezitten een onnauwkeurigheidsmarge die afhangt van de afwijkingen in de neerslag- en debietmeting, in de bepaling van het afvoerend oppervlak en in de schatting van de drainagestroom. Deze afwijkingen komen tot uitdrukking in de variantie van de metingen. In de hiervolgende lineaire regressie zijn de afwijkingen in de metingen buiten beschouwing gelaten en de regressie is uitgevoerd alsof de meetpunten exact zouden zijn. De methode van de lineaire regressie kan worden gebruikt om een rechte lijn te trekken door de puntenwolk in het diagram. De R-kwadraat die bij zo'n lineaire regressie wordt bepaald is een maat voor de hoeveelheid verklaarde variantie, dat wil zeggen de fractie van de variantie in de afhankelijke variabele, in dit geval het uitstromende volume, die door het model wordt verklaard. Hoe hoger deze fractie, hoe beter het lineaire model bij de werkelijkheid aansluit.



Figuur 5.2 Diagram in- en uitgaande volumina

| Resultaten lineaire regressie |                                         |
|-------------------------------|-----------------------------------------|
| Snijpunt x-as:                | $59 \text{ m}^3 \approx 0,6 \text{ mm}$ |
| Verliesfractie:               | 0,35                                    |
| R-kwadraat:                   | 0,95                                    |

Tabel 5.1

Het snijpunt van de rechte lijn met de X-as geeft het volume dat aan het begin van de bui niet tot afstroming komt. Dit is het initiële neerslagverlies, het gedeelte van de bui dat achterblijft in de oppervlakteberging samen met het gedeelte dat direct infiltreert. Het initiële neerslagverlies dat volgt uit de lineaire regressie is 0,6 mm.



Het verschil tussen de hoek die de regressielijn maakt met de X-as en een hoek van  $45^\circ$  geeft aan welk gedeelte van de bui niet tot afstroming komt in de loop van de bui. Dit is de fractie van de neerslag die tijdens de bui infiltreert of de oppervlakteberging verder opvult. Deze fractie bedraagt 0,35.

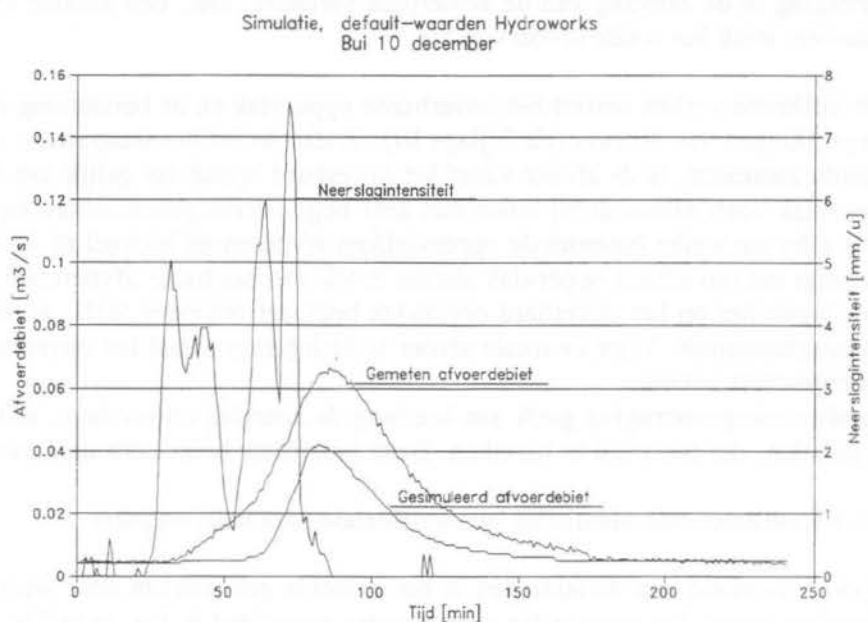
### 5.3 Modeluitkomsten en meetresultaten

Met het pakket Hydroworks is een groot aantal simulaties uitgevoerd van de afvoersituatie in het stelsel Julianapark. Bijlage III bevat de plattegrond van het stelsel zoals het is ingevoerd in het programma Hydroworks. In deze simulaties is zowel de afstroming over het oppervlak als de stroming in het stelsel inbegrepen. De invoer van een simulatie is het verloop van de neerslagintensiteit voor een bui en het regenwaterstelsel met al zijn kenmerken, waaronder het afvoerend oppervlak per knoop en het drainage-debiet. Het afvoerend oppervlak is onderverdeeld in vijf verschillende typen oppervlak met ieder hun specifieke kenmerken. De uitvoer van het programma Hydroworks bevat een uitgebreide serie gegevens voor een groot aantal parameters. De gegevens die interessant zijn voor een vergelijking met de meetresultaten van het project Julianapark zijn de debieten in de stelseluitlaat in de loop van en gedurende enkele uren na afloop van de bui.

#### 5.3.1 Gemeten debieten

In de debieten die in de ontvangbak zijn gemeten, is de drainagestroom inbegrepen. Voor een vergelijking van de gesimuleerde met de gemeten debieten, moet de drainagestroom in de simulatie zijn meegenomen. De gemeten debieten die beschikbaar zijn, zijn de effluentdebieten van de ontvangbak, voor de buien waarbij het water niet over de overstortrand is gegaan. Deze zijn niet exact gelijk aan de uitstroomdebieten van het stelsel, doordat er berging optreedt in de ontvangbak. De hoeveelheid berging die optreedt volgt uit de variatie van het waterpeil in de bak, dat aan de instroom- en aan de uitstroomzijde wordt gemeten door twee waterstandsmeters. Het influentdebiet volgt dan uit de waterbalans voor de ontvangbak. Het verloop van het influentdebiet blijkt niet veel af te

wijken van dat van het effluentdebiet, wanneer het uit de waterbalans wordt berekend. Het niveau dat de NAP-meters in de bak aangeven, verloopt in de loop van de tijd, waardoor met deze registratie een onnauwkeurigheid wordt geïntroduceerd in de waterbalans van enkele  $\text{m}^3$ . Gezien de mate van nauwkeurigheid waarmee de modellen de uitstroomdebieten kunnen simuleren, is het verschil tussen het verloop van het instroom- en het



Figuur 5.3 Resultaten van simulatie met default-waarden

uitstroomdebiet niet significant. De gesimuleerde debieten worden daarom rechtstreeks vergeleken met de gemeten effluentdebieten.

### 5.3.2. Instelbare parameters

Niet-stationaire rioolmodellen beschikken over default-waarden voor de verschillende parameters die het stromingsproces over het oppervlak en in de riolen beïnvloeden. De default-waarden van het programma Hydroworks zijn niet representatief voor de situatie in het Julianapark, dit blijkt uit de resultaten van simulaties met de default-waarden, zie figuur 5.3.

De instelbare parameters betreffen eigenschappen van het rioolstelsel en van het oppervlakte-afstromingsproces. Er zijn simulaties uitgevoerd met telkens variërende waarden voor een bepaalde parameter, om de invloed van de parameters op het proces in beeld te brengen. Het uiteindelijke doel van deze simulaties is voor elke parameter een waarde te vinden die de stromingssituatie in het Julianapark goed representeert.

Het belangrijkste stelselkenmerk dat invloed uitoefent op de stroming is de ruwheid van de leidingen, uitgedrukt als coëfficiënt van Whiteman-Colebrook of Manning-Strickler. Een ruwere leiding leidt tot een tragere afstroming met als gevolg dat de afvoerpiek breder en afge-knotter wordt.

Verder is de invloed van een aantal parameters van het oppervlakte-afstromingsproces bekeken: van de initiële berging, de voortgaande neerslagverliezen, het infiltratie-verlies en de factor voor de afstromingsvertraging (zie ook bijlage III).

De grootte van de oppervlakteberging heeft een grote invloed op het afstroomvolume. Een toename van de oppervlakteberging leidt tot een sterke afname van het afvoervolume en tot een lagere en smallere afvoerpiek, die met een grotere vertraging begint.

De voortgaande neerslagverliezen betreffen alle verharde oppervlakken. Ze worden opgegeven door middel van een factor voor de minimale en de maximale afstroming, die ligt tussen 0,0 en 1,0. Naarmate de afstromingsfactor afneemt, wordt de afvoerpiek kleiner en smaller, maar de vertraging in de aanvang van de afvoerpiek verandert niet. Een afname van de afstromingsfactor reduceert sterk het totale afvoervolume.

Het infiltratie-verlies betreft het onverharde oppervlak en de berekening ervan is gebaseerd op de vergelijkingen van Horton (zie bijlage III). Zodra de infiltratiecapaciteit een enigszins belangrijke waarde aanneemt, is de afvoer vanaf het onverhard oppervlak gelijk aan nul. Het onverhard oppervlak voert alleen af bij buien met zeer hoge neerslagintensiteiten en ook dan is erg moeilijk in te schatten welke onverharde oppervlakken afvoeren en hoeveel ze afvoeren. In het Julianapark bedraagt het onverhard oppervlak slechts 5,4% van het totale afvoerende oppervlak. Het neerslagverlies op het onverhard oppervlak bedraagt ongeveer 90%, afhankelijk van buiduur en neerslagintensiteit. Voor de totale afvoer is de bijdrage vanaf het onverharde oppervlak van ondergeschikt belang.

De afstromingsvertraging geeft aan hoe lang de neerslag erover doet, nadat deze op het oppervlak is gevallen, om het riool te bereiken. Deze parameter beïnvloedt de vertraging in de afvoerpiek.

### 5.3.3 Resultaten van simulaties met variërende parameterwaarden

Voor de ruwheid van de leidingen in het stelsel is gekozen om deze weer te geven met de Manning-factor. De waarde die moet worden ingevoerd is  $1/n$ , in  $m^{1/3}/s$ . Deze waarde varieert van  $20 m^{1/3}/s$  voor begroeide slootkanten tot  $80 m^{1/3}/s$  voor gladde betonnen buizen. In het stelsel Julianapark liggen zowel betonnen als PVC-buizen, waarvan de leeftijd uiteenloopt van 5 tot 35

jaar. Voor de simulaties is evenwel voor alle buizen dezelfde ruwheid aangenomen. De waarde voor de Manning-factor die de gemiddelde ruwheid van het stelsel het best bleek weer te geven is:  $1/n = 45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Het effect van de Manning-factor is weergegeven in figuur 5.4.

Er zijn drie parameters die het afvoervolume van de bui beïnvloeden: de initiële berging, de voortgaande verliezen en de infiltratieverliezen. Deze parameters beïnvloeden tegelijkertijd de vertraging in de aanvang van de afvoer en de vertraging in de afvoerpiek. Hierop oefent bovendien de afstromingsvertraging effect uit.

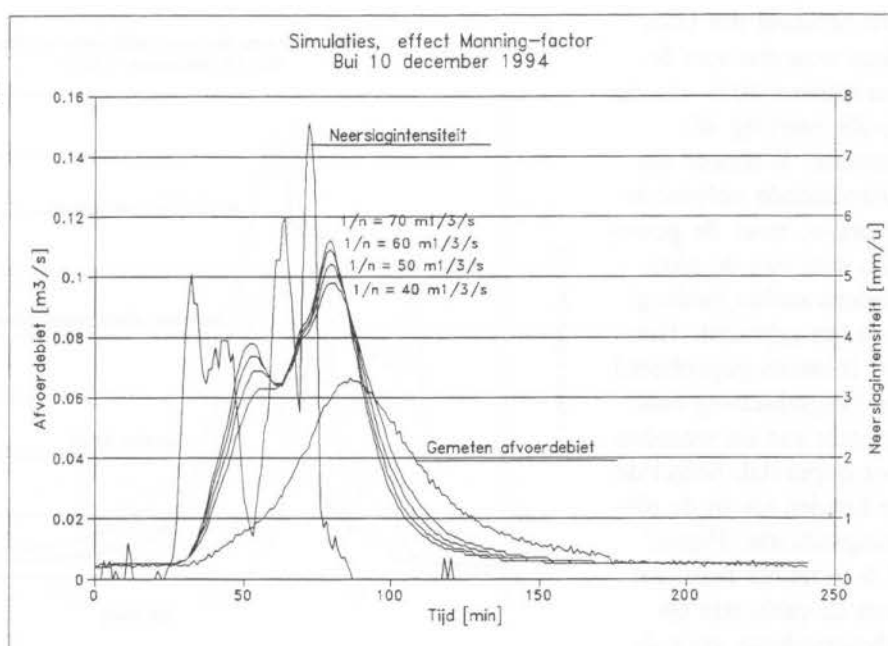
De initiële verliezen en de voortgaande verliezen bepalen in hoofdzaak het afvoervolume. De eerste stap in de calibratie van de buien is geweest het afvoervolume te doen overeenkomen met het gemeten afvoervolume. In eerste instantie is uitgegaan van schattingen voor de waarden van de parameters die zijn gebaseerd op gegevens voor praktijksituaties in Nederland. De gebruikte schattingen van de parameterwaarden voor de verschillende typen oppervlak staan vermeld in tabel 5.2.

| Type oppervlak   | Initieel verlies [mm] | Voortgaand verlies:<br>afstromingscoëfficiënt |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
| Open verhard     | 2,0                   | 0,60                                          |
| Gesloten verhard | 0,1                   | 0,95                                          |
| Plat dak         | 4,0                   | 0,70                                          |
| Onverhard        | 8,0                   | 0,10                                          |
| Schuin dak       | 0,4                   | 0,80                                          |

Tabel 5.2 Eerste schattingen parameterwaarden

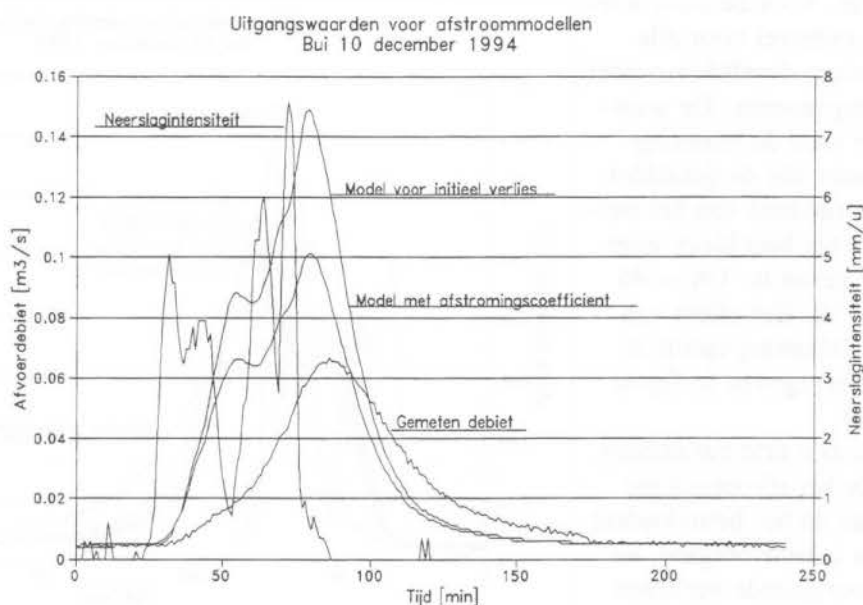
Deze waarden fungeren als startwaarden voor de calibratie. De uitkomst van de simulaties met deze waarden, voor de twee modellen afzonderlijk, is te zien in figuur 5.5. Beide modellen geven bij deze parameterwaarden een te groot afvoervolume. Bij het calibreren op afvoervolume is steeds uitgegaan van de gewogen som van de parameterwaarden. Het gewicht van een parameter is afhankelijk van de grootte van het bijbehorende oppervlak. Zo is de gewogen som van de afstromingscoëfficiënten in tabel 5.2:

$$0,4255 \cdot 0,60 + 0,2875 \cdot 0,95 + 0,2011 \cdot 0,70 + 0,0539 \cdot 0,10 + 0,0320 \cdot 0,80 = 0,70.$$



Figuur 5.4 Invloed van de Manning-factor

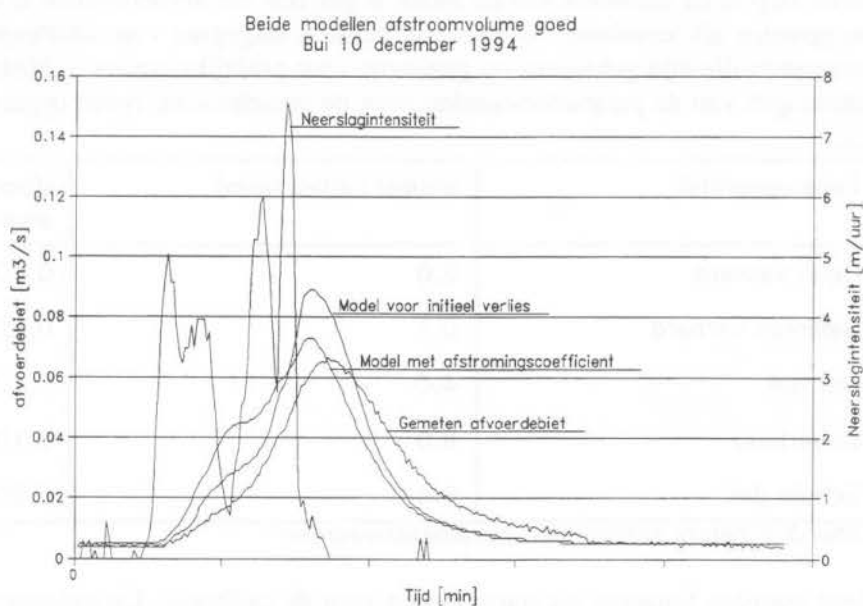
Dit betekent dat voor deze waarden van de parameters 70% van de totale neerslag afstroomt. Wanneer het afstromende volume te groot is, moet de gewogen som van de parameterwaarden omlaag worden gebracht. Hierbij is steeds geprobeerd de rangschikking naar grootte van de waarden per oppervlak hetzelfde te houden als in de uitgangssituatie. Figuur 5.6 toont het resultaat van de calibratie op afvoervolume voor de bui van 10 december.



Figuur 5.5 Simulatie met geschatte parameterwaarden

Uit de simulatie-resultaten voor de verschillende buien bleek dat voor kleine buien de calibratie het best uitvoerbaar is door alleen gebruik te maken van het initiële verlies-model. Een voorbeeld van zo'n bui is de bui van 10 december, met een neerslagvolume van 3,1 mm.

Voor grotere buien blijken de meest nauwkeurige calibratie-resultaten te kunnen worden verkregen door het model met de afstromingscoëfficiënt te gebruiken, dat de voortgaande verliezen in rekening brengt. Met dit model zijn de buien van 13 en 19 december, 27 en 29 januari en 1 februari gecalibreerd. De waarden die voor deze calibraties zijn gebruikt staan in tabel 5.3, de resultaten zijn weergegeven in de figuren 5.7



Figuur 5.6 Resultaten calibratie op afvoervolume

t/m 5.11. Wanneer het afvoervolume overeenstemt met het gemeten afvoervolume, kan de vorm van de afvoercurve nog enigszins worden aangepast door de parameter voor de afstromingsvertraging te variëren. Het effect van deze parameter is in beeld gebracht in figuur 5.12.

| Datum<br>bui | Buivolu-<br>me<br>[m <sup>3</sup> ] | Droog-<br>weer<br>afvoer<br>[m <sup>3</sup> /ha/s] | Gesl.<br>verh.<br>[%] | Schuin<br>dak<br>[%] | Onverh.<br>[%] | Plat<br>dak<br>[%] | Open<br>verh.<br>[%] | Som<br>[%] |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------------|------------|
| 13-12        | 1144                                | 2,903                                              | 75                    | 65                   | 10             | 55                 | 45                   | 62,25      |
| 19-12        | 895                                 | 2,823                                              | 70                    | 60                   | 10             | 50                 | 40                   | 49,66      |
| 27-01        | 1024                                | 4,839                                              | 75                    | 65                   | 10             | 65                 | 50                   | 58,53      |
| 29-01        | 894                                 | 4,839                                              | 80                    | 75                   | 10             | 65                 | 60                   | 64,54      |
| 01-02        | 2286                                | 3,790                                              | 80                    | 70                   | 10             | 65                 | 55                   | 62,25      |

Tabel 5.3 Waarden van de afstromingscoëfficiënten voor gecalibreerde buien

#### 5.3.4 Conclusies simulaties niet-stationair stromingsmodel

Het niet-stationaire stromingsmodel van het programma Hydroworks blijkt het afstromingsproces in het stelsel Julianapark goed te kunnen simuleren. De parameters die de kenmerken van het stelsel weergeven zijn voldoende nauwkeurig te bepalen of te schatten. Het blijft echter een probleem om optimale waarden te geven voor de parameters in het oppervlakte-afstromingsproces die voor elke bui goede simulatieresultaten opleveren.

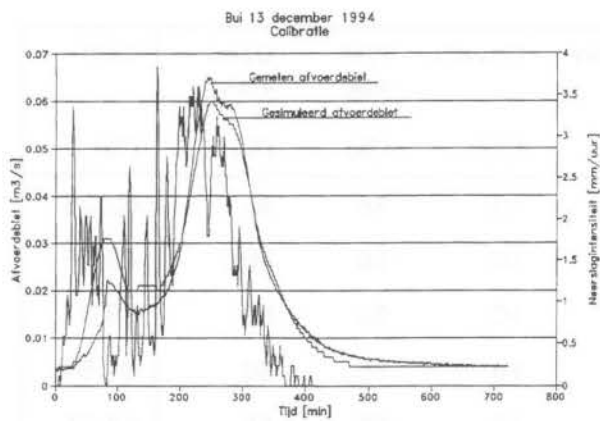
Deze parameters oefenen grote invloed uit op zowel het afstroomvolume als de vorm van de afvoerkromme. Het is niet mogelijk om hiervoor een set parameterwaarden te definiëren die voor alle buien voldoet. De manier waarop het programma Hydroworks de verschillende onderdelen van het oppervlakte-afstromingsproces in rekening brengt is ondoorzichtig. De rol die de invoerparameters binnen dit proces spelen, is zeer moeilijk te achterhalen.

Het neerslagverlies dat optreedt tijdens het oppervlakte-afstromingsproces blijkt voor kleine en grote buien op een verschillende manier te moeten worden gemodelleerd: voor kleine buien bepaalt het initiële verlies het neerslagverlies, voor grote buien zijn dit de voortgaande verliezen. Hiervoor is niet alleen het buivolume maatgevend, maar speelt de buiduur eveneens een belangrijke rol. Voor een bui met een groter buivolume, die bovendien langer duurt, worden de voortduurende neerslagverliezen tijdens de bui steeds belangrijker en valt het initiële verlies hierbij in het niet.

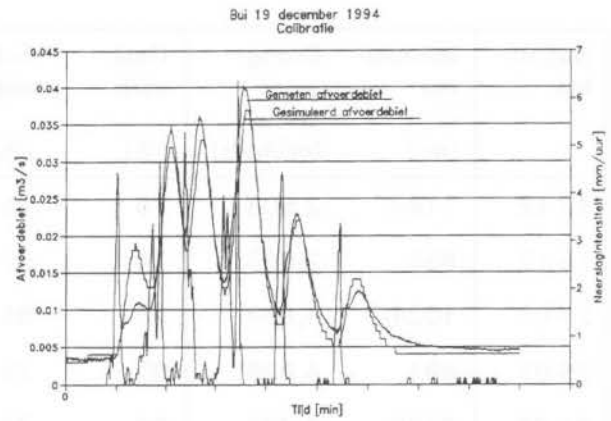
Wanneer een onderverdeling wordt gemaakt in kleine en grote buien, zijn de waarden die de parameters moeten aannemen binnen zekere marges aan te geven. Voor de simulatie van een nieuwe bui moet voor elke parameter een waarde binnen deze marges worden gekozen. Bij de keuze van de meest geschikte waarden voor de parameters kan gebruik worden gemaakt van de mate van overeenkomst van de te simuleren bui met één van de calibratie-buien.



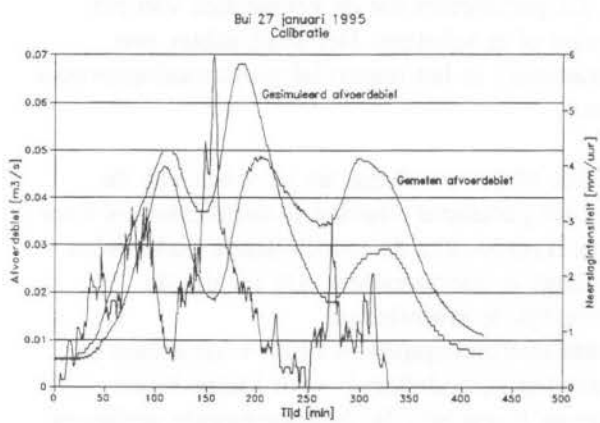
## Ondergrondse geheimen Julianapark



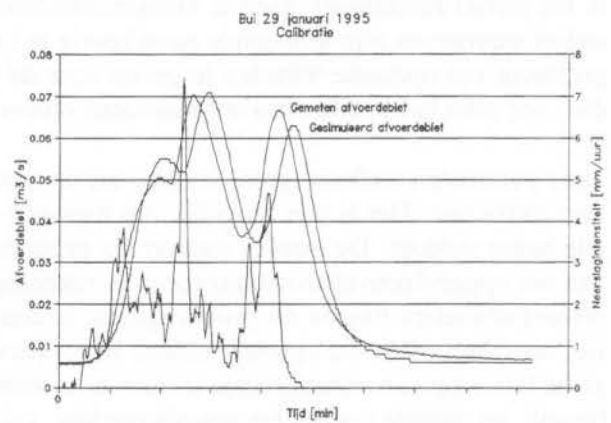
Figuur 5.7



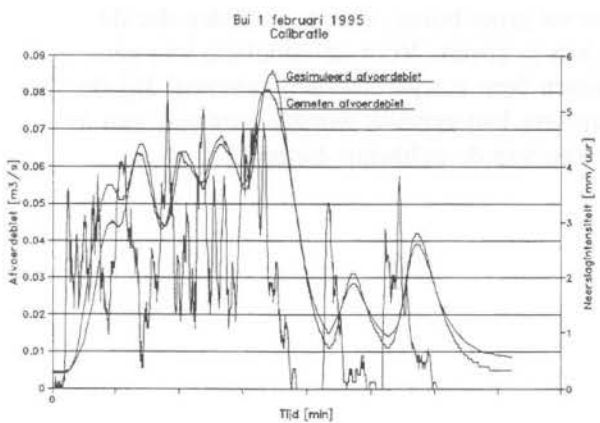
Figuur 5.8



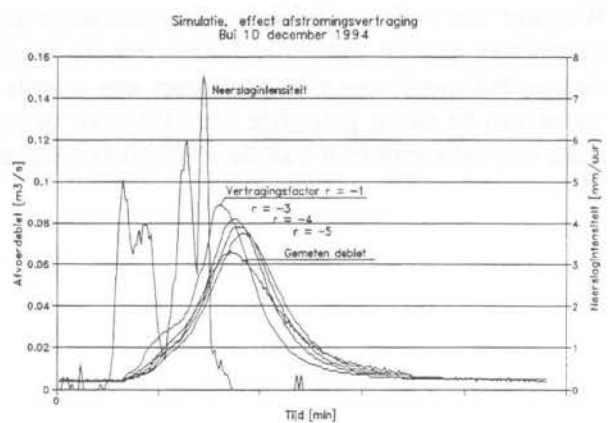
Figuur 5.9



Figuur 5.10



Figuur 5.11



Figuur 5.12 Invloed afstromingsvertraging



## 6. ANALYSE VAN DE WATERKWALITEITSMETINGEN

Nu de kwantitatieve gegevens van het regenwater afvoerproces voldoende nauwkeurig blijken te kunnen worden gesimuleerd door een model, is de volgende stap het bestuderen van de kwalitatieve aspecten van het afvoerproces. Hiervoor staat een uitgebreide serie concentratiemetingen ter beschikking die in het kader van het project Julianapark zijn uitgevoerd. Deze metingen moeten worden gekoppeld aan het bestand van de kwantiteitsgegevens, afkomstig van de datalogger, dat gegevens bevat per minuut, voor de volledige looptijd van het project. Hiertoe dienen uit de kwantiteitsgegevens eerst de gegevens van de afzonderlijke buien te worden geselecteerd. In de buibestanden kunnen de analysegegevens worden ingevuld op de plaatsen die corresponderen met de tijdstippen van monsternamen.

### 6.1 Methode van analyse

#### 6.1.1 Verschillende benaderingen voor analyse waterkwaliteitsgegevens

Er zijn verschillende benaderingen mogelijk om de waterkwaliteitsgegevens te bekijken. De eerste is het verloop van de concentraties in de tijd in beschouwing te nemen. De tweede is om de totaalgegevens voor een bui te bepalen, daarbij het verloop van de concentraties binnen de bui buiten beschouwing latend. De tweede benadering maakt het vergelijken van buien onderling gemakkelijk en overzichtelijk. Een derde mogelijkheid is om helemaal niet te kijken naar de toestand tijdens de bui, maar de concentraties aan het eind van de bui rechtstreeks te vergelijken met de concentratie voordat de bui begon. Deze vergelijking toont het netto effect van de regenbui op de waterkwaliteit.

De gegevens die voor deze benaderingen van belang zijn binnen het project Julianapark:

1. Concentratie aan het begin van de bui, in meetpunt I en meetpunt E (zie figuur 3.1, hoofdstuk 3.2). De concentratie in meetpunt E geeft een beeld van de concentratie bij droog weer in de bak. Deze wordt voor een groot gedeelte bepaald door drainagewater. Naarmate de aan de bui voorafgaande droogweelperiode langer is, zal de gemeten concentratie aan het begin van de bui de concentratie in het drainagewater dichter benaderen. De concentratie in meetpunt I geeft een indruk van de concentratie in het riool bij droog weer. Wel is er op het moment van de eerste monsternamen al minstens 0,4 mm neerslag gevallen, zodat er al neerslagwater in het uitlaatriool terecht kan zijn gekomen dat het beeld verstoort.
2. Concentratie na afloop van de bui, in meetpunt I en meetpunt E. Het netto-effect van de gevallen regenbui volgt uit de vergelijking van deze concentraties met de beginconcentraties. Hierbij moet worden aangetekend dat op het moment dat het einde van de bui volgens het daarvoor geldende criterium wordt geregistreerd, het effect van de bui niet noodzakelijkerwijs is afgelopen. Het stelsel kan op dat moment nog regenwater bevatten, waardoor de concentratie in meetpunt I de invloed van de regenbui nog ondergaat. De ontvangbak is op dat moment voor een groot gedeelte gevuld met regenwater en het effect van de regenbui werkt hier zeker nog langer door.
3. Het concentratieverloop tijdens de bui is voor de eerste en de tweede benadering van belang. Bij de eerste benadering gaat het om dit concentratieverloop zelf. Bij de tweede benadering worden deze concentraties gebruikt om hieruit de totale vracht van een bui te berekenen. Deze vracht volgt uit de vermenigvuldiging van de gemeten debieten en concentraties in de loop van de bui. De debieten zijn voor elke minuut bekend. De concentraties kunnen voor elke minuut worden

bepaald door lineair te interpoleren tussen de metingen. Wanneer aan het begin of aan het einde van de bui concentraties ontbreken doordat de bemonsteringsapparatuur te laat is gestart of is gestopt voordat de bui of het effect van de bui is afgelopen, moeten de concentraties voor deze periode worden geëxtrapoleerd. Vermenigvuldiging van het debiet met de concentratie resulteert in de vracht voor elke minuut. De som van deze vrachten over de hele bui geeft de totale vracht tijdens de bui.

4. Voorraad aan stoffen in het systeem bij aanvang van de bui en na afloop van de bui. Er is een voorraad aanwezig in het stelsel en in de ontvangbak. Voor het berekenen van de voorraad in het stelsel kan slechts worden aangenomen dat de concentraties in het stelsel overal hetzelfde zijn en gelijk aan de concentraties, die in de stelseluitlaat worden gemeten. Er zijn geen gegevens over de concentraties in de rest van het stelsel. De voorraad in het stelsel volgt uit de berging in het stelsel beneden het uitstroompeil aan het begin of na afloop van de bui, vermenigvuldigd met de concentratie in meetpunt I op dat moment. De voorraad in de ontvangbak volgt uit het volume in de bak vermenigvuldigd met de concentratie in de bak. In de bak is de concentratie alleen bekend in het meetpunt E.

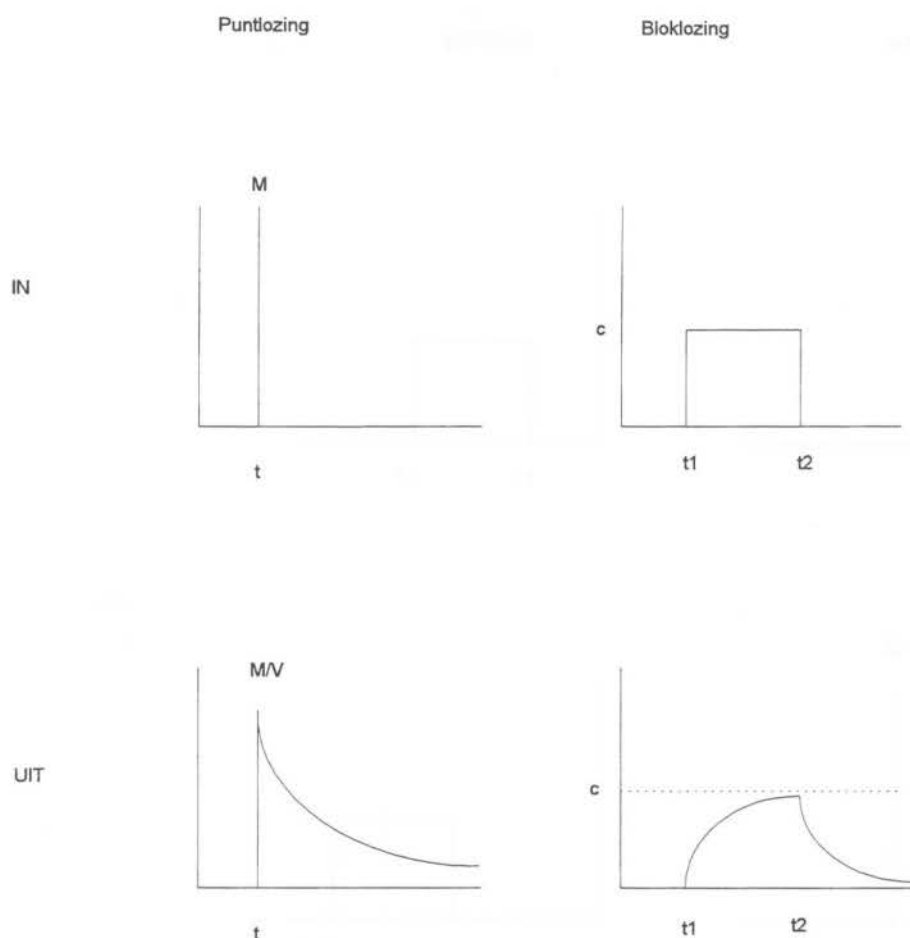
5. Buivolume. Voor het evalueren van de kwaliteitsgegevens zijn kwantitatieve gegevens als de neerslagsom van een bui en het totale uitgestroomde volume van een bui natuurlijk eveneens van belang.

#### 6.1.2 Gedrag van een watersysteem

De concentraties in de monsters afkomstig van meetpunt I en meetpunt E geven het gedrag weer van twee verschillende watersystemen: het regenwaterstelsel en de ontvangbak. De invoerconcentraties van het regenwaterstelsel zijn niet bekend, maar het verloop van de uitvoerconcentraties (de concentraties in meetpunt I) geeft wel informatie over het soort gedrag dat het stelsel als geheel vertoont. Van de ontvangbak worden zowel invoer- als uitvoerconcentraties gemeten, zodat over het gedrag van dit systeem meer gedetailleerde uitspraken mogelijk zijn.

Het gedrag van een watersysteem zoals het regenwaterstelsel of de ontvangbak kan worden geschematiseerd als een bak waar aan één kant water in stroomt en aan de andere kant water uit stroomt. Voor de beschrijving van het gedrag van zo'n systeem bestaan twee theoretische uitersten. Het eerste is het gedrag van een ideale menger (Engels: Completely Stirred Tank Reactor, CSTR), het tweede dat van een ideale propstroom (Engels: Plug Flow).

In het eerste geval verspreiden deeltjes die het systeem binnenkomen zich direct en evenredig over het hele systeem. Dit betekent in het theoretische geval dat een deeltje dat het systeem binnenkomt, direct ook bij de uitgang aanwezig is. De concentraties zijn in zo'n systeem overal hetzelfde en gelijk aan de uitgangsconcentratie. De stroombanen van de deeltjes zijn niet voorspelbaar, maar toevalsafhankelijk. Daarom heet dit gedrag stochastisch; het enige wat bekend is over de verplaatsing van afzonderlijke deeltjes is hun gemiddelde verblijftijd in het systeem en de standaardafwijking van dit gemiddelde. Wanneer een hoeveelheid vuil het systeem wordt binnengebracht, verloopt de uitgangsconcentratie volgens een e-macht (zie figuur 6.2). Een voorbeeld dat dit theoretische geval dicht benadert, is een cilindrische tank met daarin een roerder die het water continu mengt, of een beluchtingstank in een rioolwaterzuiveringsinrichting.

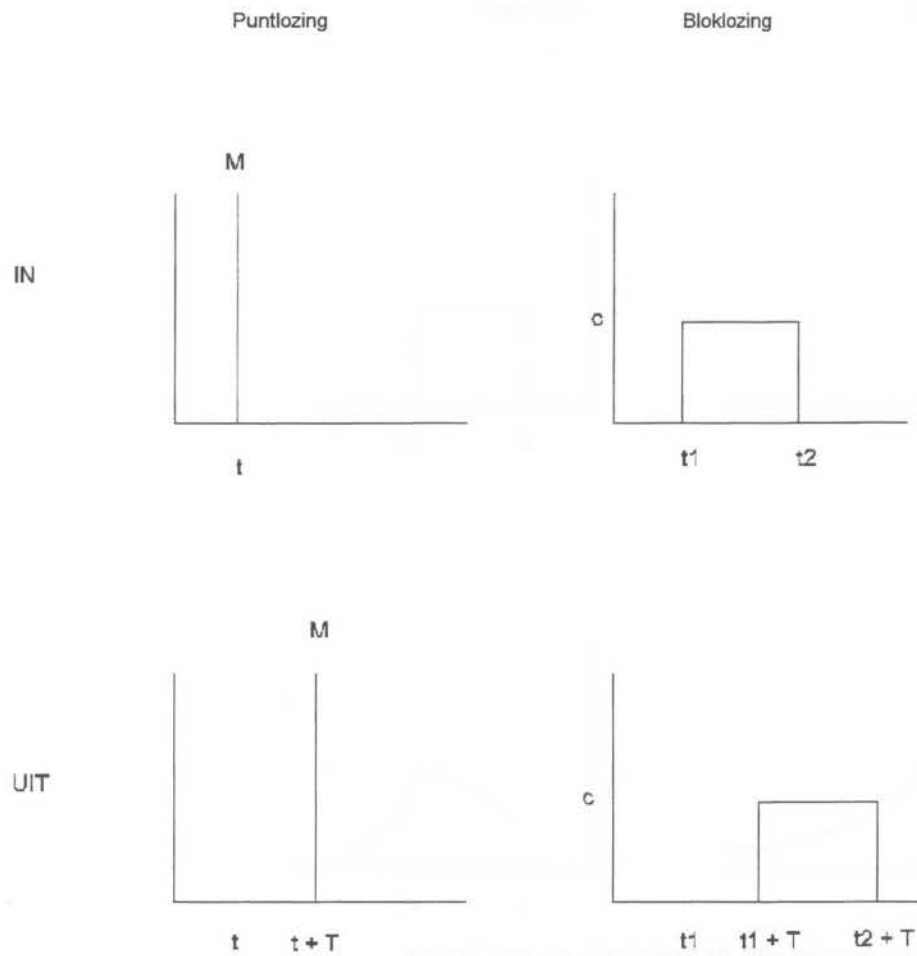


Figuur 6.2 Ideale menger, reactie van het systeem op een lozing

In het tweede geval vindt, wanneer deeltjes het systeem binnenkomen in het geheel geen menging plaats. Een "prop" vuil die het systeem binnenkomt, beweegt als zodanig naar de uitgang met dezelfde snelheid als het water en verlaat volkomen onveranderd het systeem (zie figuur 6.3). Het stromingspatroon van de deeltjes is in dit geval volledig te voorspellen. Dit gedrag heet daarom deterministisch. Een voorbeeld van een systeem dat dit gedrag benadert is een smal, zeer langgerekt bassin, waarin het water van het ene naar het andere uiteinde stroomt.

Tussen deze twee vormen van gedrag, eenvoudige wanorde en geordende eenvoud, liggen vele soorten mogelijke gedragingen. Deze lopen van steeds ingewikkelder orde naar ingewikkelde wanorde, waarbij een deterministisch proces invloed ondergaat van stochastische processen, voornamelijk menging. Een voorbeeld van een stromingsproces met een ingewikkelde orde is de Poisseuil-stroming, waarbij het stromingspatroon exact te beschrijven is. Een voorbeeld van een deterministisch stromingspatroon dat wordt verstoord door stochastische processen, is de stroming in een langzaam-stromende rivier met kribvakken, waarin neren optreden die de verplaatsing van de deeltjes op steeds verschillende en onvoorspelbare manieren beïnvloeden.

Elk stromingspatroon is te beschrijven als een combinatie van deterministische processen waarvan het scherpe patroon meer of minder vertroebeld wordt of zelfs volledig onzichtbaar wordt onder invloed van de zich afspelende stochastische processen.



Figuur 6.3 Propstroming, reactie van het systeem op een lozing

## 6.2 Kwaliteitsmetingen tijdens een bui

Het doel van de kwaliteitsmetingen is het effect te bepalen van de ontvangbak op de kwaliteit van het afgestroomde regenwater. Dit effect blijkt uit het verschil tussen het concentratieverloop tijdens een bui in de uitlaat van het stelsel, en het concentratieverloop in het water dat de bak verlaat, volgens de eerste benadering. Dit effect blijkt uit het verschil tussen de vuilvracht ten gevolge van een regenbui in het rioolwater en in het effluentwater van de bak, volgens de tweede benadering. Dit effect blijkt uit de directe vergelijking van de concentraties in de stelseluitlaat en de uitlaat van de bak, voor en na de regenbui, volgens de derde benadering.

Een goed begrip van de stromingsprocessen ligt aan de basis van iedere uitspraak over het effect van de ontvangbak. De stof waarvan het gedrag het minst van andere processen afhankelijk is, is chloride. Daarom is de eerste stap in de analyse van de kwaliteitsmetingen het bestuderen van de chlorideconcentraties.

### 6.2.1 Eerste benadering: Verloop van de concentraties in de tijd

Het verloop van de chloride- en van de CZV-concentraties voor een aantal buien is weergegeven in de figuren 6.3 t/m 6.10. De getrokken lijnen zonder symbolen tonen het effluentdebiet tijdens de bui in  $\text{m}^3/\text{min}$ , zoals is aangegeven op rechter y-as. De lijnen met symbolen geven het verloop van de concentraties weer in  $\text{mg/l}$ , aangegeven op de linker y-as. De lijnen met een plus-symbool tonen het verloop van de influentconcentratie, de concentratie in meetpunt I, de lijnen met een leeg vierkant het verloop van de effluentconcentratie, de concentratie in meetpunt E.

#### *Chloride*

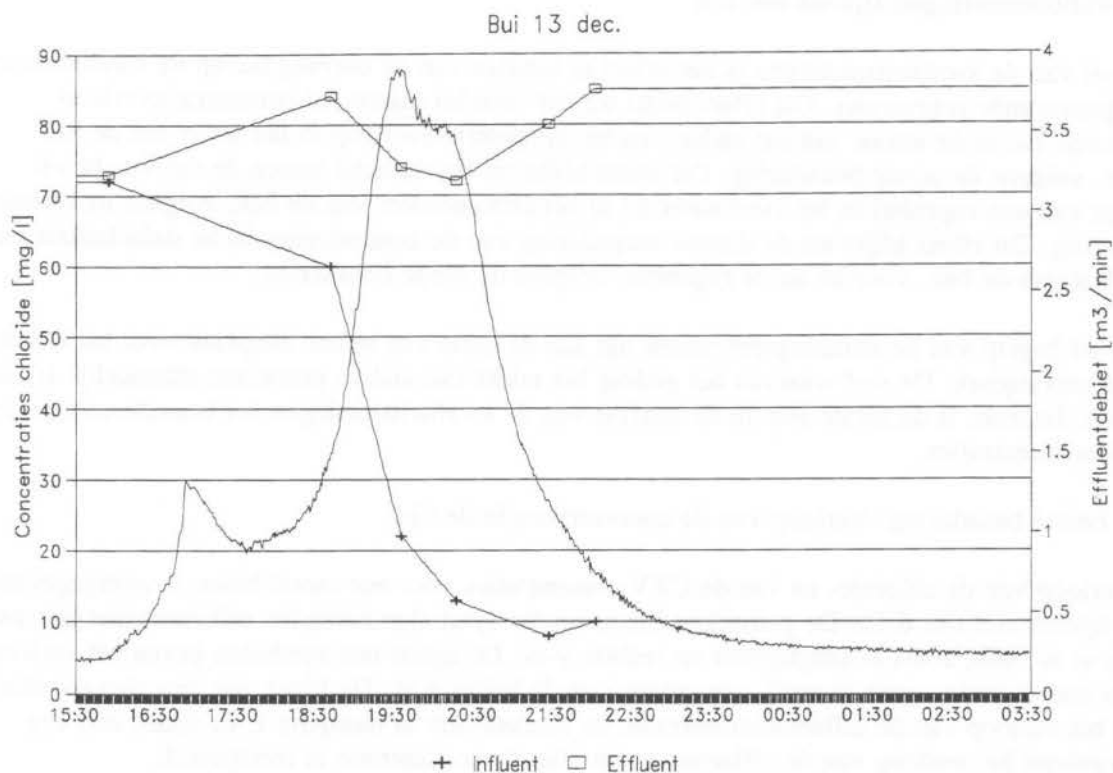
Bestudering van het verloop van de chlorideconcentraties leert in de eerste plaats dat (a) kleine buien, met een neerslagsom beneden 3 mm, geen duidelijke invloed hebben op de concentraties in de monsters afkomstig van meetpunt I en meetpunt E. In de tweede plaats valt op dat (b) op enkele uitzonderingen na de concentraties in meetpunt E voortdurend hoger zijn dan de concentraties in meetpunt I.

Het verloop van de concentraties in meetpunt I (c) vertoont meestal een vorm die lijkt op een e-macht. Ofwel de concentratie neemt af van een hoge waarde via een e-macht naar een lage waarde (b.v. buien van 13, 18-12; 29-01; 8, 11, 15, 19, 27-02; 3-03), ofwel de concentratie vertoont eerst een piek met een zeer hoge waarde en neemt vandaar via een e-macht af naar een lage waarde (b.v. buien van 10, 15, 27-01; 1-02; 4, 5, 31-03).

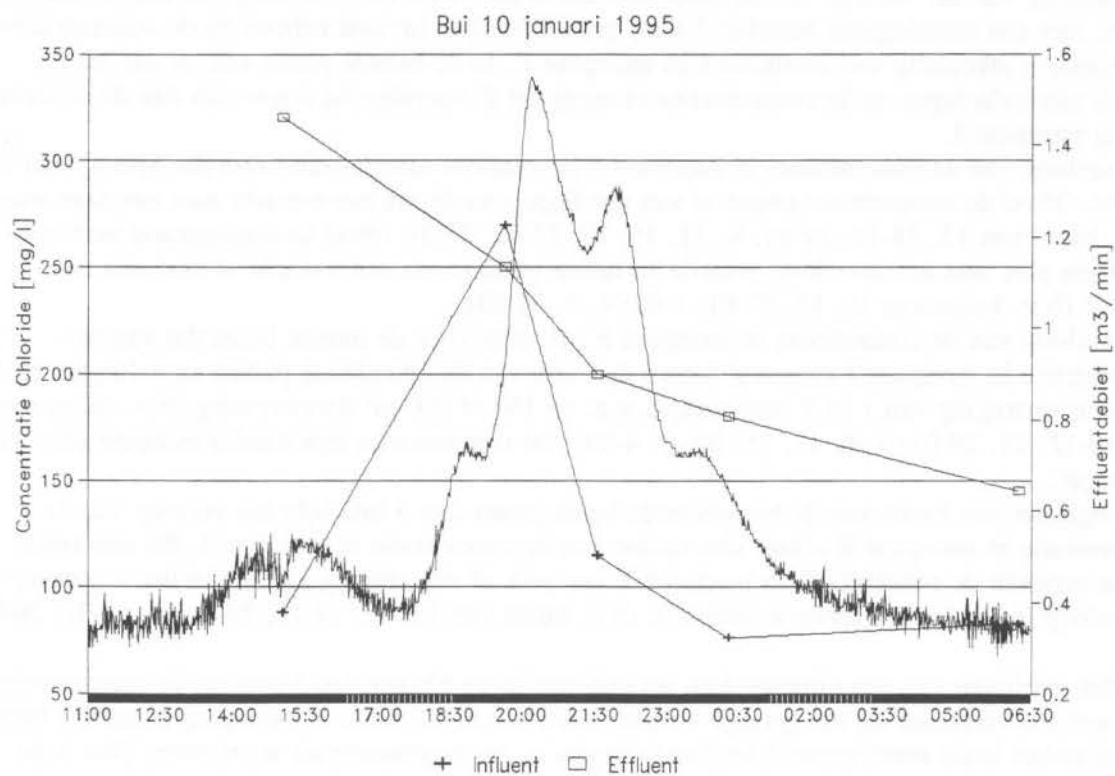
Het verloop van de concentratie in meetpunt E (d) volgt voor de meeste buien dat van de concentratie in meetpunt I voor wat betreft de vorm van de optredende pieken en dalingen, zij het met een vertraging van 1 of 2 monsters, d.w.z. na 150 of 300  $\text{m}^3$  doorstroming (b.v. buien van 13, 19-12; 21, 29-01; 1, 8, 11, 15, -02; 3, 4-03). De concentraties zijn daarbij meestentijds 1,5 tot 2x hoger.

Bij ongeveer een kwart van de bemonsterde buien groter dan 3 mm lijkt het verloop van de concentratie in meetpunt E echter niet op dat van de concentratie in meetpunt I. Bij een aantal buien vertoont de concentratie in meetpunt E een piek of een stijging die niet in het concentratieverloop in meetpunt I terug te vinden is (b.v. buien van 13, 18, 19-12; 29-01; 8, 11-02; 26-03).

(a) Het uitblijven van een uitgesproken invloed van buien kleiner dan 3 mm op de concentraties kan worden verklaard uit het geringe volume water dat bij zo'n bui in beweging komt. De berging in het stelsel raakt eerst ververst en daarna begint er pas regenwater uit te stromen. Dan is de bemonstering intussen al gestopt, omdat de bui is afgelopen.



Figuur 6.3



Figuur 6.4



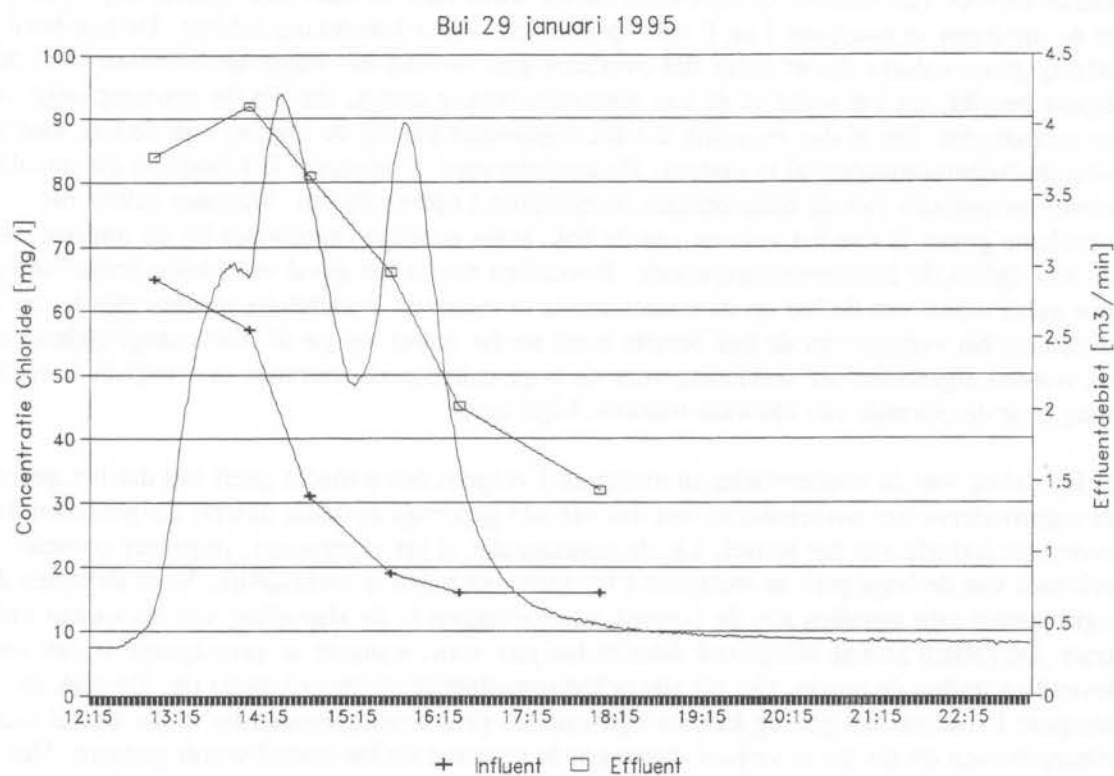
(b) Een toename van de chlorideconcentraties tussen meetpunt I en E zou moeten duiden op een externe toevoer van chloride of zeer chloriderijk water naar de bak. Een andere mogelijkheid is dat de metingen in meetpunt I en E niet op hetzelfde water betrekking hebben. De bak heeft een zodanig groot volume dat er enige tijd overheen gaat voordat het water dat binnenstroomt de uitgang bereikt, als het water in de bak tenminste weinig mengt, dus als de stroming neigt naar een propstroom. Het is dus mogelijk dat het regenwater pas bij de uitgang van de bak aankomt nadat de buibemonstering al is gestopt. De concentraties in meetpunt E kunnen in dat geval niet worden vergeleken met de concentraties in meetpunt I tijdens de bui. Wanneer echter het buivolume groter is dan het volume van de bak, komt er zeker regenwater bij de uitgang van de bak aan tijdens de bemonsteringsperiode. Bovendien zou in het geval van ideale propstroming geen enkel effect van de bui op de concentraties in meetpunt E zichtbaar moeten zijn totdat het buivolume het volume van de bak bereikt heeft en dat is wel het geval. Deze mogelijkheid moet dus worden afgewezen als verklaring voor de hoge chlorideconcentraties in meetpunt E en de vraag naar de oorzaak van chloride-toename blijft open.

(c) De daling van de concentraties in meetpunt I volgens een e-macht geeft aan dat het gedrag van het regenwaterstelsel overeenkomt met dat van een gemengd systeem daarbij aangenomen dat de invoerconcentratie van het stelsel, i.e. de concentratie in het regenwater, ongeveer constant is. De herkomst van de hoge piek in meetpunt I bij sommige buien is onduidelijk. Voor de buien die begin januari zijn gevallen zou de oorzaak kunnen liggen in de afspoeling van strooizout van de straat. De pieken komen echter ook later in het jaar voor, wanneer er geen sprake is van vorst. Bovendien treden de pieken niet bij alle achtereenvolgende buien in januari op. De piek in meetpunt I zou ook het gevolg kunnen zijn van een prop drainagewater die in het stelsel was achtergebleven en die nu in vrijwel ongemengde toestand uit het stelsel wordt geduwd. Het is echter het meest aannemelijk dat dit gebeurt bij extreem grote of hevige buien en de buien waarbij dit verschijnsel optreedt zijn dat niet. Deze vraag blijft dus eveneens open.

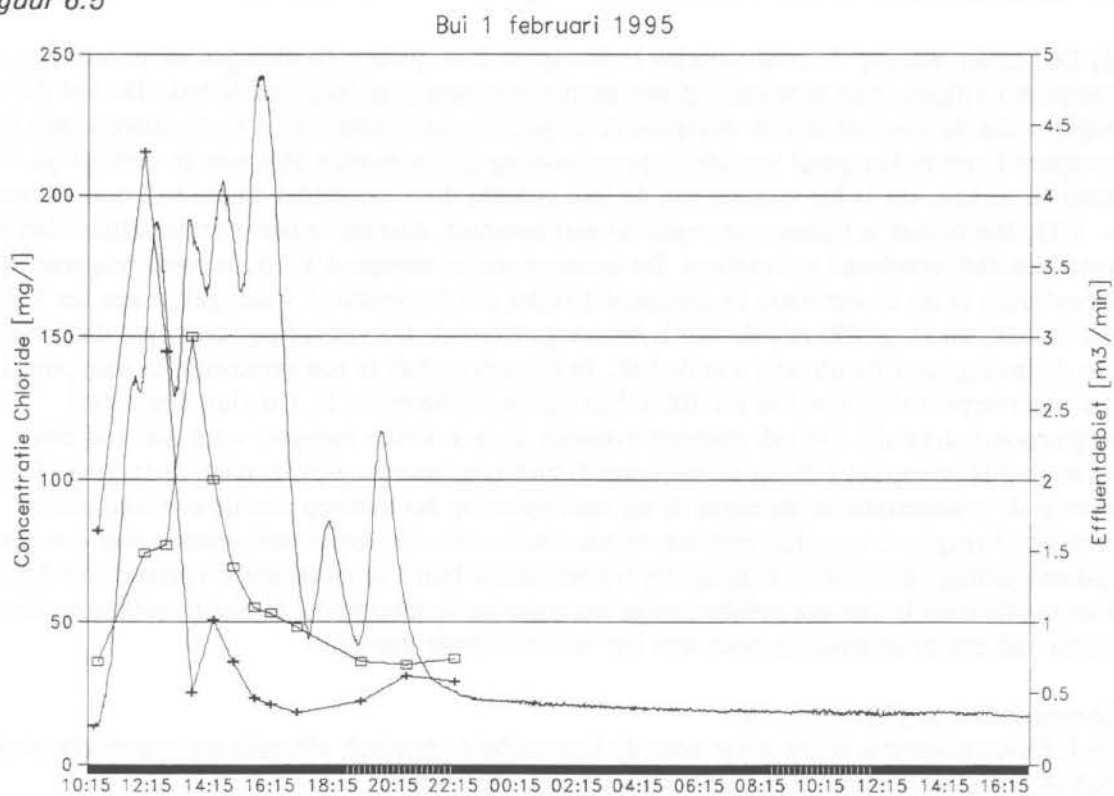
(d) De manier waarop de concentraties in meetpunt E de pieken en dalingen in de concentraties in meetpunt I volgen, lijkt te wijzen op een propstroom-achtig gedrag van de bak. De tijd die verstrijkt totdat de concentratie in meetpunt E reageert op een verandering in de concentratie in meetpunt I zou in het geval van ideale propstroming gelijk moeten zijn aan de verblijftijd van het water in de bak, dit is het volume van de bak gedeeld door het debiet dat de bak doorstroomt:  $T = V/Q$ . Het debiet is tijdens een regenbui niet constant, daarom is het overzichtelijker het volume water dat zich verplaatst te bekijken. De concentratie in meetpunt E zou moeten reageren op een verandering in de concentratie in meetpunt I zodra een hoeveelheid water gelijk aan het volume van de bak, dit is  $\pm 750 \text{ m}^3$ , de bak is binnengestroomd. De verstoring heeft zich dan verplaatst van de ingang naar de uitgang van de bak. In de ontvangbak is een verstoring in meetpunt I al na een waterverplaatsing van 150 tot  $300 \text{ m}^3$  zichtbaar in meetpunt E. Dit sluit een ideaal propstroomgedrag uit. De bak reageert evenmin als een ideale menger, want dan zou een verstoring in meetpunt I direct in meetpunt E zichtbaar moeten zijn, zonder vertraging. De manier waarop de concentratie in meetpunt E bij veel buien op het verloop van de concentratie in meetpunt I reageert, namelijk met een minder steile e-macht, komt wel overeen met een gemengd systeem-gedrag. De piek of stijging die bij een aantal buien in meetpunt E optreedt zonder dat deze te relateren is aan een gelijksoortige verandering in meetpunt I is niet te verklaren met het model van een propstroming noch met dat van een ideale menger.

#### *Chemisch ZuurstofVerbruik, CZV*

De CZV-concentratie is een maat voor de hoeveelheid chemisch afbreekbare organische stof die zich in het water bevindt. De CZV-concentraties ondervinden,



Figuur 6.5



Figuur 6.6

behalve van de stromingsprocessen, de invloed van bezinkings- en afbraakprocessen. Hiermee moet bij het interpreteren van het verloop van de concentraties rekening worden gehouden.

(a) Buien kleiner dan 3 mm hebben op de CZV-concentraties evenmin een eenduidig effect, maar de CZV-concentratie reageert vaker dan de chlorideconcentratie op een kleine bui. In de aard van de reactie is geen patroon te ontdekken.

(b) Het verloop van de concentraties in meetpunt I voor CZV vertoont, op enkele uitzonderingen na, steeds een hoge piek bij of kort na het begin van een bui. Deze wordt gevolgd door een daling die verloopt volgens een e-macht (b.v. buien van 13, 19-12; 10, 11, 15, 22, 27-01; 1, 15, 27-02; 3, 5, 8, 27, 31-03).

(c) Voor het grootste deel van de buien geeft het verloop van de concentratie in meetpunt E geen verband te zien met dat van de concentratie in meetpunt I (b.v. buien van 13, 19-12; 11, 21, 22-01; 11, 15, 27-02; 8, 26-03). De concentraties in meetpunt E liggen even frequent boven als onder de concentraties in meetpunt I; de hoge concentratiepieken die in meetpunt I voorkomen komen niet terug in meetpunt E en de concentratieschommelingen zijn hier veel kleiner (b.v. buien van 19-12; 11, 22-01; 15-02; 8, 27-03). Er zijn een paar buien waarbij de concentratie in meetpunt E de verandering in meetpunt I volgt, met een vertraging van 150 m<sup>3</sup> of zelfs direct, zonder vertraging (b.v. buien van 27, 29-01; 14, 19, 20-02). Bij bijna de helft van de buien heeft de concentratie in meetpunt E bij aanvang van de bui een hele hoge waarde en neemt daarna meteen sterk af (b.v. buien van 13, 18-12; 29-01; 1, 8, 15-02; 25, 31-03).

(a) In hoeverre en op welke manier kleine buien de processen in het stelsel en de bak beïnvloeden wordt uit het verloop van de CZV-concentraties niet duidelijk.

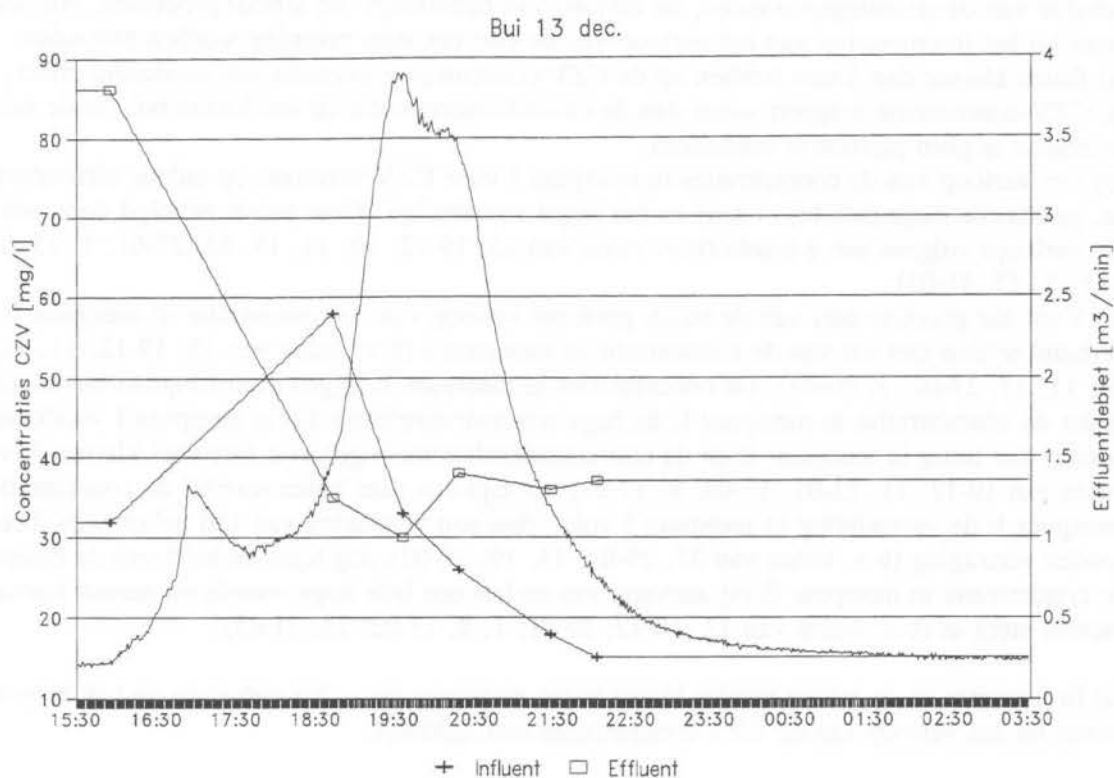
(b) De hoge pieken die optreden in meetpunt I bij of kort na het begin van een bui duiden op een grote vuiltoevoer naar de uitlaat van het stelsel aan het begin van een bui. Dit vuil kan afkomstig zijn van het oppervlak, dat door het regenwater wordt schoongespoeld, of uit het stelsel, waar het van de bodem wordt opgewoeld. De concentratiedaling in meetpunt I volgens een e-macht was ook al waar te nemen voor chloride. Dit verloop voor CZV bevestigt niet alleen dat het stelsel reageert als een gemengd systeem, het geeft bovendien aan dat in het stelsel tijdens een bui nauwelijks bezinking of afbraak plaatsvindt van organisch materiaal. De CZV-concentratie in meetpunt I wordt, zoals de chlorideconcentratie, voornamelijk bepaald door stromingsprocessen, afgezien van de piek die optreedt bij het begin van de bui.

(c) De afwezigheid van een verband tussen het verloop van de concentratie in meetpunt I en meetpunt E betekent dat voor CZV de invloed van andere dan stromingsprocessen in de bak overheerst. De mate van demping van de pieken en schommelingen in meetpunt E ten opzichte van meetpunt I duidt op een belangrijke bergingswerking van de bak voor CZV. De CZV-concentratie in meetpunt E is niet structureel lager dan in meetpunt I. Dit geeft aan dat er tijdens een regenbui geen beduidende afbraak of bezinking optreedt in de bak, of, indien deze processen wel optreden, dat het effect ervan in ongeveer de helft van de gevallen door andere processen zoals bijvoorbeeld opwoeling teniet wordt gedaan.

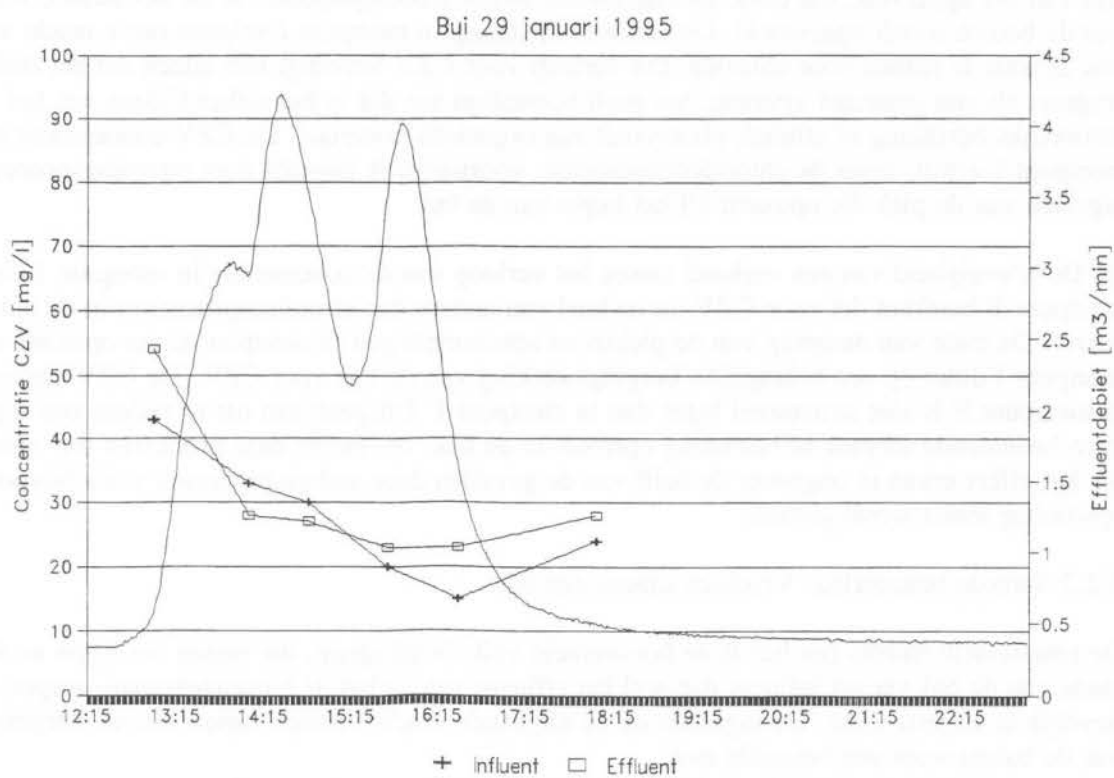
#### 6.2.2 Tweede benadering: Vrachten tijdens een bui

De totaalvracht tijdens een bui is de hoeveelheid vuil, in kilogram, die tussen het begin en het einde van de bui via het influent dan wel het effluent van de bak is binnengekomen, respectievelijk is uitgestroomd. De ingaande en de uitgaande vracht vormen samen met de berging in de bak de balans voor een bepaalde stof:

$$\text{Ingaande vracht} = \text{UITgaande vracht} + \text{Berging in de bak}$$



Figuur 6.7



Figuur 6.8

De buivrachten zijn uitgerekend voor de 23 bemonsterde buien van de maanden december t/m maart. De ingaande vracht volgt uit de vermenigvuldiging van het influentdebiet met de concentraties in meetpunt I; de uitgaande vracht uit de vermenigvuldiging van het effluentdebiet met de concentraties in meetpunt E (tabel 6.1).

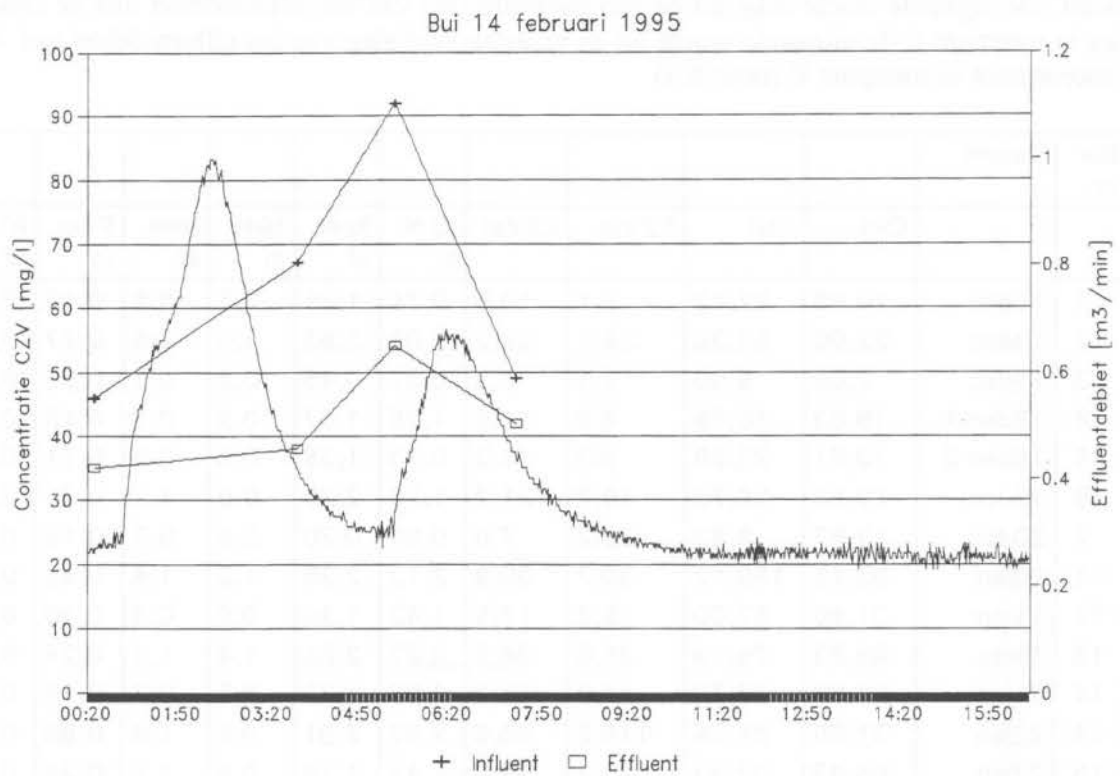
| Bui nr. | Datum   |        |        |       |       |         |         |        |        |         |         |
|---------|---------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
|         |         | Clin   | Clef   | CZVin | CZVef | Kj-N in | Kj-N ef | NH4 in | NH4 ef | PTot in | PTot ef |
| 1       | 10dec   | 10,98  | 22,13  | 9,1   | 10,6  | 0,74    | 1,25    | 0,5    | 0,8    | 0,13    | 0,18    |
| 2       | 13dec   | 22,00  | 55,38  | 24,1  | 29,2  | 2,05    | 3,63    | 1,0    | 2,5    | 0,27    | 0,24    |
| 3       | 14dec   | 2,65   | 5,90   | 2,1   | 3,3   | 0,27    | 0,45    | 0,2    | 0,3    | 0,03    | 0,02    |
| 4       | 18dec-1 | 19,63  | 16,79  | 8,8   | 11,6  | 1,25    | 1,07    | 0,9    | 0,8    | 0,18    | 0,21    |
| 5       | 18dec-2 | 13,61  | 23,29  | 9,3   | 11,2  | 0,73    | 1,35    | 0,5    | 0,9    | 0,11    | 0,12    |
| 6       | 19dec   | 19,54  | 36,78  | 19,7  | 21,7  | 1,73    | 2,30    | 0,9    | 1,3    | 0,21    | 0,23    |
| 7       | 20dec   | 12,67  | 9,83   | 23,2  | 7,0   | 0,84    | 0,70    | 0,5    | 0,3    | 0,18    | 0,05    |
| 11      | 10jan   | 93,19  | 159,12 | 30,7  | 30,9  | 2,13    | 2,36    | 1,3    | 1,4    | 0,48    | 0,82    |
| 12      | 11jan   | 31,80  | 67,00  | 19,2  | 16,5  | 1,42    | 1,36    | 0,9    | 0,8    | 0,30    | 0,25    |
| 13      | 15jan   | 85,83  | 79,19  | 26,8  | 26,3  | 2,27    | 2,85    | 1,4    | 1,9    | 0,24    | 0,47    |
| 14      | 21jan   | 21,50  | 27,72  | 14,2  | 11,3  | 0,95    | 1,22    | 0,5    | 0,7    | 0,14    | 0,11    |
| 14      | 22jan   | 31,66  | 81,24  | 115,2 | 40,6  | 2,87    | 2,91    | 0,5    | 1,6    | 0,86    | 0,34    |
| 15      | 27jan   | 64,43  | 37,93  | 20,2  | 19,6  | 1,47    | 1,76    | 0,8    | 1,1    | 0,22    | 0,24    |
| 16      | 29jan   | 27,96  | 53,82  | 22,4  | 23,1  | 1,44    | 2,10    | 0,7    | 1,2    | 0,22    | 0,23    |
| 17      | 1feb    | 114,90 | 124,40 | 61,4  | 49,9  | 3,31    | 1,25    | 1,7    | 3,0    | 0,52    | 0,38    |
| 18      | 8feb    | 33,66  | 45,86  | 24,2  | 31,9  | 2,00    | 2,89    | 1,0    | 1,5    | 0,19    | 0,29    |
| 19      | 10feb   | 143,50 | 73,88  | 42,7  | 39,4  | 4,86    | 4,13    | 2,5    | 1,8    | 0,75    | 0,56    |
| 20      | 11feb   | 48,87  | 47,88  | 18,6  | 29,1  | 2,31    | 3,14    | 1,4    | 1,7    | 0,25    | 0,37    |
| 21      | 14feb   | 25,70  | 30,40  | 21,6  | 15,4  | 2,76    | 2,04    | 1,6    | 1,9    | 0,36    | 0,18    |
| 22      | 15feb   | 29,94  | 52,18  | 55,2  | 37,3  | 3,04    | 4,25    | 1,2    | 2,4    | 0,58    | 0,69    |
| 23      | 16feb   | 26,66  | 20,81  | 32,1  | 20,7  | 3,25    | 2,02    | 2,0    | 1,1    | 0,48    | 0,28    |
| 24      | 19feb   | 27,37  | 27,34  | 20,9  | 16,3  | 2,49    | 2,25    | 1,7    | 1,5    | 1,41    | 0,19    |
| 25      | 20feb   | 18,24  | 39,23  | 14,4  | 27,5  | 1,08    | 3,13    | 0,6    | 1,9    | 0,17    | 0,44    |
| 26      | 23feb   | 15,84  | 17,19  | 9,2   | 9,8   | 1,05    | 1,19    | 0,7    | 0,8    | 0,17    | 0,12    |
| 28      | 26feb   | 14,25  | 17,46  | 13,5  | 8,4   | 0,89    | 1,13    | 0,6    | 0,8    | 0,14    | 0,24    |

Tabel 6.1 In- en uitgaande vrachten ontvangbak

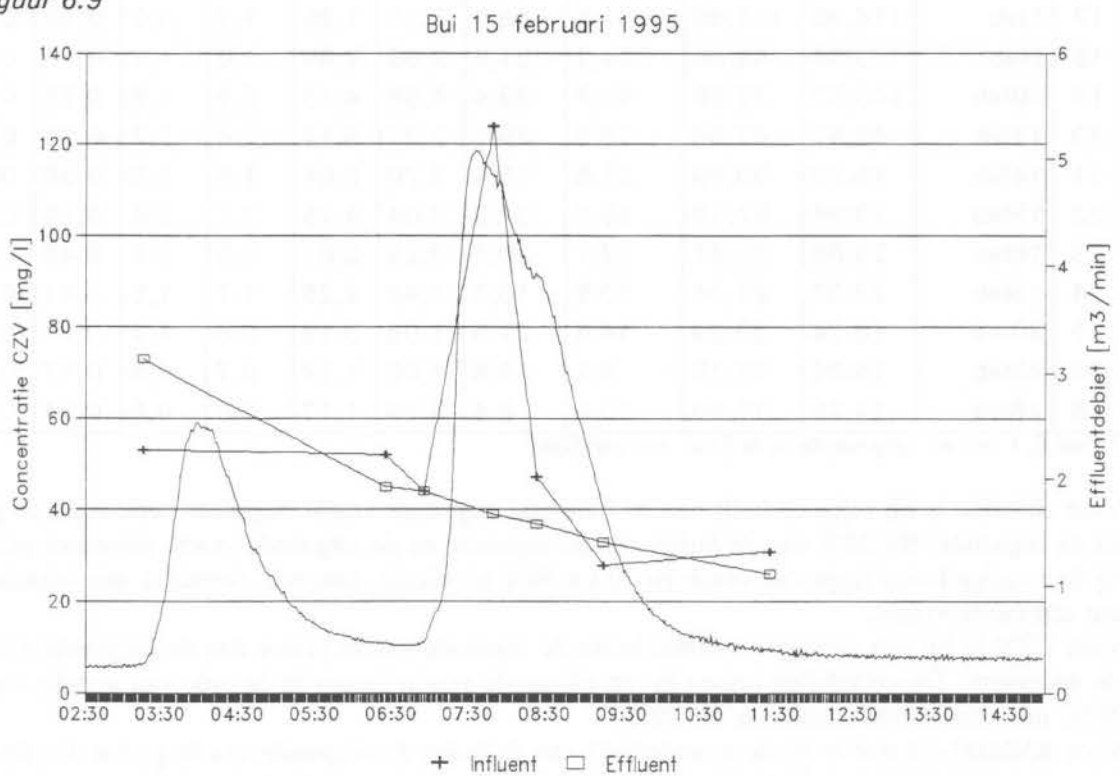
Voor chloride is bij bijna de helft van de buien de uitgaande vracht ongeveer twee maal zo groot als de ingaande. Bij 20% van de buien zijn de ingaande en de uitgaande vracht ongeveer gelijk, bij de overige buien liggen de vrachten 10 tot 50% uit elkaar, met een overschot aan ingaande of aan uitgaande vracht.

Voor CZV is bij een even groot aantal buien de ingaande vracht groter dan de uitgaande vracht als andersom. De verschillen tussen in- en uitgaande vracht liggen in de orde van grootte van 5 tot 20%, met een enkele uitschieter tot 50%.

Voor Kjeldahl-stikstof is bij de meerderheid van de buien de uitgaande vracht groter dan de ingaande vracht. De verschillen liggen globaal tussen de 20 en de 50%. Voor ammonium-stikstof komt de verdeling van de vrachten ongeveer overeen met die van de ingaande vrachten. Voor



Figuur 6.9



Figuur 6.10



totaal-fosfaat zijn de effluentvrachten even veelvuldig groter als kleiner dan de influentvrachten. De verschillen bedragen zo'n 10 tot 50 %, met enkele grotere uitschieters.

In deze vergelijking tussen de influent- en de effluentvrachten van de ontvangbak is de bergings-term buiten beschouwing gelaten. Uit de grote verschillen tussen de in- en uitgaande vrachten blijkt dat deze term een factor van betekenis moet zijn. Alle stoffen behalve chloride ondervinden de invloed van meerdere processen die in deze balans allemaal onder de bergingsterm vallen. Het is daardoor onmogelijk om van deze term een schatting te maken, waarmee de balans kan worden gecontroleerd.

| BUI | DATUM   | Buid. | Neers | VRACHT [kg] |        |       | BERGING [kg] |       |
|-----|---------|-------|-------|-------------|--------|-------|--------------|-------|
|     |         | [min] | [mm]  | Clin        | Clef   | In-Ef | (1)          | (2)   |
| 1   | 10dec   | 180   | 3,1   | 10,98       | 22,13  | -11,2 | -13,1        | -6,4  |
| 2   | 13dec   | 585   | 9,1   | 22,00       | 55,38  | -33,4 | 8,1          | -16,8 |
| 3   | 14dec   | 255   | 0,4   | 2,65        | 5,90   | -3,3  | -3,4         | -3,1  |
| 4   | 18dec-1 | 420   | 3,5   | 19,63       | 16,79  | 2,8   | 20,9         | 9,8   |
| 5   | 18dec-2 | 410   | 3,4   | 13,61       | 23,29  | -9,7  | -18,2        | -25,4 |
| 6   | 19dec   | 680   | 7,1   | 19,54       | 36,78  | -17,2 | 5,4          | -6,4  |
| 7   | 20dec   | 875   | 0,5   | 12,67       | 9,83   | 2,8   | 4,1          | 2,4   |
| 11  | 10jan   | 1170  | 8,2   | 93,19       | 159,12 | -65,9 | -111,4       | -63,5 |
| 12  | 11jan   | 1020  | 1,9   | 31,80       | 67,00  | -35,2 | -13,5        | -2,4  |
| 13  | 15jan   | 1000  | 5,7   | 85,83       | 79,19  | 6,6   | -20,3        | 3,7   |
| 14  | 21jan   | 320   | 4,3   | 21,50       | 27,72  | -6,2  | -4,7         | -1,4  |
| 14  | 22jan   | 575   | 14,1  | 31,66       | 81,24  | -49,6 | -34,4        | -34,1 |
| 15  | 27jan   | 750   | 8,3   | 64,43       | 37,93  | 26,5  | 29,0         | 30,3  |
| 16  | 29jan   | 858   | 7,2   | 27,96       | 53,82  | -25,9 | -35,1        | -34,1 |
| 17  | 1feb    | 1845  | 18,4  | 114,90      | 124,40 | -9,5  | 0,7          | -17,5 |
| 18  | 8feb    | 1085  | 7,8   | 33,66       | 45,86  | -12,2 | -26,3        | -26,0 |
| 20  | 11feb   | 900   | 5,4   | 48,87       | 47,88  | 1,0   | -3,4         | -44,6 |
| 21  | 14feb   | 970   | 2,6   | 25,70       | 30,40  | -4,7  | -0,7         | 5,0   |
| 22  | 15feb   | 750   | 11,3  | 29,94       | 52,18  | -22,2 | -33,8        | -37,5 |
| 23  | 16feb   | 465   | 2     | 26,66       | 20,81  | 5,9   | 19,6         | 15,9  |
| 24  | 19feb   | 605   | 4,6   | 27,37       | 27,34  | 0,0   | 19,6         | -1,0  |
| 25  | 20feb   | 675   | 7,8   | 18,24       | 39,23  | -21,0 | -31,1        | -25,0 |
| 26  | 23feb   | 765   | 1,9   | 15,84       | 17,19  | -1,4  | 27,7         | 13,8  |
| 27  | 26feb   | 470   | 2,3   | 14,25       | 17,46  | -3,2  | 1,4          | -6,1  |

Tabel 6.2 In- en uitgaande vrachten en berging in de ontvangbak voor chloride

Voor een stof als chloride, die niet reageert of bezinkt, is de bergingsterm gelijk aan het verschil tussen de voorraad aan chloride in de bak aan het begin van de bui en die aan het eind van de bui. De voorraad in de bak hangt af van het volume water in de bak en de concentraties in het water. Het volume van de bak is voor en na een bui constant, de concentraties in de bak zijn niet bekend. Als de bak ideaal gemengd zou zijn, zouden de concentraties in de bak overal hetzelfde zijn en gelijk aan de uitgaande concentratie. Als de stroming in de bak een ideale propstroom zou zijn, zouden de concentraties volgen uit het concentratieverloop in het influent in de voorafgaande periode. De toestand in de bak is echter noch het één, noch het ander. In eerste instantie is aangenomen dat de bak ideaal gemengd is en dat de concentratie in de bak overal gelijk is aan de concentratie in meetpunt E. Ter vergelijking is daarna aangenomen dat de concentratie in de bak lineair verloopt tussen de concentraties in meetpunt I en meetpunt E op dat moment. Dit is geen volledige propstroom-benadering, omdat dit verloop dan alleen zou opgaan als de ingaande concentratie minimaal  $750 \text{ m}^3$  lang constant is geweest voorafgaand aan de bui (de concentraties in meetpunt I en E zouden dan gelijk moeten zijn) en als de bui zelf een volume heeft van precies  $750 \text{ m}^3$ . Het is een aanname die de situatie in de bak enigszins kan benaderen als er geen extreem grote sprongen optreden in de concentratie in meetpunt I, waardoor de overgang van de concentratie in meetpunt E naar die in meetpunt I terug te vinden moet zijn in het verloop van de concentraties in de bak.

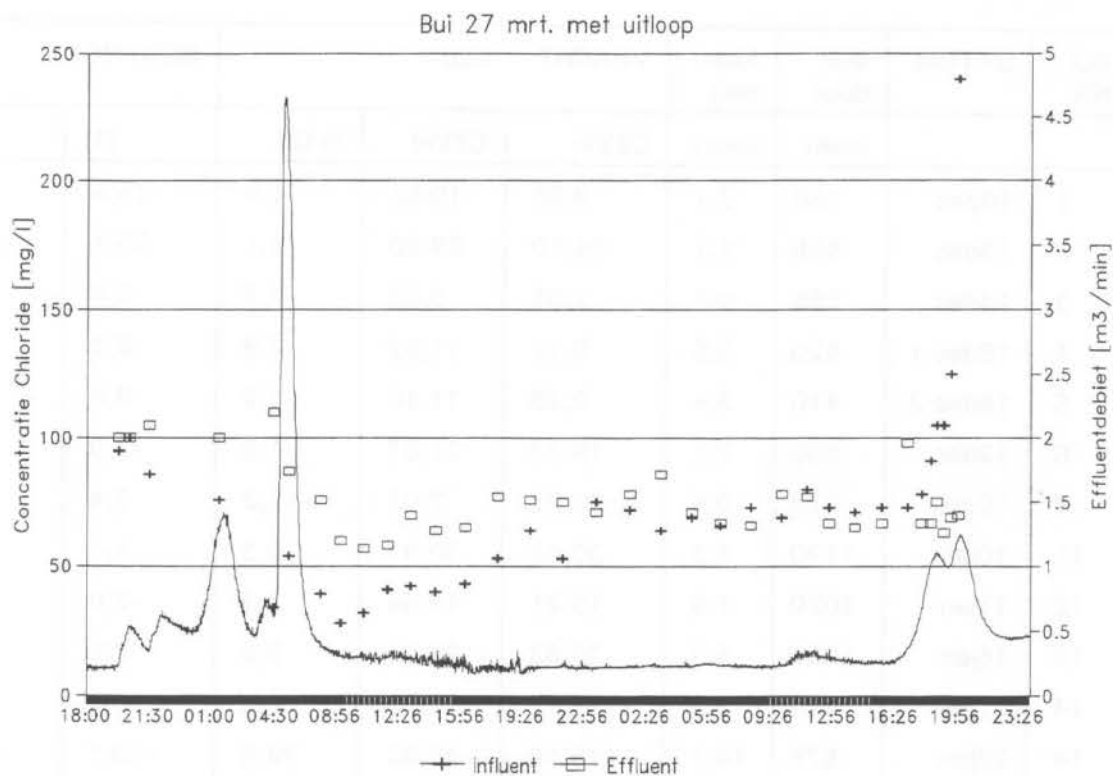
De berging aan chloride in de bak tijdens de bui volgt uit het verschil tussen de voorraad aan het begin en aan het eind van de bui (tabel 6.2, uitwerking met uitleg in bijlage VI). De chloridebalans zou bij het in rekening brengen van de in-gaande vracht, de uitgaande vracht en de bergingsterm, moeten kloppen. Beide manieren om de voorraad in de bak te berekenen geven voor slechts enkele buien een balans die klopt, binnen een marge van 20%. De overige buien geven afwijkingen in de chloridebalans die uiteenlopen van 25 tot meer dan 100%.

Voor CZV is op dezelfde twee manieren de voorraad in de bak bij begin en eind van de bui bepaald (tabel 6.3). Van de berging die nu nog overblijft, mag worden aangenomen dat deze kan worden toegerekend aan afbraak en bezinking. Deze term zou dus altijd negatief moeten zijn en dat klopt inderdaad voor de meeste buien, op een paar uitzonderingen na. Deze uitkomst geeft echter nog geen antwoord op de vraag waarom bij de helft van de buien de uitgaande vracht groter is dan de ingaande, oftewel hoe het komt dat bij zoveel buien er meer CZV uit de bak komt dan uit het stelsel.

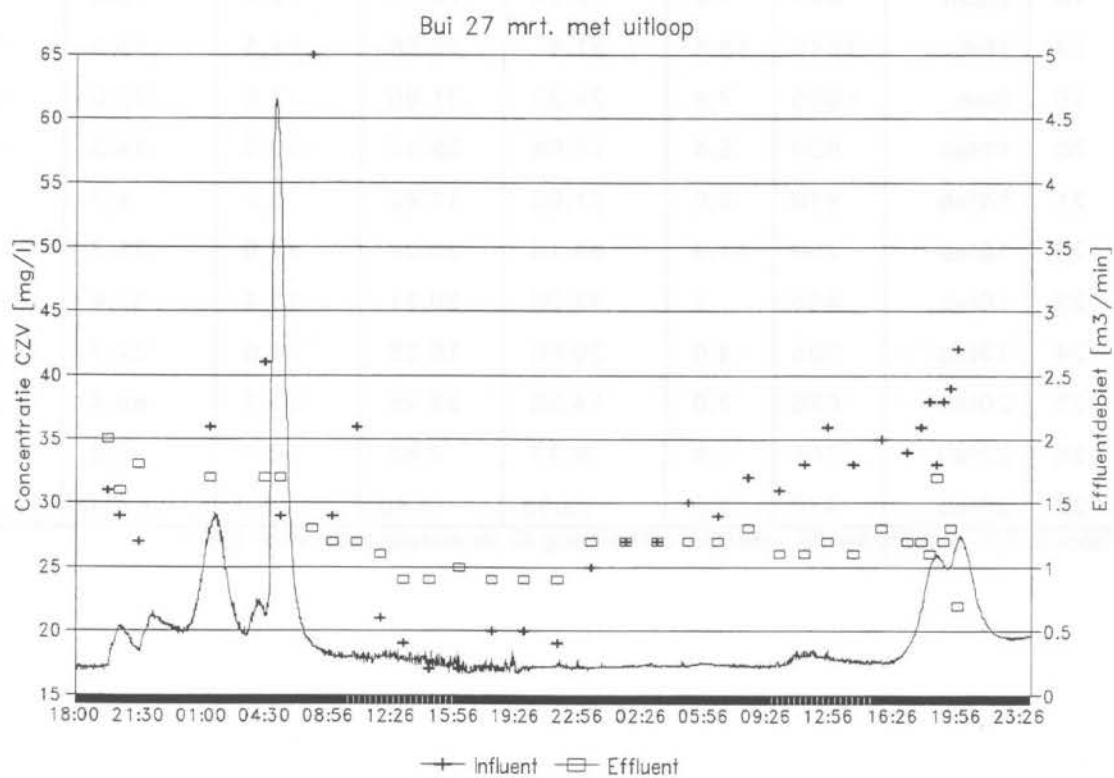
Zolang de chloridebalans niet klopt, bestaat bovendien geen enkele zekerheid over de betrouwbaarheid van de resultaten voor de andere stoffen, waarbij meer processen een rol spelen dan bij chloride.

| BUI<br>NR | DATUM   | Bui-<br>duur | Neer-<br>slag | VRACHT [kg] |       |        | BERGING [kg] |       |
|-----------|---------|--------------|---------------|-------------|-------|--------|--------------|-------|
|           |         | [min]        | [mm]          | CZVin       | CZVef | In-Uit | (1)          | (2)   |
| 1         | 10dec   | 180          | 3,1           | 9,05        | 10,58 | -1,5   | -15,5        | -3,0  |
| 2         | 13dec   | 585          | 9,1           | 24,10       | 29,20 | -5,1   | -33,1        | -22,3 |
| 3         | 14dec   | 255          | 0,4           | 2,08        | 3,33  | -1,3   | -8,8         | -3,7  |
| 4         | 18dec-1 | 420          | 3,5           | 8,77        | 11,62 | -2,9   | -8,1         | -1,7  |
| 5         | 18dec-2 | 410          | 3,4           | 9,26        | 11,16 | -1,9   | -8,8         | -8,8  |
| 6         | 19dec   | 680          | 7,1           | 19,73       | 21,67 | -1,9   | -2,0         | -4,4  |
| 7         | 20dec   | 875          | 0,5           | 23,22       | 7,02  | 16,2   | 3,4          | 24,6  |
| 11        | 10jan   | 1170         | 8,2           | 30,68       | 30,91 | -0,2   | 1,4          | -0,7  |
| 12        | 11jan   | 1020         | 1,9           | 19,21       | 16,54 | 2,7    | -2,0         | 8,4   |
| 13        | 15jan   | 1000         | 5,7           | 26,82       | 26,31 | 0,5    | -8,8         | -3,4  |
| 14        | 21jan   | 320          | 4,3           | 14,19       | 11,33 | 2,9    | -5,4         | -0,7  |
| 14        | 22jan   | 575          | 14,1          | 115,18      | 40,62 | 74,6   | -10,1        | -10,1 |
| 15        | 27jan   | 750          | 8,3           | 20,20       | 19,56 | 0,6    | 4,1          | -0,3  |
| 16        | 29jan   | 858          | 7,2           | 22,38       | 23,13 | -0,8   | -17,6        | -15,2 |
| 17        | 1feb    | 1845         | 18,4          | 61,41       | 49,88 | 11,5   | -15,5        | -14,5 |
| 18        | 8feb    | 1085         | 7,8           | 24,22       | 31,86 | -7,6   | -23,0        | -15,2 |
| 20        | 11feb   | 900          | 5,4           | 18,64       | 29,12 | -10,5  | -24,3        | -13,2 |
| 21        | 14feb   | 970          | 2,6           | 21,63       | 15,42 | 6,2    | 4,7          | 3,4   |
| 22        | 15feb   | 750          | 11,3          | 55,18       | 37,27 | 17,9   | -31,7        | -23,3 |
| 23        | 16feb   | 465          | 2             | 32,08       | 20,71 | 11,4   | -32,4        | -10,8 |
| 24        | 19feb   | 605          | 4,6           | 20,88       | 16,28 | 4,6    | -27,7        | -31,4 |
| 25        | 20feb   | 675          | 7,8           | 14,38       | 27,45 | -13,1  | -55,4        | -29,0 |
| 26        | 23feb   | 765          | 1,9           | 9,17        | 9,82  | -0,7   | -6,8         | -2,4  |
| 27        | 26feb   | 470          | 2,3           | 13,53       | 8,40  | 5,1    | 0,0          | -17,9 |

Tabel 6.3 In- en uitgaande vrachten en berging in de ontvangbak voor CZV



Figuur 7.1



Figuur 7.2

## 7. METINGEN IN DROGE PERIODE

De onverklaarbare resultaten die voorkomen in het concentratieverloop van chloride en CZV en de grote afwijkingen in de chloridebalans maken het onmogelijk om aan de hand van de meetresultaten van de regenbuien betrouwbare uitspraken te doen over de werking van de ontvangbak. De oorzaak van deze afwijkingen moet eerst worden achterhaald. Met dit doel zijn twee maal metingen uitgevoerd in een droge periode.

### 7.1 Meting tijdens bui en aansluitende droge periode

Meetresultaten in figuur 7.1 t/m 7.5

De eerste meting betrof een droge periode tussen twee buien in. De bemonstering is na afloop van een grote regenbui, een bui van 8,5 mm op 27 maart, voortgezet, totdat de volgende bui begon. Helaas is de bemonsteringsapparatuur kort na het begin van deze bui afgeslagen, zodat van deze bui maar voor een klein deel bemonsterd is. Het doel van deze meting is een balans op te kunnen stellen voor een bui inclusief de daaropvolgende droge periode totdat zich een evenwicht instelt of totdat een nieuwe bui begint. De droge periode die op de bui volgde duurde 30 uur, in deze tijd is er 400 m<sup>3</sup> water door de bak gestroomd. Er heeft zich dus nog geen evenwicht ingesteld in de bak, maar de meting geeft wel een goed beeld van de manier waarop de samenstelling van het water in de monsters afkomstig van de meetpunten I en E zich naar een droogweerevenwicht toe beweegt.

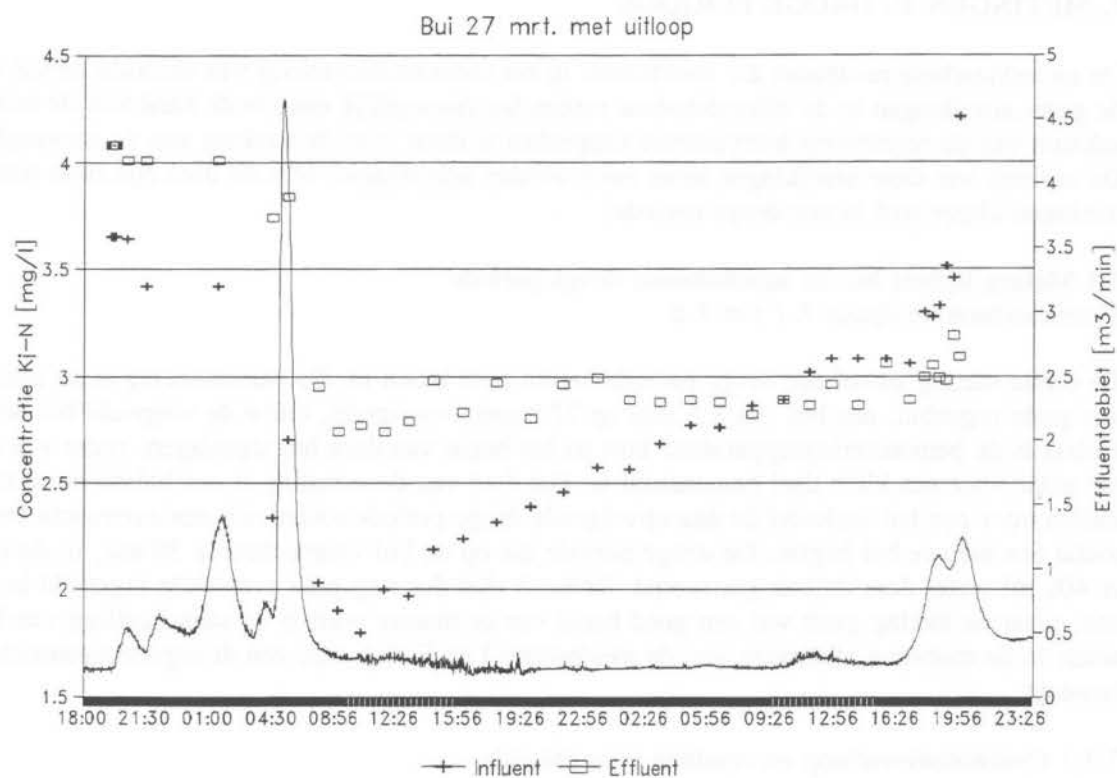
#### 7.1.1 Concentratieverloop en vrachten voor chloride

De concentratie in meetpunt I daalt vanaf het begin van de bui volgens een e-macht, maar maakt een kleine piek in de hoogste afvoerpiek van de bui. De concentratie in meetpunt E volgt de daling in meetpunt I, met een vertraging van 450 m<sup>3</sup>. Na afloop van de bui stijgt de concentratie in meetpunt I geleidelijk naar een waarde van 75 mg/l en lijkt zich 18 uur na het einde van de bui op deze waarde te stabiliseren. Zodra de volgende bui begint, stijgt de concentratie in meetpunt I zeer sterk.

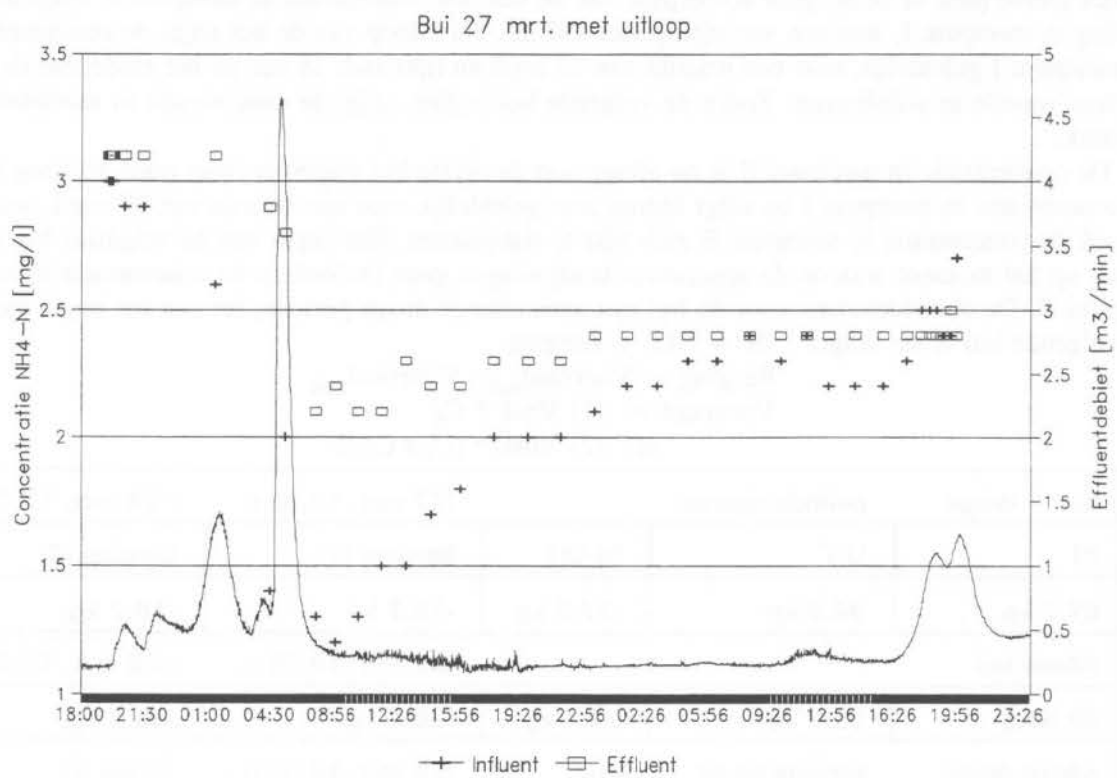
De concentratie in meetpunt E is na afloop van de eerste bui ongeveer twee maal zo hoog als de concentratie in meetpunt I en stijgt hierna zeer geleidelijk naar een waarde van 75 mg/l, waarop ook de concentratie in meetpunt E zich lijkt te stabiliseren. Het begin van de volgende bui heeft tot op het moment waarop de apparatuur is afgeslagen geen invloed op de concentratie in meetpunt E. De chloridebalans voor de bui met aansluitende droge periode, tot aan het begin van de volgende bui is als volgt:

$$\begin{aligned} \text{IN} &= \text{UIT} + \text{Berging} \\ \text{Berging} &= \text{Voorraad}_{\text{eind}} - \text{Voorraad}_{\text{begin}} \\ \text{Voorraad} &= (1) V_{\text{bak}} * C_E \\ &\text{of: } (2) V_{\text{bak}} * (C_E + C_I)/2 \end{aligned}$$

| Bui + droge periode daarna     |         | (27 mrt, 19.35 u - 28 mrt, 17.09 u) |             |             |
|--------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------|-------------|
| IN                             | UIT     | IN-UIT                              | Berging (1) | Berging (2) |
| 67,7 kg                        | 94,9 kg | -27,2 kg                            | -16,7 kg    | -18,2 kg    |
| Alleen bui                     |         | (27 mrt, 19.35 u - 28 mrt, 10.00 u) |             |             |
| 39,6 kg                        | 62,7 kg | 23,1 kg                             | -28,4 kg    | -35,8 kg    |
| Alleen droge periode na de bui |         | (28 mrt, 10.00 u - 17.09 u)         |             |             |
| 28,0 kg                        | 32,2 kg | -4,2 kg                             | + 6,8 kg    | + 17,6 kg   |



Figuur 7.3



Figuur 7.4



De balansen voor chloride wijken voor alle drie de gevallen meer dan 20% af

#### 7.1.2 Concentratie-verloop en vrachten voor overige stoffen

Dezelfde berekeningen kunnen worden gemaakt voor de andere parameters:

| CZV:                      | IN   | UIT  | IN-UIT | Berging (1) | Berging (2) |
|---------------------------|------|------|--------|-------------|-------------|
| Bui + droog:              | 35,7 | 32,7 | 3,0    | -5,4        | -1,7 kg     |
| Bui:                      | 23,4 | 20,8 | 2,6    | -5,4        | -1,7 kg     |
| droog:                    | 12,3 | 11,9 | 0,4    | 0,0         | 0,0 kg      |
| <i>Kjeldahl-stikstof:</i> |      |      |        |             |             |
| Bui + droog:              | 3,07 | 3,81 | -0,74  | -0,80       | -0,60 kg    |
| Bui:                      | 1,89 | 2,49 | -0,60  | -0,89       | -1,06 kg    |
| droog:                    | 1,18 | 1,32 | -0,14  | 0,09        | 0,46 kg     |
| <i>Ammonium-stikstof:</i> |      |      |        |             |             |
| Bui + droog:              | 2,34 | 2,96 | -0,62  | -0,47       | -0,47 kg    |
| Bui:                      | 1,40 | 1,89 | -0,49  | -0,65       | -0,91 kg    |
| droog:                    | 0,94 | 1,07 | -0,13  | 0,18        | 0,44 kg     |
| <i>Totaal-fosfaat:</i>    |      |      |        |             |             |
| Bui + droog:              | 0,44 | 0,22 | 0,23   | -0,05       | -0,04 kg    |
| Bui:                      | 0,25 | 0,14 | 0,11   | -0,01       | -0,08 kg    |
| droog:                    | 0,19 | 0,07 | 0,12   | -0,03       | 0,13 kg     |

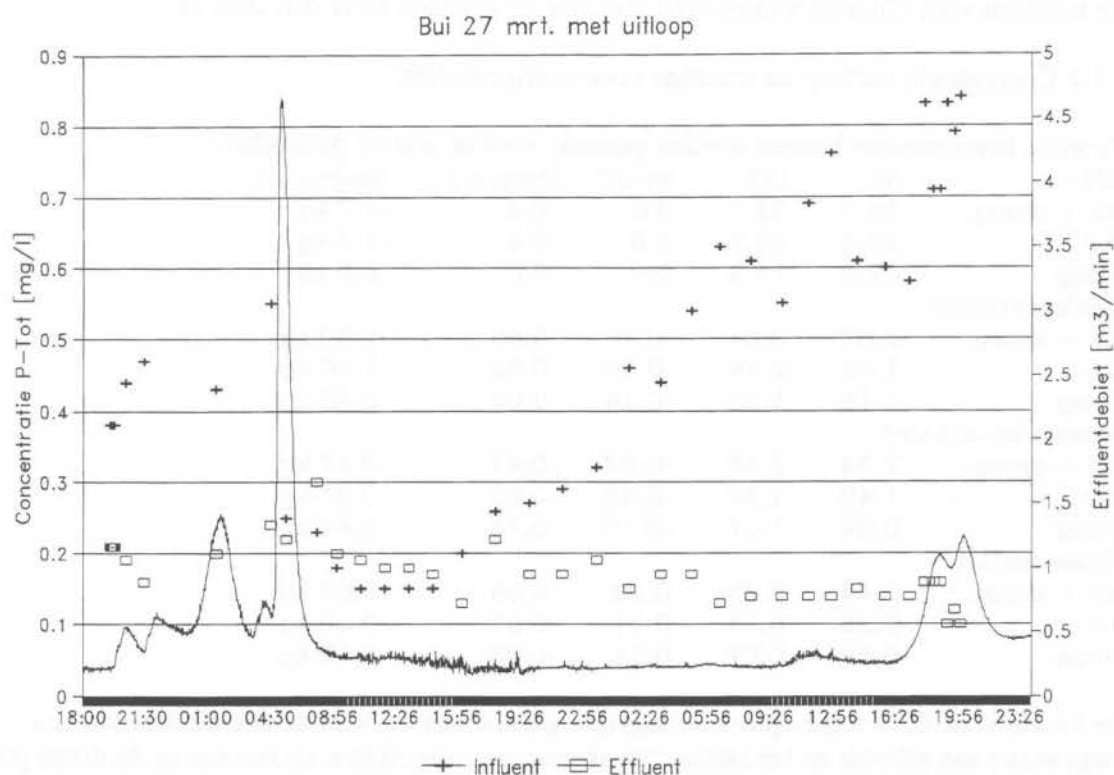
De balans voor CZV wijst op een belangrijke afname van CZV in de bak die kan worden toegewezen aan afbraak en bezinking. De afname is groter tijdens de bui dan in de droge periode erna, zowel in totaal als per eenheid van tijd. Dit is niet zoals verwacht, want tijdens de bui treden grotere snelheden op en is de verblijftijd in de bak kleiner en de oppervlaktebelasting groter. Dit zou tot minder afbraak en bezinking moeten leiden. Voor Kjeldahl-stikstof klopt de balans voor de hele periode goed, voor de bui en droge periode afzonderlijk niet. Er is een extra afname behalve de afname door een grotere uitstroom dan instroom. Voor ammonium wijken de balansen meer dan 20% af. Voor totaal-fosfaat volgt uit de balans dat er een duidelijke afname plaatsvindt in de bak.

Over het verloop van de concentraties van de verschillende stoffen tijdens de bui en de droge periode daarna kan tenslotte het volgende worden opgemerkt.

*CZV:* De concentratie in meetpunt I vertoont een drietal pieken, waarvan één hele hoge die direct na de afvoerpiek valt. Na de bui daalt de concentratie in meetpunt I volgens een e-macht en neemt vervolgens geleidelijk toe totdat de volgende bui begint. Bij het begin van de volgende bui treedt eerst een daling op in de concentratie in meetpunt I, gevolgd door een sterke stijging. De concentratie in meetpunt E neemt tijdens de bui zeer geleidelijk af en blijft vervolgens constant. Bij het begin van de volgende bui begint de concentratie in meetpunt E te schommelen.

*Kj-N:* De concentratie in meetpunt I daalt tijdens de bui volgens een e-macht, deze daling wordt onderbroken door een kleine piek die samenvalt met de afvoerpiek. Na de bui neemt de concentratie in meetpunt I lineair toe en lijkt zich na 24 uur te stabiliseren. Bij het begin van de volgende bui neemt de concentratie in meetpunt I sterk toe. De concentratie in meetpunt E volgt tijdens de bui precies het verloop van de concentratie in meetpunt I, met een constant verschil van 0,5 mg/l. Na de bui blijft de concentratie in meetpunt E constant, ook wanneer de volgende bui begint.

*NH<sub>4</sub>-N:* Het verloop van de ammoniumconcentraties is analoog aan dat van de Kjeldahl-stikstof. Alleen is de piek die samenvalt met de afvoerpiek hoger en de stijging na afloop van de bui is sterker en stabiliseert zich eerder. Het concentratie-verloop in meetpunt E is volledig vergelijkbaar, op het piekje tijdens de afvoerpiek na.



Figuur 7.5

*P-Tot*: De concentratie in meetpunt I neemt zeer sterk af in de afvoerpiek van de bui, daalt nog even verder, totdat de concentratie zich aan het eind van de bui stabiliseert. Kort daarna begint de concentratie in meetpunt I te stijgen en in deze stijging begint de concentratie steeds meer te schommelen. Deze schommeling blijft als de volgende bui begint. De concentratie in meetpunt E is veel lager dan de concentratie in meetpunt I en vertoont een piek kort na de afvoerpiek van de bui. Na afloop van de bui daalt de concentratie in meetpunt E heel licht; bij het begin van de volgende bui treedt een sterkere daling op.

### 7.1.3 Uitkomst van meting bui met aansluitende droge periode

Deze bemonstering over een bui met aansluitende droge periode heeft niet meer inzicht opgeleverd in de stofbalansen voor een regenbui. Wel lijken een aantal stoffen, chloride, Kjeldahl-stikstof en ammonium zich aan het eind van de bemonsterde periode naar een evenwicht toe te hebben bewogen waarin de concentraties in de meetpunten I en E aan elkaar gelijk zijn. Onverklaarbaar blijft de structureel hogere concentratie in meetpunt E voor deze stoffen tijdens en na de bui. CZV en totaal-fosfaat lijken zich naar een evenwicht toe te bewegen waarin er een duidelijke afname van de concentraties plaatsvindt tussen meetpunt I en E.

De resultaten van deze meting tonen duidelijk aan dat in de bak geen propstroom optreedt, want voor een aantal stoffen reageren de concentraties in meetpunt E direct of met een hele kleine vertraging op een verandering in de concentraties in meetpunt I.

De bak reageert niet als een ideale menger, want dan zou de chloridebalans moeten kloppen onder de aanname dat de voorraad in de bak gelijk is aan het volume van de bak vermenigvuldigd met de concentratie in meetpunt E, die dan de concentratie in de hele bak weergeeft. Bovendien is het moeilijk te verklaren dat de ene stof, Kjeldahl-stikstof, in meetpunt E direct reageert op elke

verandering in meetpunt I, terwijl de andere stof, chloride, met een belangrijke vertraging reageert en op sommige veranderingen niet reageert. Uit de meetresultaten blijkt duidelijk dat de concentraties van de gemeten stoffen in het water dat bij droog weer wordt afgevoerd aanzienlijk hoger zijn dan in de regenwaterafvoer. Het is daarbij opvallend dat de concentratie aan totaal-fosfaat in meetpunt I aan het eind van de droge periode een factor 4 hoger is dan in meetpunt E en al kort na het eind van de regenbui heel sterk begint te stijgen, waarbij deze stijging met sterke schommelingen gepaard gaat.

## 7.2 Meting in lange droge periode van droog weer

Meetresultaten in figuur 7.6 t/m 7.9

Teneinde meer inzicht te krijgen in de samenstelling van de afvoer bij droog weer is een tweede droogweermeting uitgevoerd. Aan deze meting ging een periode van 6 dagen droog weer vooraf, zodat de bak na de laatste regenbui in ieder geval één maal volledig is verversd. De meting besloeg een periode van 4 dagen, van 6 t/m 10 april. In deze periode is er 575 m<sup>3</sup> water door de bak gestroomd.

Het water dat gedurende een periode van droog weer door het stelsel stroomt, bestaat, mits de bak waterdicht is, uitsluitend uit drainagewater. Dit komt in het stelsel terecht via aansluitingen van het drainagesstelsel, dat een gedeelte van de wijk beslaat, op het regenwaterstelsel en via lekkende voegen tussen de oudere buizen in het stelsel.

Om het debiet gedurende deze meetperiode zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen, zijn twee van de drie effluentpijpjes afgestopt, zodat eventuele afwijkingen ten gevolge van een ongelijk uitstroomniveau van de verschillende pijpjes zijn uitgesloten.

Het gemeten debiet bedroeg 6,7 m<sup>3</sup>/uur, dit komt overeen met 160,8 m<sup>3</sup>/dag.

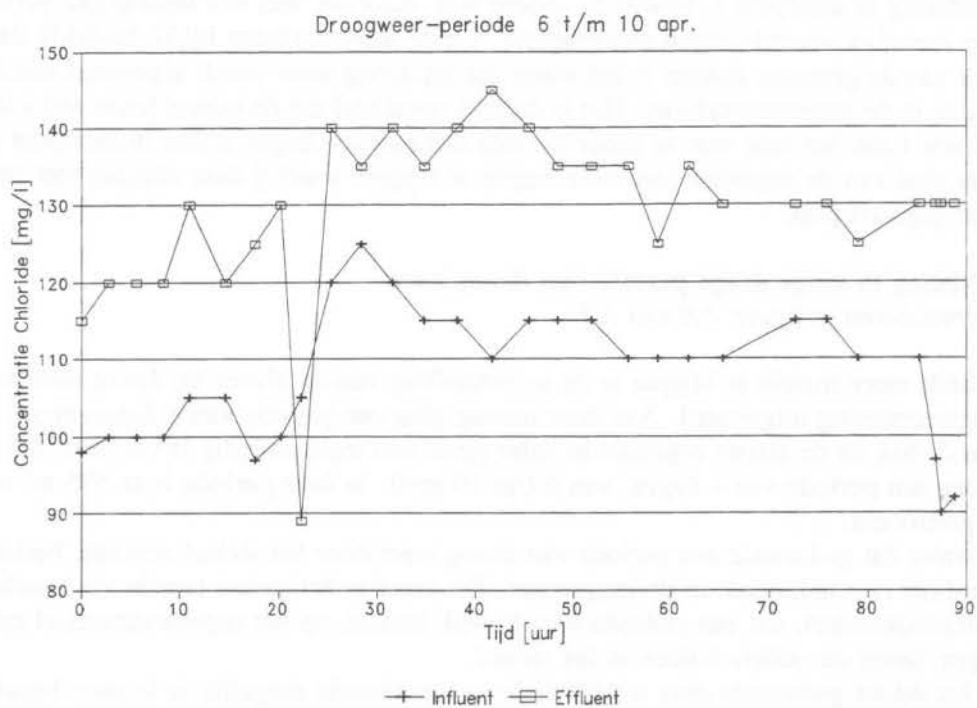
### 7.2.1 Concentraties en vrachten tijdens droog weer

De gemeten concentraties en de daaruit volgende vrachten zijn:

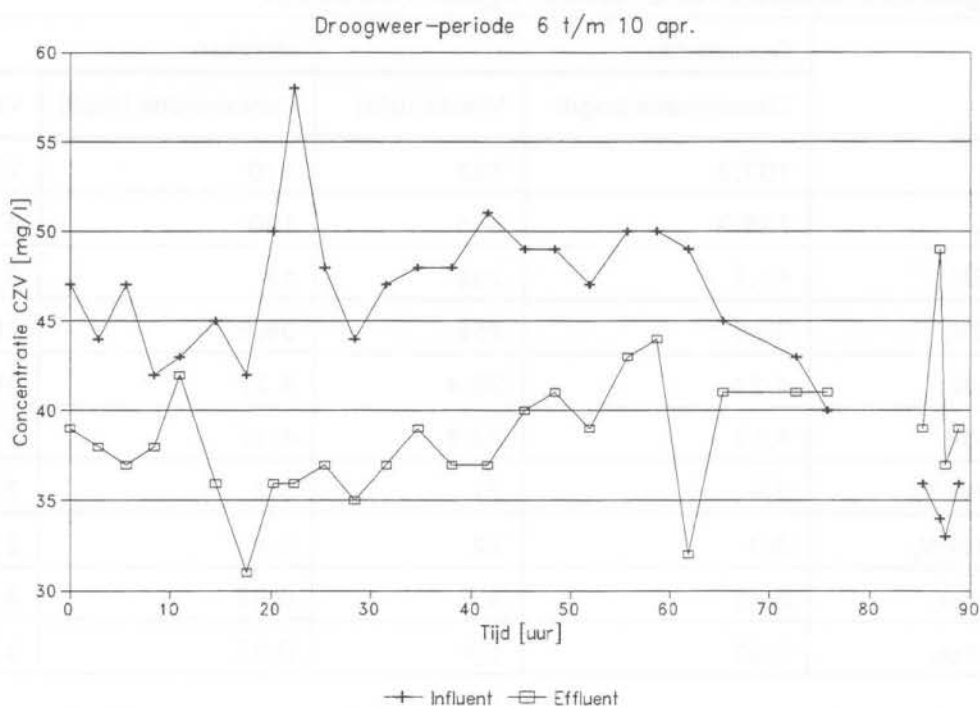
|                                 | Gemiddelde          |              | Mediaan             |              |
|---------------------------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
|                                 | Concentratie [mg/l] | Vracht [g/u] | Concentratie [mg/l] | Vracht [g/u] |
| Cl <sub>I</sub>                 | 107,9               | 723          | 110                 | 737          |
| Cl <sub>E</sub>                 | 129,3               | 866          | 130                 | 871          |
| CZV <sub>I</sub>                | 44,7                | 299          | 47                  | 315          |
| CZV <sub>E</sub>                | 38,6                | 259          | 38,5                | 258          |
| Kj-N <sub>I</sub>               | 4,24                | 28,4         | 4,21                | 28,2         |
| Kj-N <sub>E</sub>               | 4,17                | 27,9         | 4,17                | 27,9         |
| NH <sub>4</sub> -N <sub>I</sub> | 3,2                 | 21           | 3,2                 | 21           |
| NH <sub>4</sub> -N <sub>E</sub> | 3,3                 | 22           | 3,4                 | 23           |
| P-Tot <sub>I</sub>              | 0,71                | 4,8          | 0,67                | 4,5          |
| P-Tot <sub>E</sub>              | 0,22                | 1,5          | 0,22                | 1,5          |

De uitkomsten van de droogweermeting bevestigen de hoge concentraties in de droogweerafvoer die bij de eerste meting al werden geconstateerd. Dit wijst op een belangrijke vuilvracht naar de

# Ondergrondse geheimen Julianapark onder water



Figuur 7.6



Figuur 7.7

ontvangbak en naar het oppervlaktewater vanuit het drainagewater. De vracht vanuit het drainagewater is per tijdseenheid niet groot vergeleken met de vrachten tijdens een regenbui, doordat het debiet bij droog weer veel lager is. Maar de perioden van droog weer zijn over een maand of over een jaar genomen langer dan de perioden met neerslag. Bij kleine buien is de gemiddelde vracht per tijdseenheid enigszins groter dan die bij droog weer, bij grote buien is die 5 tot 10 x zo groot.

Gemiddeld is de tijdsduur gedurende welke er meetbare neerslag valt 548 uur per jaar. Dit betekent dat er gedurende 8212 uur per jaar geen meetbare neerslag valt. Deze cijfers zijn gemiddelden over de laatste 30 jaar. Het aandeel van de neerslaguren bedraagt dus 6%. Wanneer de vuilvracht gedurende de neerslaguren 10x zo groot is als gedurende droge uren, is de verhouding tussen buivracht en droogweer-vracht globaal 2 op 3. Wanneer de neerslagvracht 5x zo groot is, is deze verhouding 1 op 3. Deze verhoudingen komen voort uit zeer ruwe schattingen, maar geven wel aan dat de droogweer-vracht een belangrijk aandeel heeft in de totale vuilvracht.

### 7.2.2 Kanttekeningen bij concentratiegemiddelden

De eerste vraag die de resultaten van de droogweermeting oproepen is wat de oorzaak is van de hoge chlorideconcentratie in meetpunt E, die zelfs na een lange periode van droog weer nog 20% hoger is dan in meetpunt I. Daar chloride een conservatieve stof is die niet met andere stoffen reageert en niet aan slib hecht, moet in een evenwichtssituatie de hoeveelheid chloride die de bak in stroomt gelijk zijn aan de hoeveelheid die de bak uit stroomt.

Een mogelijk veronderstelling is dat er naast het influent nog een toestroming van chloride naar de bak is. Het niveau van het oppervlaktewater rondom de bak is bij droog weer steeds lager dan het waterniveau in de bak, zodat er hier vandaan geen toestroming kan plaatsvinden. Het grondwaterpeil in het omliggende gebied is globaal 0,5 m hoger dan het niveau in de bak, wat zijdelingse toestroming van grondwater tot gevolg zou kunnen hebben. Daarnaast is er in het gebied sprake van diepe kwel. De doorlatendheid van de bodem en de wanden van de bak is niet bekend. De bodem bestaat uit onderwaterbeton, waarvan mag worden aangenomen dat het waterdicht is. De voegen tussen de damwanden die de wanden van de bak vormen, zijn waarschijnlijk niet helemaal waterdicht en eveneens zou er water kunnen lekken via de aansluiting van de wanden op de bodem.

Teneinde de eventuele toestroming van chloride met het grondwater te kunnen kwantificeren, zijn een drietal peilfilters in de wijk Julianapark bemonsterd.

Chloridebalans voor de ontvangbak voor een droog weer situatie:

$$Q_{ef} = 6,7 \text{ m}^3/\text{uur}; C_{lin} = 110 \text{ mg/l}; C_{lef} = 130 \text{ mg/l}$$

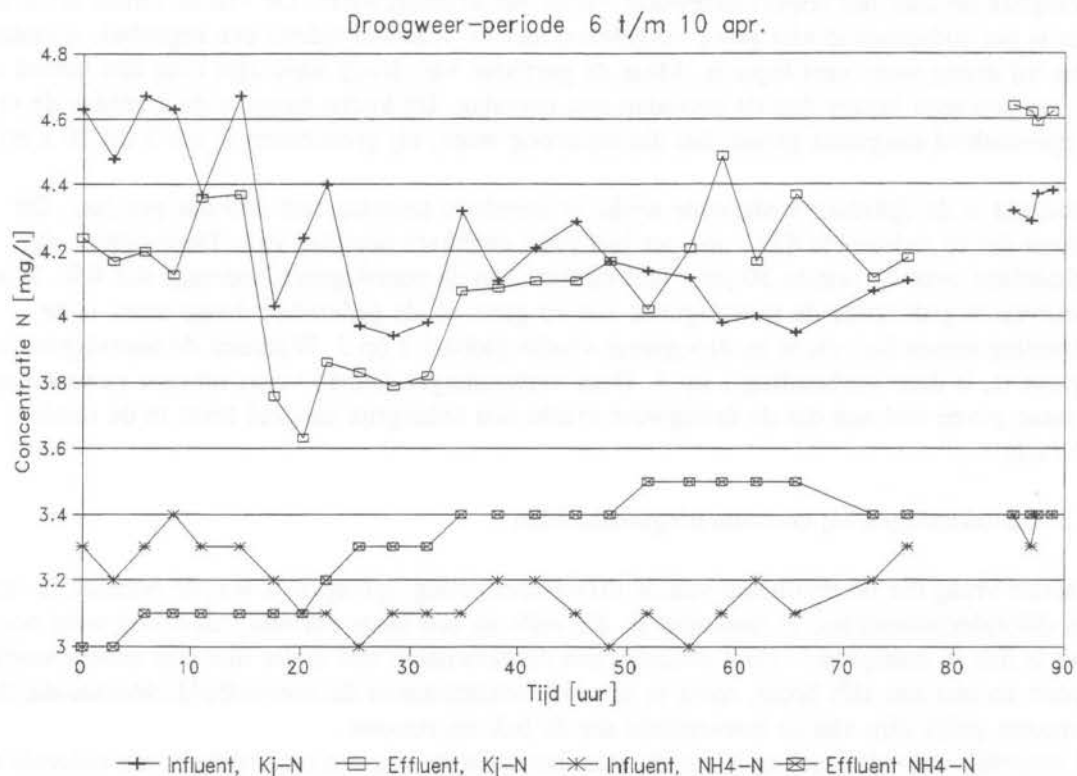
Er van uitgaande dat er sprake is van een evenwichtssituatie, wordt de berging op nul gesteld:

$$Q_{in} \cdot C_{lin} + Q_{extra} \cdot C_{lextra} = Q_{ef} \cdot C_{lef} \quad (1)$$

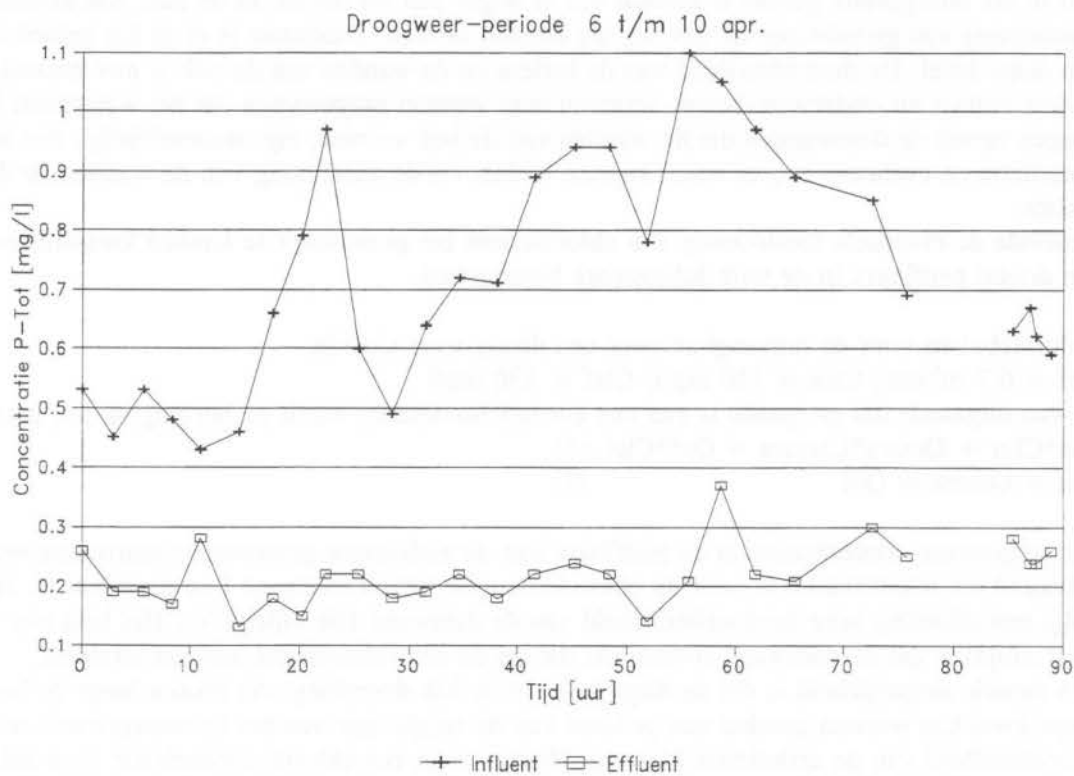
$$Q_{in} + Q_{extra} = Q_{ef} \quad (2)$$

Uit de gemeten concentraties in de peilfilters kan de zijdelingse grondwatertoestroming worden berekend die noodzakelijk is voor de chloridetoename tussen meetpunt I en meetpunt E. Hieruit volgt een schatting voor de doorlatendheid van de damwand (zie bijlage V). Het lijkt niet waarschijnlijk dat de damwand zoveel lekt dat dit de chloridetoename kan veroorzaken.

Een tweede mogelijkheid is dat de diepe kwel in de bak doordringt via lekken langs de bodem. De diepe kwel kan worden geschat aan de hand van de stijghoogte van het spanningswater en de doorlatendheid van de afsluitende kleilaag. Hieruit volgt een chlorideconcentratie voor het kwelwater die de chloridetoename kan veroorzaken. Dez concentratie zou daarvoor zo hoog moeten zijn, dat kwel evenmin de bron van de chloridetoename lijkt te kunnen zijn (zie bijlage V).



Figuur 7.8



Figuur 7.9



De CZV-concentratie neemt in deze droogweersituatie gemiddeld af met 18% tussen meetpunt I en E. Deze afname kan een gevolg zijn van afbraak- en bezinkingsprocessen. De concentratie Kjeldahl-stikstof neemt af met 1%, een verschil dat binnen de marge van onnauwkeurigheid van de meting valt, dus de concentratie in meetpunt I en E is gelijk. Hetzelfde geldt voor ammonium; hier is een toename van 6% tussen meetpunt I en E en ook dit valt binnen de onnauwkeurigheid van de bepaling. De concentratie totaal-fosfaat neemt tussen meetpunt I en E af met 70%. Fosfaathecht zeer sterk aan slib, om deze reden zijn bezinkingsprocessen waarschijnlijk voor deze afname verantwoordelijk.

### 7.2.3 Opmerkingen naar aanleiding van concentratie-variaties

De concentraties in de droogweerafvoer zijn niet constant, maar vertonen schommelingen en stijgende en dalende trends. De chlorideconcentraties fluctueren met 5 mg/l rond een evenwichtswaarde. Deze fluctuaties kunnen niet voortkomen uit meetonnauwkeurigheden, want de chloridebepaling is zeer nauwkeurig. Dit duidt op een kinetiek in het concentratieverloop, waaraan één of ander proces ten grondslag moet liggen. De tijdsconstante in deze kinetiek is in de meetpunten I en E drie uur. Als de bak zich zou gedragen als een ideale menger, zouden de concentratievariaties in meetpunt E een tijdsconstante moeten hebben die overeenkomt met de verblijftijd in de bak, dit is zo'n 100 uur bij droog weer. De kinetiek zou zich dus alleen kunnen voordoen bij een ideaal propstroom-gedrag. Daarnaast vertoont de chlorideconcentratie een stijgende trend gedurende de eerste periode van de meting, de eerste 30 uur in meetpunt I en de eerste 40 uur in meetpunt E, alvorens zich te stabiliseren. Deze stijging zou erop kunnen duiden dat de concentraties zich nog naar een droogweerevenwicht toe aan het bewegen zijn op het moment dat de meting begint. De trend treedt gelijktijdig op in meetpunt I en meetpunt E, wat moet wijzen op een volledig gemengd gedrag van de bak. De waargenomen kinetiek in het concentratie-verloop is dan niet meer te verklaren.

De CZV-concentraties geven eveneens een stijgende trend te zien, wat pleit voor de aanname dat zich pas in de loop van de meetperiode aan droogweerevenwicht instelt. De CZV-concentraties schommelen minder sterk dan de chlorideconcentraties, op een paar uitschieters na. De onnauwkeurigheid in de CZV-bepaling is groter en het is daarom nog waarschijnlijker dat de schommelingen duiden op een proces dat zich afspeelt.

In het verloop van de Kjeldahl-stikstofconcentratie zijn opnieuw duidelijke schommelingen zichtbaar, maar deze kunnen voor een deel een gevolg zijn van onnauwkeurigheden in de bepaling. Het concentratieverloop geeft, in tegenstelling tot dat van CZV en chloride, een dalende trend in de tijd te zien. Dit zou moeten betekenen dat de Kjeldahl-stikstofconcentratie in de voorafgaande periode tot boven de droogweer-evenwichtconcentratie is toegenomen.

Bij de bepaling van ammonium vindt een sterke afronding plaats, daardoor is het moeilijk na te gaan of er sprake is van schommelingen of trends, of van schijnbare variaties die uit sprongen ten gevolge van afrondingen voortkomen. Het lijkt erop dat de ammoniumconcentratie in meetpunt I licht daalt en in meetpunt E licht stijgt in de loop van de tijd.

De concentraties aan totaal-fosfaat geven opnieuw fluctuaties te zien, met name in meetpunt I. De schommelingen in meetpunt E zijn ten opzichte van die in meetpunt I te verwaarlozen. De concentratie in meetpunt E blijft gedurende de hele meetperiode constant, de concentratie in meetpunt I vertoont een sterke stijgende trend, die zich in de loop van de meetperiode niet stabiliseert.

De tweede droogweermeting heeft geen oplossing gebracht voor het kloppend maken van de chloridebalans. De balans voor CZV en totaal-fosfaat geeft aan dat er een afname plaatsvindt van

deze stoffen in de bak. Deze afname kan worden toegeschreven aan afbraak- en bezinkingsprocessen. De balans voor Kjeldahl-stikstof klopt in de droogweersituatie, die voor ammonium niet.

#### 7.2.4 Uitkomst van droogweer-meting

De resultaten van deze droogweermeting roepen bovendien nieuwe vragen op. Het concentratieverloop van bijna alle stoffen vertoont sterke fluctuaties, hetzij alleen in meetpunt I, hetzij in meetpunt I en E. Aan de schommelingen in meetpunt I kunnen allerlei processen in het stelsel ten grondslag liggen, die moeilijk te achterhalen zijn. De schommelingen in meetpunt E kunnen alleen worden veroorzaakt door variaties in meetpunt I of door interne processen in de bak. Het is waarschijnlijk dat interne processen bijdragen aan de waargenomen kinetiek, maar met de nu bekende gegevens is deze bijdrage niet te verklaren.

De resultaten van de metingen die tot op dit punt zijn uitgevoerd, roepen veel vragen op omtrent de processen die zich in de bak afspelen. De resultaten tonen aan dat de bak niet reageert als een ideale menger, maar evenmin als een ideale propstroomreactor. Met deze gegevens is het niet mogelijk om een bevredigend model op te stellen voor het gedrag van de ontvangbak. Het is waarschijnlijk dat de onverwachte en onverklaarbare resultaten en uitkomsten hun oorzaak vinden in een interne structuur van de watermassa in de ontvangbak. Er kan sprake zijn van kortsluitstromen in verticale richting die het gevolg kunnen zijn van dichtheidsverschillen. Er kunnen kortsluitstromen in horizontale richting ontstaan door de aanstroming vanuit het stelsel onder  $90^\circ$  met de lengterichting van de bak. Deze loodrechte aanstroming kan horizontale neren tot gevolg hebben of resulteren in een soort meanderende stroom door de bak heen.

Op basis van de bestaande gegevens zijn niet meer dan speculaties en fantasieën mogelijk over de stromingsprocessen in de bak. Er zijn aanvullende metingen noodzakelijk, op meerdere plaatsen en op meerdere diepten in de bak, om enig uitsluitsel te krijgen over de interne structuur van de watermassa en de interne stromingen die hiervan het gevolg kunnen zijn.

## 8. INTERNE STRUCTUUR VAN DE WATERMASSA IN DE ONTVANGBAK

Teneinde meer begrip te krijgen van de interne stromingsprocessen in de ontvangbak, is besloten om in de bak op een aantal plaatsen in lengte-, breedte- en diepterichting metingen uit te voeren van geleidbaarheid, temperatuur en zuurstof. De geleidbaarheid is een maat voor het aantal vrije ionen dat zich in het water bevindt. Gezien de hoge concentraties aan chloride die in de ontvangbak in het Julianapark worden gemeten, zal chloride een belangrijke bijdrage in de geleidbaarheid leveren. Andere ionen zoals sulfaat, natrium, kalium en ammonium spelen eveneens een rol. De eerste serie metingen vond plaats op 11 juli '95 en betrof een droogweersituatie. De laatste neerslag is gevallen tijdens een onweersbui op 9 juli om 4.00 u 's morgens. Sindsdien is de bak ongeveer 1x ververs met drainagewater. De tweede serie metingen vond plaats op 14 juli, kort na afloop van een hevige onweersbui in de vroege ochtend van dezelfde dag. Tijdens deze bui is er ruim 20 mm neerslag gevallen, wat resulteerde in een afvoervolume van ruim 2x het volume van de ontvangbak.

### 8.1 Uitkomst meetsessies: gelaagdheid in de bak

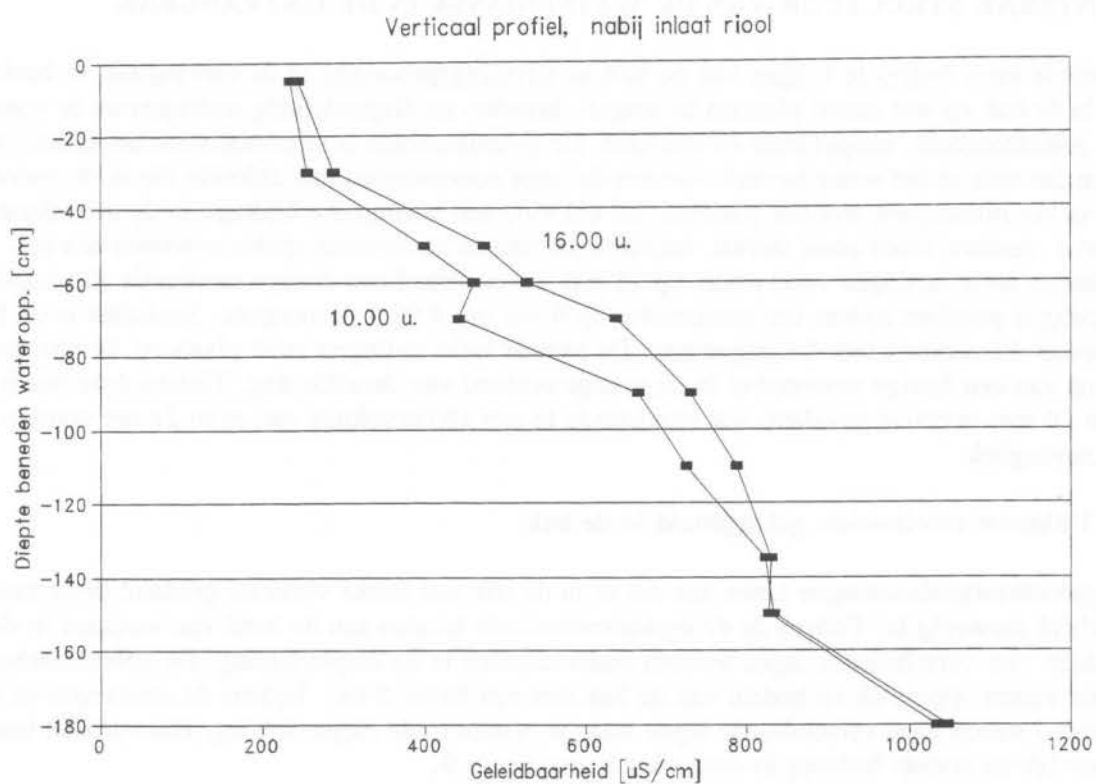
De geleidbaarheidsmetingen tonen aan dat er in de bak een sterke verticale gradiënt in de geleidbaarheid aanwezig is. Tijdens de droogweermeetessie konden aan de hand van variaties in deze gradiënt vier verschillende lagen worden onderscheiden in de diepterichting. De geleidbaarheid neemt tussen oppervlak en bodem van de bak met een factor 5 toe. Tijdens de meetessie na de regenbui waren twee verschillende lagen waar te nemen in de diepterichting. Het verschil tussen oppervlak en bodem bedroeg in deze situatie een factor 9.

### 8.2 Droogweer-meetessie

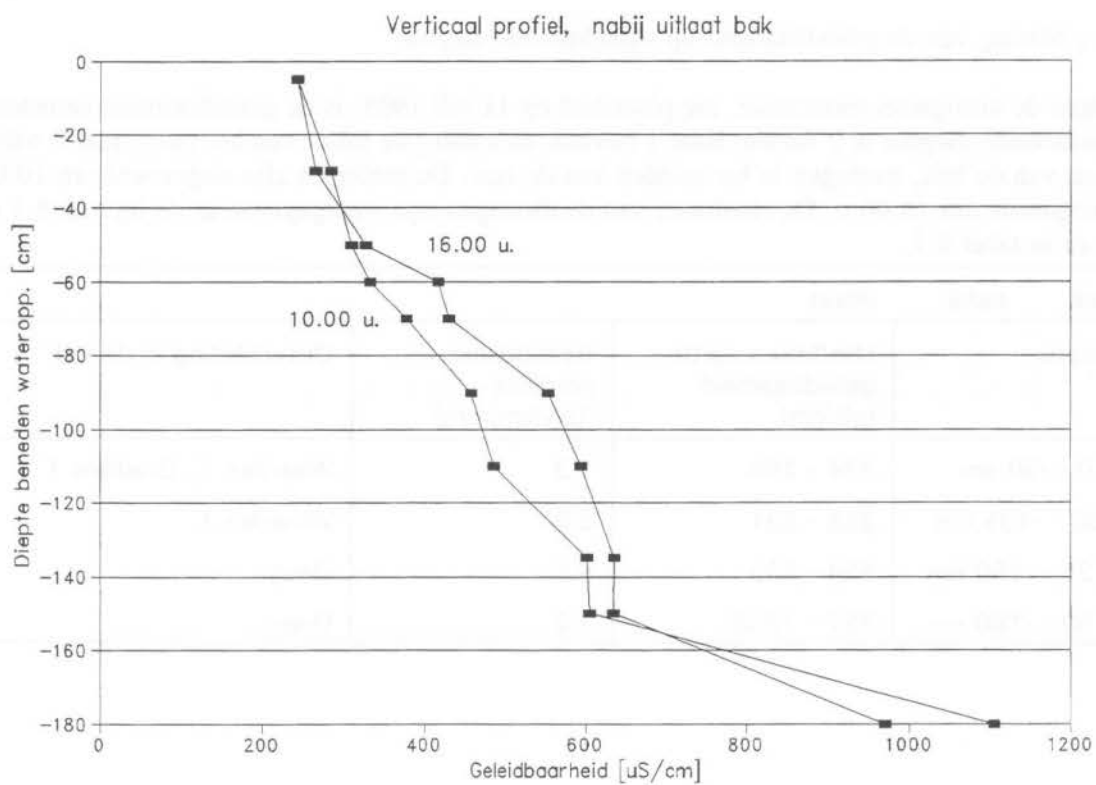
#### 8.2.1 Meting van de geleidbaarheid op verschillende diepten

Tijdens de droogweer-meetessie, die plaatshad op 11 juli 1995, is de geleidbaarheid gemeten op verschillende diepten in 2 raaien. Raai 1 bevindt zich nabij de inlaat van het riool, raai 2 nabij de uitlaat van de bak, metingen in het midden van de raai. De metingen zijn uitgevoerd om 10.00 u en nogmaals om 16.00 u. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in de figuren 8.1 en 8.2 en in tabel 8.1.

| Raai           | nabij                                                     | inlaat                                                      |                                          |  |
|----------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--|
| Diepte         | Min/Max waarde geleidbaarheid [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | Gemiddelde gradiënt [ $(\mu\text{S}/\text{cm})/\text{cm}$ ] | Ontwikkeling in de tijd                  |  |
| 0 - -30 cm     | 234 - 286                                                 | 1,2                                                         | Waarden $\uparrow$ , Gradiënt $\uparrow$ |  |
| - 30 - -135 cm | 255 - 831                                                 | 5,6                                                         | Waarden $\uparrow$                       |  |
| -135 - -150 cm | 824 - 833                                                 | 0,0                                                         | Geen                                     |  |
| -150 - -180 cm | 827 - 1046                                                | 7,0                                                         | Geen                                     |  |



Figuur 8.1



Figuur 8.2

| Raai           | nabij      | uitlaat |                       |
|----------------|------------|---------|-----------------------|
| 0 - -50 cm     | 234 - 324  | 1,2     | Gradiënt ↓            |
| - 50 - -135 cm | 308 - 634  | 3,8     | Waarden ↑, Gradiënt ↓ |
| -135 - -150 cm | 602 - 634  | 0,0     | Waarden ↑             |
| -150 - -180 cm | 604 - 1105 | 14,0    | Waarden ↓, Gradiënt ↓ |

Tabel 8.1 Resultaten droogweer-meetsessie

(1) Nabij het wateroppervlak bevindt zich een laag waarin de geleidbaarheid slechts licht toeneemt met de diepte en licht toeneemt met de tijd. De laag is dikker nabij de uitlaat van de bak dan nabij de inlaat (zie figuur en tabel).

(2) Onder deze laag met een lage geleidbaarheid bevindt zich een laag waarin de geleidbaarheid sterk toeneemt met de diepte. Deze laag loopt tot -135 cm, bij de inlaat zowel als bij de uitlaat. De gradiënt is in deze laag sterker bij de inlaat dan bij de uitlaat en loopt daar naar een hogere waarde toe (zie figuur en tabel).

(3) Er bevindt zich een laag tussen -135 cm en -150 cm waarin de geleidbaarheid constant blijft met de diepte, in raai 1 zowel als in raai 2. De bovenkant van deze laag ligt op ongeveer dezelfde hoogte als de binnenonderkant buis van de uitlaatbuis van het regenwaterstelsel.

(4) Beneden -150 cm bevindt zich een laag waarin de geleidbaarheid sterk toeneemt met de diepte, nabij de inlaat en nabij de uitlaat. De hoogste geleidbaarheid onderin deze laag is groter dan de geleidbaarheid van het water dat tijdens deze meetsessie uit het stelsel stroomt.

(5) Tijdreeksen: Op -30, -50, -70, -90, -110 cm is de geleidbaarheid gedurende enkele minuten om de paar seconden gemeten. Deze tijdreeksen geven een beeld van de waterbeweging die op een bepaalde diepte plaatsvindt, terwijl er tegelijk verschillen in de samenstelling van het water aanwezig zijn op korte afstand. Er zijn trends waarneembaar in de tijd op de diepten -70, -90 en -110 cm, wat betekent dat zich op deze diepten stromingen voordoen gecombineerd met variaties in de geleidbaarheid.

De bovenste laag met een constante, lage geleidbaarheid (1), ontstaat waarschijnlijk door intensieve menging als gevolg van de wind die langs het oppervlak strijkt. De laag is dikker nabij de uitlaat, doordat het water hier meer tijd heeft gehad om onder de windinvloed te mengen.

Het ontstaan van de tweede laag met een sterke gradiënt (2), kan worden verklaard uit de instroming van water met een hoge geleidbaarheid vanuit de inlaat. Dit water mengt deels met het aanwezige water met een lagere geleidbaarheid en duwt het gedeeltelijk weg. De snelheden die bij droog weer in de bak optreden zijn laag, 0,2 - 2 mm/s, zodat het mengproces zeer traag zal verlopen.

De gradiënt in deze laag kan ontstaan doordat het water uit het riool zich het eerst op grotere diepte verspreidt, onder de lagen met een lagere geleidbaarheid door, en in tweede instantie in verticale richting opdringt. Dit proces hoeft zich niet strikt in horizontale en verticale richting af te spelen, maar zou zich ook als een soort golfbeweging kunnen uitbreiden. Een andere mogelijkheid is dat het water al met een sterke gradiënt uit het riool komt. Deze gradiënt beweegt zich als zodanig door de bak en mengt alleen aan de boven- en onderzijde iets op.

De derde laag begint op dezelfde hoogte als waar zich de onderkant van de regenwateruitlaat bevindt (3). Dit kan erop duiden dat het rioolwater met de hoogste geleidbaarheid, en dus de hoogste dichtheid, zich vermengt met het water in deze laag. Het water komt met een lage voorwaartse snelheid uit het riool en kan door het dichtheidsverschil met het water in de bak op



die hoogte, een neerwaartse snelheid krijgen. Dit leidt tot een mengproces in de laag direct beneden de onderkant van de riooluitlaat, dat zich tot op 15 cm beneden de onderkant van de buis uitstrekt. Dit mengproces resulteert in een homogene laag met een constante geleidbaarheid. De homogene laag bevindt zich op precies dezelfde diepte en met dezelfde dikte over de hele lengterichting van de bak. Dit betekent dat de drijvende kracht voor de menging, of die nu wordt gedomineerd door horizontale stroming of door verticale dichtheidsverschillen niet verder reikt dan de directe omgeving van de inlaat. De menging in deze laag is bij de inlaat voltooid en blijft in stand terwijl het water zich naar het andere uiteinde van de bak verplaatst.

In de onderste laag (4) is een zeer sterke gradiënt in de geleidbaarheid aanwezig. De zeer hoge geleidbaarheid van het water onderin deze laag geeft aan dat dit water niet tijdens de huidige droogweperperiode uit het riool kan zijn gekomen. De geleidbaarheid van het rioolwater is hiervoor te laag. Dit water moet hier terecht zijn gekomen in een periode waarin water met een zeer hoge geleidbaarheid de bak binnenstroomde. Sindsdien heeft het zich niet meer gemengd met instromend regenwater. Kennelijk blijft dit water hier voor lange tijd onveranderd liggen zonder in contact te komen met water met een lagere geleidbaarheid.

De tijdreeksen-bepaling gaf trends te zien in de tijd op de diepten van -70 tot -110 cm. Deze trends lijken te kunnen worden verklaard uit de sterke gradiënt die op deze diepten aanwezig is, in combinatie met het vers instromende water vanuit het riool, dat op deze diepte binnenkomt. Het instromende water kan golfbewegingen veroorzaken van water met een hogere geleidbaarheid of fronten die zich horizontaal of verticaal voortbewegen en water met een lagere geleidbaarheid vooruit of omhoog duwen. Enerzijds leiden dergelijke processen tot het ontstaan van een verticale gradiënt, anderzijds leidt de gradiënt zelf tot stromingen als gevolg van de aanwezige dichtheidsverschillen.

#### 8.2.2 Metingen in de dwarsrichting van de ontvangbak

De geleidbaarheid is in de raai voorin en achterin de bak gemeten op drie plaatsen in de dwarsrichting, aan beide zijanten en in het midden, om variaties in de geleidbaarheid in deze richting na te gaan. De metingen vonden plaats op drie verschillende diepten en op twee tijdstippen, om 10.00 u en om 16.00 u.

De resultaten van deze metingen zijn als volgt:

- (1) Aan het oppervlak varieert de geleidbaarheid in de breedte met slechts enkele procenten.
- (2) Op 60 cm beneden het wateroppervlak is achterin de bak de geleidbaarheid duidelijk hoger aan de overkant van de bak; voorin de bak is er eveneens een duidelijke variatie in de geleidbaarheid met de breedte. De variatie voorin de bak bedraagt 30 tot 50%, achterin slechts 5 à 10%.
- (3) Op 135 cm beneden het wateroppervlak varieert de geleidbaarheid wederom slechts 5 à 10%.
- (4) In de raai nabij de uitlaat zijn naast geleidbaarheid ook zuurstof en temperatuur gemeten op de drie plaatsen in de dwarsrichting en op drie diepten. Noch het zuurstofgehalte noch de temperatuur geven een variatie te zien in de dwarsrichting van de bak.

De kleine verschillen in de geleidbaarheid met de breedte die optreden aan het oppervlak duiden op een goede menging in de bovenlaag over de breedte. De variaties in de laag hieronder geven aan dat er op deze diepte geen homogene menging plaatsvindt in de dwarsrichting. In de middenlaag treden waarschijnlijk naast stromingen ten gevolge van verticale dichtheidsverschillen, stromingen op in de dwarsrichting. Deze stromingen zijn het sterkst dichtbij de inlaat. De variaties in de middenlaag zijn waarschijnlijk enerzijds het gevolg van de sterke gradiënt in de geleidbaarheid in de middenlaag, die van plaats tot plaats in steilheid kan verschillen, anderzijds van de



instroming vanuit het riool, die horizontale neren zou kunnen veroorzaken.

In de laag rond -135 cm treedt, gezien de variaties, enige waterbeweging op, zij het veel minder dan in de laag erboven.

De variaties die optreden in de dwarsrichting van de bak zijn vele malen kleiner dan in de diepterichting. De invloed van de gelaagdheid met de diepte op de stromingsprocessen in de bak zal daardoor overheersen. Het is zelfs de vraag of de variaties in de dwarsrichting aanleiding kunnen zijn tot het ontstaan van stromingen, of dat ze alleen maar aanwezig zijn in afhankelijkheid van andere processen.

### 8.2.3 Aanvullende metingen

#### a) Metingen in de drie effluentpijpjes

Er zijn tijdreeksen bepaald van de geleidbaarheid in de drie effluentpijpjes, gedurende drie minuten is er elke 30 seconden een waarneming gedaan. De gemiddelden van deze waarnemingen zijn weergegeven in tabel 8.2.

| Effluentpijpje:         | Gemiddelde geleidbaarheid [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | Ontwikkeling in de tijd: |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1, verst van de oever   | 273,9                                                 | Constant                 |
| 2, midden               | 275,7                                                 | Dalende trend            |
| 3, dichtst bij de oever | 250,0                                                 | Stijgende trend          |

Tabel 8.2 Gemiddelde geleidbaarheid in de drie effluentpijpjes

De gemiddelde geleidbaarheid in pijpje 3 is duidelijk lager dan in de andere twee, de afwijking bedraagt 9 %. Vanwege deze de waargenomen verschillen kan de geleidbaarheid in één pijpje niet als representatief worden beschouwd voor de geleidbaarheid van de totale effluentstroom.

#### b) Metingen in de lengterichting van de ontvangbak

Voor een globale indruk van de verschillen die optreden in de eigenschappen van het water in de lengterichting van de bak, zijn op vier plaatsen langs de lengte-as, aan de walkant, metingen gedaan van geleidbaarheid, zuurstof en temperatuur, op twee verschillende diepten. De metingen zijn één maal uitgevoerd, om 10.00 u.

De geleidbaarheid daalt aan het oppervlak in het eerste gedeelte van de bak en blijft daarna ongeveer constant. Op -135 cm treedt een duidelijke daling op in de lengterichting van de bak. Het zuurstofgehalte neemt aan het oppervlak toe in het eerste gedeelte van de bak en blijft daarna min of meer constant; op -135 cm neemt het zuurstofgehalte in de lengterichting van de bak af. De variaties in het zuurstofgehalte in de lengterichting van de bak zijn klein ten opzichte van de verschillen die optreden met de diepte.

De temperatuur is aan het oppervlak over de gehele lengte van de bak constant, op 135 cm diepte neemt de temperatuur in de lengterichting met ongeveer 1°C af.

#### c) Meting van het rioolwater

Het rioolwater dat de bak binnenstroomt is aan het begin en aan het eind van de dag bemonsterd met behulp van de monsternamen-apparatuur van het meetproject.

### *Ondergrondse geheimen Julianapark boven water*

Het zuurstofgehalte en de temperatuur zijn aan het eind van de dag duidelijk hoger dan aan het begin van de dag; de geleidbaarheid is met 25% gedaald.

De onverwacht grote verschillen in zuurstofgehalte en temperatuur tussen het begin en het einde van de dag en de evenzeer onverwachte daling in de geleidbaarheid zijn aanleiding om aan het eind van de dag na 20 minuten nogmaals een meting te doen. Het zuurstofgehalte bleek in deze 20 minuten ruim 25% gestegen, de temperatuur 0,7°C; de geleidbaarheid bleek verder gedaald.

Het rioolwater bestaat na drie dagen droog weer uit drainagewater en eventueel uit water van één of meer foute aansluitingen of lozingen die op een andere manier plaatsvinden. De gevonden verschillen duiden op een belangrijke extra watertoevoer naar het riool. Deze toevoer is niet van belang voor de processen in de bak, maar bemoeilijkt wel het begrip hiervan, doordat de invoer onbekende en onvoorspelbare variaties vertoont.

#### d) Meting in het oppervlaktewater van de vijver

In de loop van de middag is er een meting verricht in het oppervlaktewater, aan het oppervlak: het zuurstofgehalte bedraagt 21 mg/l, wat duidt op de aanwezigheid van veel algen, de temperatuur is 30°C, de geleidbaarheid is 1604  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , bijna 7 maal zo hoog als binnen de bak aan het oppervlak en 1,5 zo hoog als het instromend drainagewater.

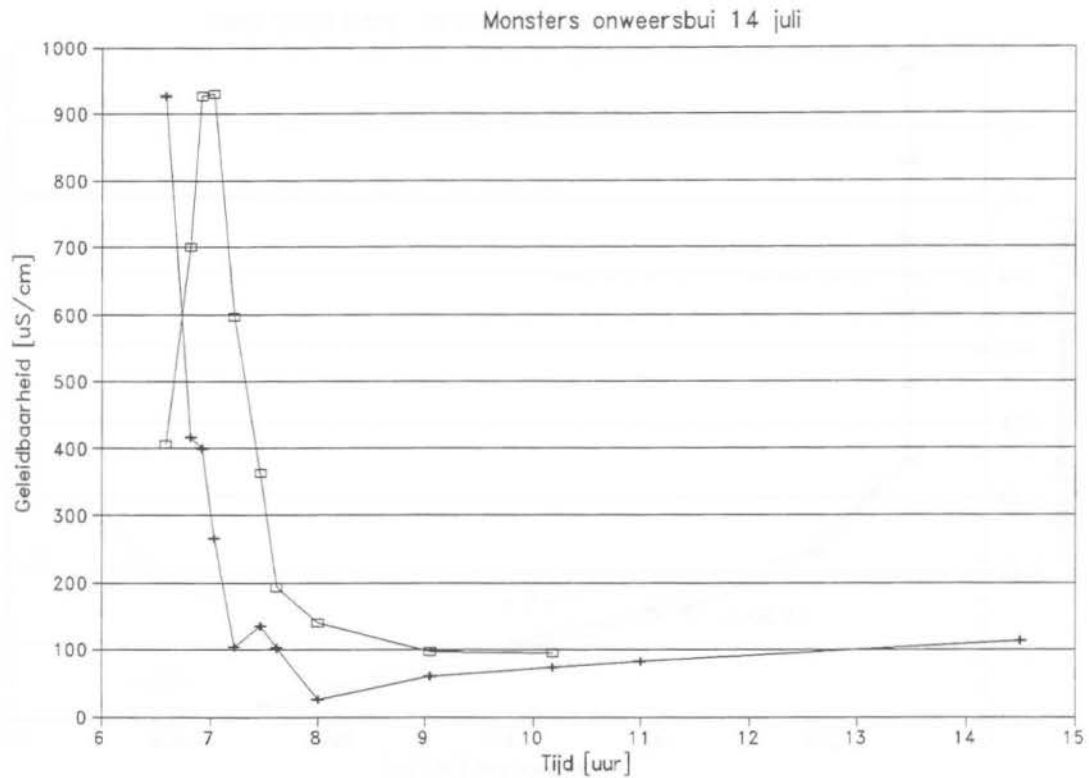
### **8.3 Meet sessie na onweersbui**

#### 8.3.1 Meting van de buimonsters

Tijdens de onweersbui van 14 juli 1995 heeft de bemonsteringsapparatuur 10 keer een influent- en een effluentmonster genomen. De geleidbaarheid van deze monsters is gemeten. Om 11.00 u en om 14.30 u is een extra monster van het rioolwater genomen om de geleidbaarheid daarvan te bepalen. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in de figuren 8.3 t/m 8.5 en in tabel 8.3 en 8.4.

| Tijdstip van monsternamen | Influent | Effluent |
|---------------------------|----------|----------|
| 6.35 u                    | 927      | 405      |
| 6.49 u                    | 415      | 700      |
| 6.55 u                    | 400      | 927      |
| 7.02 u                    | 265      | 929      |
| 7.14 u                    | 104      | 596      |
| 7.29 u                    | 134      | 363      |
| 7.38 u                    | 102      | 193      |
| 8.00 u                    | 58       | 139      |
| 9.03 u                    | 61       | 97       |
| 10.11 u                   | 74       | 95       |
| 11.00 u                   | 82       |          |
| 14.30 u                   | 114      |          |

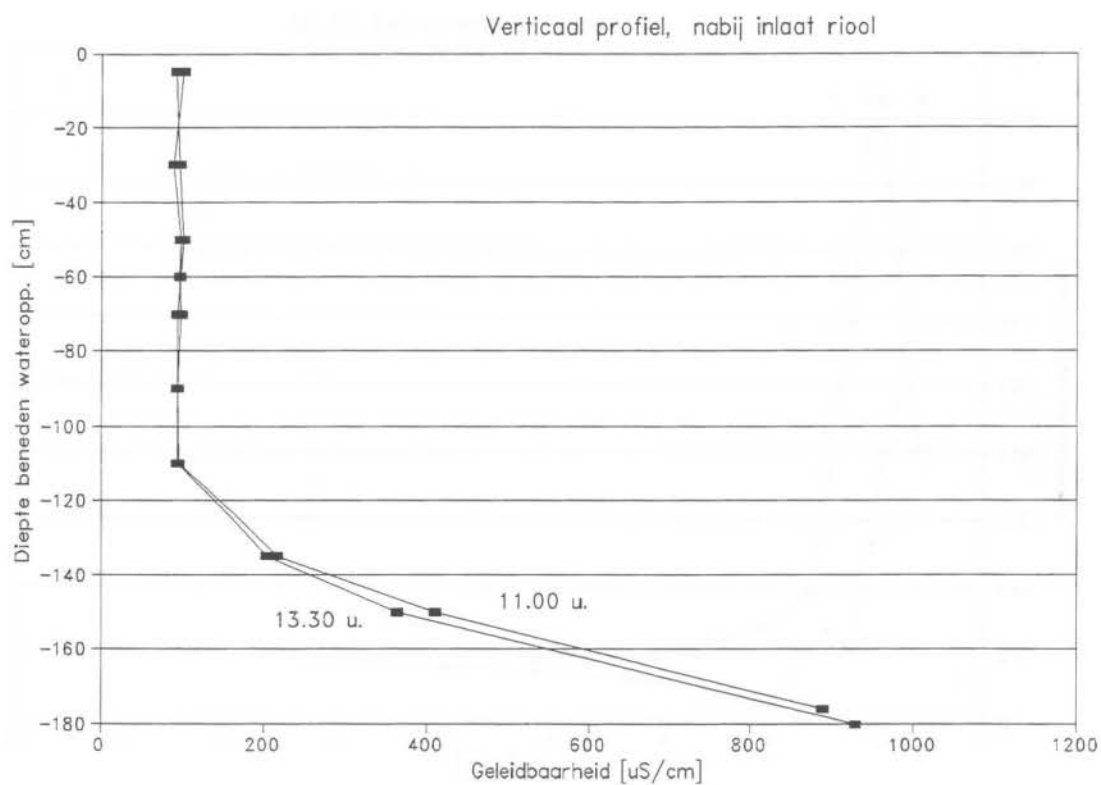
*Tabel 8.3 Geleidbaarheid van de buimonsters*



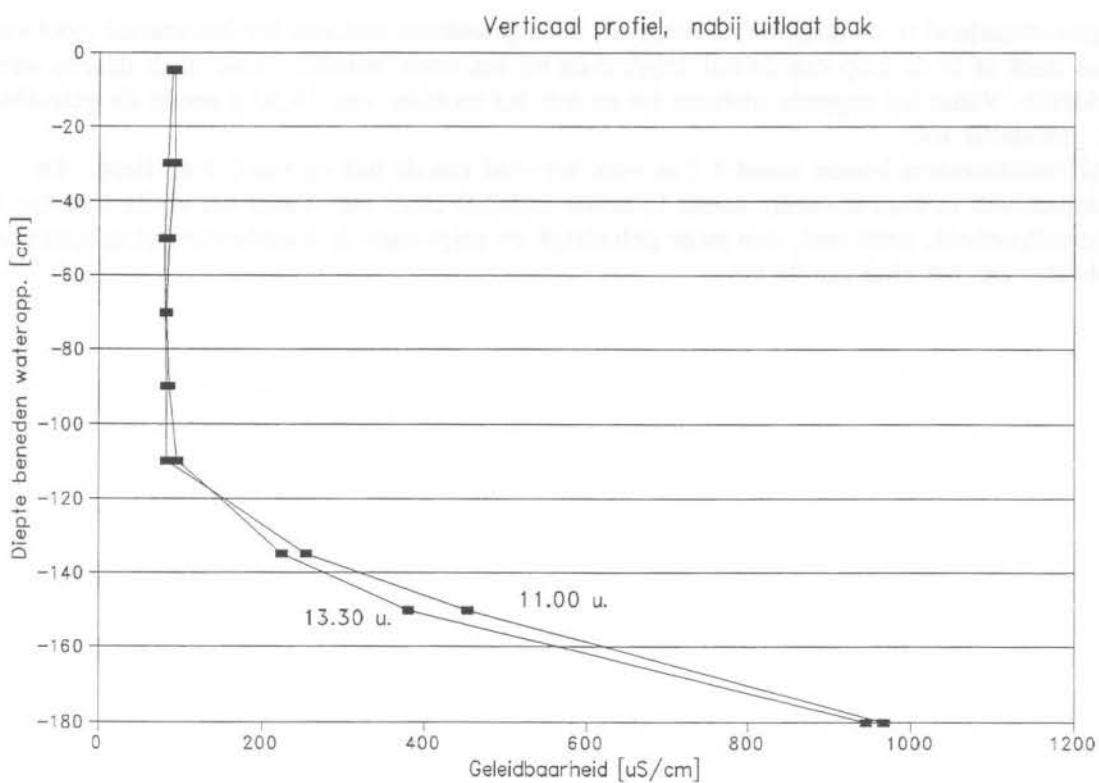
Figuur 8.3

De geleidbaarheid in de influentmonsters, dit is de geleidbaarheid van het inkomende rioolwater, neemt sterk af in de loop van de bui, stijgt even bij het zesde monster, maar daalt daarna weer geleidelijk. Vanaf het negende monster tot en met het monster van 14.30 u neemt de geleidbaarheid geleidelijk toe.

De effluentmonsters komen vanaf 4,5 m voor het eind van de bak en van 0,5 m diepte. De geleidbaarheid in deze monsters neemt in eerste instantie sterk toe. Vanaf het vijfde monster daalt de geleidbaarheid, eerst snel, dan meer geleidelijk en neigt naar de waarde van het inkomende rioolwater aan het eind van de bui.



Figuur 8.4



Figuur 8.5

## 8.3.2 Meting van de geleidbaarheid op verschillende diepten

De meting had plaats in dezelfde twee raaien als tijdens de droogweermetsessie, op dezelfde plaats. De metingen zijn uitgevoerd om 11.00 u en nogmaals om 13.30 u.

Deze metingen geven een beeld van de geleidbaarheid in de bak vlak na een hevige regenbui, met een volume van ruim 2x het volume van de bak.

| Raai nabij inlaat  |                                                           |                                                             |                          |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Diepte             | Min/max waarde geleidbaarheid [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | Gemiddelde gradiënt [ $(\mu\text{S}/\text{cm})/\text{cm}$ ] | Ontwikkeling in de tijd  |
| 0 - -110 cm        | 91 - 102                                                  | 0,0                                                         | Geen                     |
| -110 - -180 cm     | 96 - 930                                                  | 12,0                                                        | Waarden enigszins ↓      |
| Raai nabij uitlaat |                                                           |                                                             |                          |
| 0 - -110 cm        | 83 - 98                                                   | 0,0                                                         | Waarden gem. enigszins ↑ |
| -110 - -180 cm     | 85 - 967                                                  | 12,5                                                        | Waarden enigszins ↓      |

Tabel 8.4 Resultaten meetsessie na onweersbui

(1) In beide raaien is de geleidbaarheid vanaf het oppervlak tot 110 cm beneden de waterspiegel constant (variaties tot maximaal 5%). De geleidbaarheid in deze laag blijft in de loop van de dag gelijk. In de raai nabij de uitlaat is de geleidbaarheid in de bovenste laag gemiddeld 10% lager dan bij de inlaat.

(2) In de laag beneden -110 cm neemt de geleidbaarheid sterk toe met de diepte. De stijging in de geleidbaarheid is sterker bij toenemende diepte en komt op -180 cm op 95% van de waarde die op deze diepte werd gemeten bij droog weer.

In de bovenste laag -110 cm (1) is de geleidbaarheid over de hele diepte constant, waaruit mag worden geconcludeerd dat de laag homogeen gemengd is over de diepte. De laag bestaat waarschijnlijk volledig uit regenwater dat een zeer lage geleidbaarheid heeft. De waarde van de geleidbaarheid is in de raai achterin de bak 10% lager dan voorin de bak, wat kan betekenen dat voorin de invloed reeds merkbaar is van water met een toenemende geleidbaarheid dat na de bui uit het stelsel komt.

In de onderste laag (2) is een sterke gradiënt aanwezig. De gradiënt is in de raai nabij de inlaat steiler dan de gradiënt die bij droog weer in de onderste 30 cm werd waargenomen; bij de uitlaat is de gradiënt ongeveer gelijk. De maximale waarde in deze laag is 5 à 10% afgenomen ten opzichte van de droogweersituatie. Dit betekent dat er tijdens de bui weinig water met zeer hoge geleidbaarheid uit deze laag is verdwenen.

De waarden van de geleidbaarheid nemen in de loop van de tijd en paar procent af en dit zou kunne duiden op enige menging met het water in de laag erboven.

### 8.3.3 Aanvullende metingen

#### a) Metingen in de dwarsrichting van de ontvangbak

De geleidbaarheid is in beide raaien gemeten op drie plaatsen in de dwarsrichting, op drie diepten. In de raai nabij de inlaat is er aan het oppervlak en op -60 cm geen variatie in de dwarsrichting zichtbaar, op -135 cm zijn er verschillen tot 15%.

In de raai nabij de uitlaat is er aan het oppervlak geen variatie over de breedte, op 60 en op 135 cm diepte bedragen de variaties 10 tot 30 %.

De variaties in de dwarsrichting die op grotere diepte optreden, geven aan dat hier waterbewegingen plaatsvinden waarbij water met verschillende geleidbaarheden wordt gemengd. Op -135 cm lijkt de steile gradiënt in de geleidbaarheid hiervan de oorzaak te zijn. Op -60 cm neemt achterin de bak de gradiënt over de breedte in de loop van de dag af, wat zou kunnen betekenen dat een volledig gemengde situatie zich nog aan het instellen is.

#### b) Meting in het oppervlaktewater van de vijver

De geleidbaarheid van het water in de vijver bedraagt aan het oppervlak 1550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dit is een paar procent lager dan in de droogweersituatie.

### 8.4. Consequenties van bevindingen meetsessies

De eerste belangrijke conclusie die volgt uit de resultaten van de meetsessies is dat de effluentmonsternamen zoals die tot op dit moment heeft plaatsgevonden niet representatief is voor het water dat uit de bak stroomt. De monsternamen vindt plaats in de bak zelf en niet in het uitstromende water. De meetsessies hebben aangetoond dat er sprake is van een interne structuur van de watermassa in de bak, wat betekent dat een watermonster afkomstig van één punt in de bak alleen informatie geeft over de samenstelling van het water op die bepaalde plaats, met name op die bepaalde diepte. Het effluentmonsternamenpunt bevindt zich op 4,5 m voor het einde van de bak, op 0,5 m diepte en is dus representatief voor dit punt, niet voor het water dat uit de bak stroomt.

Tijdens de droogweer-meetsessie bleek zelfs het water dat via de drie afzonderlijke effluentpijpjes uitstroomt, in geleidbaarheid te verschillen, zodat een monster uit één van de drie pijpjes niet representatief is voor de totale uitgaande stroom.

De meetsessies werden opgezet met het hoofddoel te achterhalen waarom de chloridebalans niet klopte, niet voor de bemonsterde regenbuien, niet voor een bui met aansluitende droge periode en zelfs niet voor een droogweer-evenwichtssituatie. Deze uitkomst kan nu aan de hand van de bevindingen van de meetsessies worden verklaard. In de eerste plaats zijn de effluentmonsters niet representatief voor de uitgaande stroom van de ontvangbak. Ze kunnen daarom niet worden gebruikt voor het opstellen van een balans voor de in- en uitgaande vrachten van de bak. In de tweede plaats is er in de bak een sterke verticale gradiënt in de geleidbaarheid. Op grond hiervan mag worden verwacht dat ook de concentraties van de in het kader van het bemonsteringsprogramma gemeten stoffen aanmerkelijk variëren met de diepte. Dit maakt het bepalen van de voorraad, en daaruit de berging, in de bak ingewikkelder.

Het tweede probleem was de kinetiek in de meetresultaten voor het effluent die niet met het model van een ideale menger of van een ideale propstroom kon worden verklaard. Nu de meetsessies een sterke verticale gradiënt in de bak aan het licht hebben gebracht, kunnen allerlei andere processen aan deze kinetiek ten grondslag liggen. De effluentmonsters komen van 0,5 m diepte, hier lag



tijdens de droogweer-meetsessie de overgang van de egaal gemengde bovenlaag naar de tweede laag met een sterke gradiënt. Op deze diepte zijn dus grote geleidbaarheidsverschillen over kleine verticale afstanden aanwezig. De ligging van de lagen was op het moment dat de kinetiek geconstateerd werd niet noodzakelijkerwijs exact hetzelfde, maar het is wel aannemelijk dat er zich vergelijkbare geleidbaarheidsverschillen hadden ingesteld. Aannemende dat de geleidbaarheid en chlorideconcentraties sterk gecorreleerd zijn, kan een sterke gradiënt in de chlorideconcentratie de fluctuaties tijdens de droogweermeting verklaren. De chloridegradiënt is geen constant gegeven, maar ontwikkelt zich in de loop van de tijd. Deze ontwikkeling veroorzaakt concentratiefluctuaties en vindt kennelijk plaats met een tijdsconstante, overeenkomstig de waargenomen kinetiek, van zo'n drie uur.

De sterke verticale gradiënt in de geleidbaarheid die tijdens de meetsessies is aangetoond, met als gevolg een gelaagdheid in de bak, leidt tot de conclusie dat er zich binnen de bak interne stromingsprocessen afspelen. De gelaagdheid bij droog weer is heel verschillend van die kort na afloop van een regenbui. De interne stromingsprocessen zullen in deze twee situaties volkomen anders zijn. De dichtheidsverschillen tussen de lagen spelen daarbij waarschijnlijk een belangrijke rol, maar van nog groter belang is misschien hoe de dichtheid van het instromende water zich verhoudt tot de dichtheid in de aanwezige lagen in de bak. De situatie wordt nog gecompliceerder bij het begin van een regenbui en wanneer de bui ophoudt. Op zo'n moment treden er grote veranderingen op in de debieten en snelheden in de stelseluitlaat en in de bak. Daarbij gaan de traagheid van de watermassa en energie-overdrachtsprocessen een rol spelen. De beschrijving van dergelijke processen, evenals die van ingewikkelde dichtheidsstromingen ligt op het terrein van de vloeistofmechanica.

## 9. GEVOLGTREKKINGEN EN HYPOTHESEN OVER STROMINGSPROCESSEN IN STELSELUITLAAT EN ONTVANGBAK

Er zijn vier principieel verschillende stromingssituaties te onderscheiden, die elk een aantal overeenkomstige basiskenmerken vertonen. De eerste is de droogweer-situatie, de tweede is de situatie na een regenbui, de derde en de vierde zijn de overgangssituaties van respectievelijk droogweer- naar regenafvoer en van regenafvoer weer terug naar droogweer-afvoer.

### 9.1 Droogweer-situatie

In de droogweer-situatie stroomt alleen drainagewater af en de snelheden in de stelseluitlaat en in de bak zijn zeer laag (resp. 2 en 0,2 mm/s). De stroming in de uitlaat is laminair tot een snelheid van 3 mm/s; het debiet dat hiermee overeenkomt is 8,5 m<sup>3</sup>/u, 20% hoger dan het debiet tijdens de bemonsterde droogweerperiode van begin april. In de bak is er sprake van een laminaire stroming bij snelheden tot 0,3 mm/s. De stromingssituatie in de stelseluitlaat gaat over van turbulent naar laminair zodra een droogweerperiode enkele dagen aanhoudt. De stroming in de bak zou al eerder, nl. bij een debiet van ongeveer 10,5 m<sup>3</sup>/u in het laminaire gebied komen, als de snelheid in de gehele bak gelijk zou zijn aan de gemiddelde snelheid. Dit is vrijwel zeker niet het geval; er doen zich kortsluit- en dichtheidsstromen voor die allerlei snelheidsvariëaties teweeg kunnen brengen. Ondanks dat over deze variëaties niets bekend is, mag worden aangenomen dat in een droogweer-situatie de stroming in de bak over het algemeen genomen laminair is. Een laminaire stroming kenmerkt zich door glad verlopende deeltjesbanen, met weinig wervelingen en dientengevolge vrijwel geen menging. De droogweer-meetsessie had betrekking op een dergelijke stromingstoestand, waarin een sterke verticale gradiënt werd geconstateerd in de bak. Het is onbekend of deze gradiënt al eerder in het stelsel tot stand komt of zich in de bak instelt doordat zich hier dichtheidsstromen voordoen. In ieder geval kan de stroming zelf, omdat deze laminair is, geen menging tussen de verschillende lagen veroorzaken. Derhalve vindt er ofwel in het geheel geen menging plaats, ofwel er is een andere oorzaak voor de menging, dit zou b.v. het dichtheidsverschil tussen twee lagen kunnen zijn.

Uit de resultaten van de meetsessies bleek dat de bovenste laag volledig gemengd was, onder de externe invloed van de wind. De onderste laag nam in de betreffende droogweer-situatie niet aan het stromingsproces deel; het water in die laag moest tenminste afkomstig zijn van voor de voorafgaande regenbui. In de lagen tussen de bovenste en de onderste leek zich na 2½ dag droog weer nog geen evenwicht te hebben ingesteld, gezien de variëaties die zich voordeden in de tijd.

Voor de vuiluitworpmeting ten behoeve van het project is het interessant wat de relatie is tussen de samenstelling van het water en de stromingssituatie in de bak enerzijds en de samenstelling van het water dat door de effluentpijpjes stroomt anderzijds. De monding van de pijpjes bevindt zich op een diepte waar de wind geen invloed meer heeft, maar waar tijdens de droogweer-meetsessie een sterke gradiënt naast schommelingen in de loop van de tijd werden geconstateerd.

Overeenkomstige variëaties zullen waarschijnlijk bij metingen in de effluentpijpjes terug te vinden zijn. Deze metingen zeggen niets over de samenstelling van het water in de rest van de bak en moeten hier daarom volkomen los van worden gezien.

### 9.2 Situatie met regenwater-afvoer

De tweede situatie is de situatie tijdens een regenbui, die zich tot enige tijd na de bui voorzet. De snelheden die tijdens een bui optreden in de stelseluitlaat en in de bak zijn hoog (40 tot 160 mm/s in de uitlaat; 3 tot 13 mm/s gemiddeld in de bak). Bij deze snelheden is de stroming in beide

gevallen turbulent. Dit betekent dat er een intensieve menging plaatsvindt van het water in zowel de stelseluitlaat als de bak. Het is daarbij niet uitgesloten dat er lagen of sectoren zijn, het meest waarschijnlijk in de bak, maar mogelijk zelfs in de stelseluitlaat, die niet aan de stroming deelnemen en derhalve geen menging ondergaan. De kans hierop is het grootst in de lagen dicht bij de bodem van de bak en de stelseluitlaat, in de sectoren rond de hoeken van de bak. De meet sessie kort na de onweersbui toonde aan dat er op dat moment in de bak twee lagen te onderscheiden waren in de diepterichting. De bovenste helft leek constant van samenstelling, hetzij als gevolg van volledige menging, hetzij als gevolg van uitstroming gedurende lange tijd van water met een constante samenstelling. Gezien de lage geleidbaarheid in deze laag, die in de droogweersituatie niet voorkwam, mag worden aangenomen dat deze laag in de hele bak volledig bestaat uit regenwater. In de onderste laag is een sterke verticale gradiënt aanwezig, die voor- en achterin de bak exact hetzelfde is en in de loop van de tijd enigszins in geleidbaarheid afneemt, waarschijnlijk door menging met de erboven gelegen laag. Deze verdeling in twee lagen duidt erop dat tijdens en kort na een hevige bui de bovenste laag van de bak en waarschijnlijk de stelseluitlaat in zijn geheel, gevuld is met regenwater, terwijl de onderste laag weliswaar menging ondergaat met het regenwater, maar verder naar de bodem toe steeds meer zijn oorspronkelijke samenstelling behoudt.

De gegevens van de meet sessie zijn niet toereikend om een uitspraak te kunnen doen over het type stromingsprocessen dat zich tijdens en in de periode aansluitend aan een regenbui voordoet. De laag met een constante samenstelling kan ontstaan bij een proces van volledige menging, maar ook bij een propstroom die minstens aanhoudt gedurende een doorstroomvolume dat de betrokken laag geheel ververst. In het laatste geval moet het binnenstromende water gedurende deze tijd over de hele doorsnede constant van samenstelling zijn.

De onderste laag ondergaat gedeeltelijk menging met het regenwater, maar verder naar de bodem neemt de menging af. De situatie die zich in de loop van een bui instelt en vervolgens enige tijd standhoudt, lijkt erop te duiden dat het regenwater, dat gedurende deze tijd uit het stelsel stroomt, zich door de bovenste helft van de bak beweegt en enige menging teweegbrengt met het water in de onderste helft. In deze situatie neemt het water in de onderste lagen nauwelijks aan het stromingsproces deel. Het water dat gedurende deze periode via de effluentpijpjes uitstroomt, heeft waarschijnlijk dezelfde constante samenstelling als het water in de bovenhelft van de bak. Overigens is het beeld dat de meet sessie geeft van de toestand in de bak niet noodzakelijkerwijs representatief voor elke situatie die ontstaat tijdens een regenbui. De meting betrof een zeer hevige bui en mag als zodanig representatief worden beschouwd voor buien met een vergelijkbaar groot volume. Alleen aanvullende metingen kunnen gegevens opleveren over het effect van andere typen buien.

### **9.3 Overgangssituatie van droogweer- naar regenafvoer**

De derde situatie is de overgang van droogweer- naar regenafvoer. De analyse van de meetresultaten tijdens buien (6.2.1) geeft aan dat zich in de stelseluitlaat over het geheel genomen twee verschijnselen kunnen voordoen: ofwel de concentratie daalt vanaf het begin van de bui volgens een e-macht, ofwel de concentratie neemt bij het begin van de bui eerst zeer sterk toe om vervolgens vanaf de bereikte hoge waarde af te nemen volgens een e-macht. Tijdens de tweede meet sessie is de geleidbaarheid van de buimonsters gemeten (zie figuur 8.3). Het verloop van de geleidbaarheid in de influentmonsters voor die bui komt overeen met het eerste geval.

De meetresultaten van de monsters afkomstig van meetpunt E geven een beeld van het concentratieverloop op 0,5 m diepte, achterin de bak. Dit verloop blijkt voor de geanalyseerde stoffen chloride en CZV geheel verschillend.

De chlorideconcentraties vertonen een verloop dat sterk overeenkomt met het verloop in de stelseluitlaat, zij het dat er een tijdvertraging tussen zit en dat de concentraties voortdurend veel hoger zijn. Het gehalte aan CZV is afhankelijk van veel meer dan alleen de stromingsprocessen. Dit verklaart minstens voor een deel dat de CZV-gehalten achterin de bak geen relatie vertonen met de gehalten in het inkomende water. Wel is er een duidelijke demping zichtbaar van de pieken die in de stelseluitlaat voorkomen. De geleidbaarheidsmeting van de monsters van meetpunt E voor de bui geeft een sterke stijging te zien tot de waarde die het inkomende water tijdens droog weer had, gevolgd door een daling die overeenkomt met de daling in de monsters van meetpunt I, maar met een vertraging van ruim een half uur. De evenwichtswaarde die de monsters van meetpunt I en E bereiken is gelijk aan de constante waarde in de bovenste laag van de bak na de bui.

Bij de overgang van droogweer- naar regenafvoer spelen zich in de stelseluitlaat en in de bak geheel verschillende processen af die afzonderlijk moeten worden bestudeerd.

### 9.3.1 Overgangsprocessen in de stelseluitlaat

Het ene verschijnsel dat zich voordoet in de stelseluitlaat, de afname volgens een e-macht, is het eenvoudigst te verklaren. De afname is een gevolg van de menging van drainagewater met regenwater dat veel lagere concentraties aan stoffen bevat. De afname volgens een e-macht duidt op een proces van volledige menging dat zich in het hele stelsel of in het laatste gedeelte van het stelsel voor de uitlaat, voordoet. De metingen geven geen uitsluitsel over het al of niet optreden van gelaagdheid in de stelseluitlaat, noch over eventuele veranderingen hierin tijdens de overgang naar regenafvoer.

De piek in de CZV-concentratie aan het begin van een bui lijkt te duiden op een belangrijke hoeveelheid organisch materiaal die met het regenwater van de straat afspoelt, gedurende het eerste deel van de bui. De piek in de chlorideconcentraties is moeilijker te verklaren. Deze kan het gevolg zijn van opwoeling van water met hoge concentraties dat zich min of meer in rust in de onderste lagen van de leidingen in het stelsel, waaronder de stelseluitlaat, bevindt. Dit water komt dan pas bij de hoge snelheden en grote turbulentie, die tijdens een bui optreden, in beweging. Een andere mogelijkheid is dat het water met hoge concentraties op dode punten in het stelsel aanwezig is, of in kolken of putten, waar het tijdens een bui uit geduwd wordt. Beide mogelijkheden veronderstellen echter een turbulentie die hoger moet zijn dan tijdens andere buien waarbij geen piek voorkomt. Dit zou duiden op een relatie tussen de pieken en hoge debieten in het stelsel, maar deze relatie is er niet. De pieken zouden ook nog kunnen voortkomen uit externe lozingen op het stelsel, maar er is geen aanleiding om aan te nemen dat dit met een dergelijke regelmaat gebeurt. Tenslotte zou er een hoeveelheid chloride kunnen afspoelen van het oppervlak. Dit is eenvoudig te verklaren voor een vorstperiode waarin er zout op straat wordt gestrooid. Voor de buien die buiten een vorstperiode vallen moet er een andere bron zijn voor het chloride op het oppervlak. Bovendien zou er in dit geval een relatie moeten bestaan tussen de pieken en hoge neerslagintensiteiten, welke niet is aan te wijzen.

### 9.3.2 Overgangsprocessen in de ontvangbak

Nog veel gecompliceerder dan de overgangsprocessen in de stelseluitlaat zijn processen die zich afspelen in de bak. De resultaten van de meetsessies geven voor één bui aan hoe de situatie in de bak verandert vanaf voordat de bui begon tot nadat de overgang naar de regenafvoer is voltooid. Er is een hoeveelheid zout uit de bak verdwenen, wat tot uiting komt in een afname van de geleidbaarheid in de hele bak. De geleidbaarheid geeft niet de hoeveelheid zout zelf weer, maar staat er wel in directe relatie toe. Op basis hiervan kan het verloop van de geleidbaarheid voor en



na de bui worden gebruikt om een schatting te maken van de afname van de voorraad aan zout in de bak. De afname is procentueel gezien het grootst in de lagen van 70 tot 110 cm beneden de waterspiegel, zo'n 85%, en het kleinst in de laag beneden -150 cm,  $\pm 25\%$ . De totale afname van de zoutvoorraad in de bak bedraagt ongeveer 60%.

Tijdens de overgang naar de regenafvoersituatie heeft het regenwater het water in de bovenste 110 cm van de bak volledig verdrongen. Deze verdringing kan gepaard zijn gegaan met menging, hierover geven de meetresultaten geen informatie. Het water in de lagen hieronder heeft zich tijdens de overgangsperiode vermengd met regenwater. De mengverhouding in deze lagen kan worden geschat aan de hand van de afgenomen zoutvoorraad. Voor de laag tussen -110 cm en -135 cm bedraagt de mengverhouding ongeveer 1 op 9. Dit betekent dat nog 10% van het oorspronkelijke water in deze laag aanwezig is. Op dezelfde manier kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid oorspronkelijk water die nog in de onderste lagen aanwezig is:

-110 cm tot -135 cm: 10%

-135 cm tot -150 cm: 30%

-150 cm tot -180 cm: 75%

Deze resultaten geven aan dat het water beneden -110 cm menging ondergaat met het regenwater en voor een gedeelte uit de bak verdwijnt. De hoeveelheid water die hierbij betrokken is, volgt globaal uit de vergelijking van de toestand voor en na de bui. De processen die zich afspelen terwijl de ene toestand in de andere overgaat, kunnen hieruit niet worden afgeleid. Deze zijn bepalend voor het concentratieverloop in de effluentpijpijjes en of hierin een overgangspunt te herkennen is van volledige drainage- naar volledige regenafvoer.

De geleidbaarheidsmeting in de monsters afkomstig van meetpunt E, tijdens de bui levert resultaten op die kunnen worden gerelateerd aan de metingen van de toestand in de bak voor en na de bui. De monsters geven wel informatie over de overgangsperiode van droogweer- naar regenafvoer.

De piek in de geleidbaarheid treedt op bij het derde en vierde monster, vanaf 20 minuten na aanvang van de bui. Dit betekent dat de piek bij het monsternamepunt aankomt als minstens 300 m<sup>3</sup> water de bak is binnengestroomd sinds het begin van de bui en dat de piek gedurende ongeveer 150 m<sup>3</sup> aanhoudt. De piekwaarde komt enerzijds overeen met de waarde van het water dat bij droog weer uit het stelsel stroomt, anderzijds met de waarde van het water dat zich in de onderste laag van de bak bevindt.

De oorzaak van het optreden van deze piek kan niet liggen in opwoeling en vervolgens uitspoeling van het water afkomstig uit de onderste laag van de bak. Het volume water met deze geleidbaarheid dat na de bui uit de bak verdwenen is ten opzichte van de situatie voor de bui is namelijk slechts ongeveer 70 m<sup>3</sup>.

De piek zou kunnen worden veroorzaakt doordat een hoeveelheid drainagewater uit het stelsel zich onverdund door de bak beweegt en als zodanig het meetpunt E passeert. De berging in het laatste deel van het stelsel, dat bij droog weer volledig gevuld is met drainagewater, bedraagt ongeveer 130 m<sup>3</sup>. Dit volume water zou zich als een onverdunde en onveranderde massa water door de bak moeten verplaatsen in de richting van de uitlaat. Deze massa water moet een snelheid van 0,06 m/s hebben om na 20 minuten het meetpunt E te kunnen bereiken. Deze snelheid wordt in het stelsel al korte tijd na aanvang van de bui overschreden. Het beschreven proces is een mogelijke verklaring voor de piek.

Een tweede mogelijkheid is dat het water met hoge geleidbaarheid wel degelijk afkomstig is uit de onderste laag van de bak, maar niet tijdens de bui uit de bak verdwijnt. Het water zou in dit geval bij het begin van de bui van de bodem worden opgewoeld, om daarna weer langzaam terug naar beneden te zakken. Na afloop van de bui wordt het opnieuw onderin de bak aangetroffen. Over de beweging van het opgewoelde water vanaf het moment waarop het naar beneden begint te zakken,

noch over aard van de aandrijvende kracht voor deze beweging, is met de huidige gegevens een veronderstelling mogelijk.

De meetresultaten tijdens buien tonen een verloop voor de chlorideconcentraties in het meetpunt E dat over het geheel genomen elke ontwikkeling in de concentraties in het meetpunt I volgt, zij het dat de concentraties blijvend hoger zijn. Dit betekent in de eerste plaats dat het verloop van de chlorideconcentraties niet analoog is aan dat van de geleidbaarheid. Dit is aanleiding om vraagtekens te zetten bij de betekenis van de resultaten van de meetsessies voor de geleidbaarheid, voor het verloop van de chloride concentraties. Als wordt aangenomen dat de bovenste laag van de bak na de bui wel constante concentraties aan alle stoffen, waaronder chloride, bevat, volgt uit de buiresultaten in de tweede plaats dat in de loop van de monsternamperiodes nooit een evenwichtssituatie wordt bereikt in de bak. In zo'n situatie zou de samenstelling van het water ter plaatse van meetpunt I en E gelijk moeten zijn.

De buiresultaten geven geen blijk van een sterk verschillende processen in het concentratieverloop, in verhouding tot het verloop in het meetpunt I, aan het begin van een bui en tijdens een bui. Dit duidt erop dat er voor chloride ofwel geen sprake is van een waarneembare overgangperiode ofwel sprake is van een overgangperiode die voortduurt tot voorbij het eindpunt van de monsternamperiode. Gezien de uitkomsten van de buimetingen en de meetsessies is waarschijnlijk dit laatste het geval, maar zekerheid hierover kan alleen aan de hand van meer uitgebreide metingen worden verkregen. De concentraties in het meetpunt E voor CZV geven geen verdere informatie over de processen in de bak, behalve dat voor CZV processen als bezinking en afbraak een overheersende rol spelen ten opzichte van de stromingsprocessen.

Het is met de huidige informatie onmogelijk aan te geven hoe de overgang van droogweer- naar regenafvoer precies verloopt. Dit heeft tot gevolg dat het verloop van de concentraties in de effluentpijpjes tijdens deze overgang niet is in te schatten, evenmin als het moment waarop zich de evenwichtssituatie voor de regenafvoer instelt.

#### **9.4 Overgangssituatie van regen- naar droogweer-afvoer**

De vierde situatie is de overgang van regenafvoer terug naar een droogweer-situatie. Van deze situatie zijn één maal metingen gedaan op 27 en 28 maart (6.3.1). Verder zijn er aan de ene kant - concentraties bekend in de meetpunten I en E tijdens buien, aan de andere kant tijdens één langdurige droogweer-situatie (6.3.2). De resultaten van de meetsessies geven opnieuw informatie over de begin- en eindtoestand van de overgang.

##### **9.4.1 Veronderstellingen naar aanleiding van meting tijdens bui en aansluitende droge periode**

De meting van de bui met aansluitende droge periode laat zien dat in de stelseluitlaat de concentraties van alle gemeten stoffen na afloop van de bui gaan toenemen en zich na zo'n 30 uur lijken te stabiliseren. De concentraties in het meetpunt E blijven gedurende deze periode ongeveer gelijk. De waarde waarop de concentraties in de stelseluitlaat zich stabiliseren is voor chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof en ammonium gelijk aan de waarde in het meetpunt E. De concentratie totaal-fosfaat in de stelseluitlaat is 4 à 5 maal zo hoog.

De situatie waarbij de concentraties in de stelseluitlaat en in het meetpunt E aan elkaar gelijk zijn, is waarschijnlijk, naar analogie met de resultaten van de meetsessies, de situatie waarin het bovenste deel van de bak geheel constant van samenstelling is. Deze samenstelling was gelijk aan die van het water in de stelseluitlaat aan het eind van de bui, voor de bui waarop de meetessie



volgde. Voor de bui van 27 maart lijken de concentraties in de bak hoger te blijven tijdens de bui en worden daardoor pas later ingehaald door de concentraties in de stelseluitlaat. Hiervoor zou het kleinere buivolume van de bui op 27 maart een verklaring kunnen zijn, waardoor deze het water in de bak minder verdunt.

Als deze beschrijving van de situatie in de bak de werkelijke situatie goed weergeeft, heeft dit als consequentie dat de overgang naar de droogweer-evenwichtssituatie nog niet zijn aanvang heeft genomen en deze niet zal nemen, omdat de volgende bui na 30 uur al begint. De gemeten concentraties horen wel bij een evenwichtssituatie, maar dit is geen droogweer-evenwicht.

Een tweede mogelijke veronderstelling is, dat de stabilisering van de concentraties duidt op het bereiken van een evenwicht dat het karakter heeft van een droogweer-evenwicht. Dit zou betekenen dat in de droogweer-situatie de concentraties aan chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof en ammonium in de stelseluitlaat en in het meetpunt E aan elkaar gelijk zijn. Er zou dan een andere gelaagdheid aanwezig moeten zijn dan die welke bij de droogweer-meetsessie werd aangetroffen, of helemaal geen gelaagdheid aanwezig moeten zijn. Bovendien komt dit evenwicht niet overeen met de toestand in de bak tijdens de droogweer-meting in april. Deze meting geeft de samenstelling weer van het water in de stelseluitlaat en in het meetpunt E in de bak waar het water zich altijd naar toe zou moeten bewegen als een droogweer-periode lang genoeg duurt. Tijdens de droogweer-meting van april lijken de concentraties zich pas in de loop van de meetperiode te stabiliseren. Hieruit volgt dat de instelling van een volledig droogweer-evenwicht ruim acht etmalen in beslag neemt.

#### 9.4.2 Veronderstellingen die volgen uit droogweer-meetsessie

De droogweer-meetsessie vond plaats na 2¼ etmaal en op dat moment had zich dus nog geen volledig droogweer-evenwicht ingesteld. Dit bevestigen de schommelingen in de geleidbaarheid in de laag van 50 tot 135 cm beneden de waterspiegel. Het geleidbaarheidsprofiel tijdens de droogweer-meetsessie naast dat tijdens de meetsessie na de onweersbui geeft aanleiding tot een paar mogelijke veronderstellingen over de manier waarop de regenafvoer-situatie overgaat naar de droogweer-situatie.

De concentraties in de stelseluitlaat nemen in de loop van een droge periode toe tot ze de droogweer-evenwichtswaarden hebben bereikt. Hierbij kan een gelaagdheid in de uitlaat ontstaan, temeer wanneer er naar het stelsel water met verschillende geleidbaarheden wordt aangevoerd. Het binnenstromende water heeft hogere concentraties, dus een hogere dichtheid dan het water in de bak heeft op de hoogte waar het water de uitlaat verlaat. Het kan zich vervolgens op twee wezenlijk verschillende manieren in de bak verspreiden. De eerste mogelijkheid is dat het binnenstromende water zich in hoofdzaak in horizontale richting verplaatst. Er stelt zich in het inkomende water een verticale gradiënt in, hetzij al in de stelseluitlaat, hetzij in het eerste gedeelte van de bak. Deze gradiënt wordt minder steil naarmate er meer water met hoge concentraties in de bak is binnengekomen en het water in de bak meer uniform van samenstelling wordt. Hier gaan meerdere etmalen overheen. Het front met de verticale gradiënt beweegt zich horizontaal door de bak heen naar de uitlaat toe.

De tweede mogelijkheid is dat het binnenstromende water zich hoofdzakelijk in verticale richting verplaatst. Het water verspreidt zich eerst over de bodem of over de onderste lagen met zeer hoge concentraties heen, over het hele oppervlak van de bak. Daarna beweegt dit front zich over het hele oppervlak verticaal omhoog, waardoor de concentratie eerst onderin, en later bovenin stijgt.

### *Ondergrondse geheimen Julianapark boven water*

De stroming die werkelijk optreedt tijdens de overgang naar het droogweer-evenwicht ligt waarschijnlijk tussen deze twee uitersten in. Zoals al eerder vermeld is de beschrijving van dit soort stroming een vloeistofmechanisch probleem.

Dit alles leidt tot de conclusie dat de overgang van regen-afvoer naar droogweer-afvoer zich zeer langzaam voltrekt, zodat de overgang een zeer lange tijd in beslag neemt. Dientengevolge stroomt er gedurende lange tijd na afloop van een bui nog regenwater of drainagewater gemengd met regenwater via de effluentpijpjes naar buiten. Daardoor is het onmogelijk een eindpunt te definiëren van de regenwaterafvoer.

## 10. ONTWERP NIEUWE MEETOPSTELLING

Uit de analyse van de resultaten van het project Julianapark in het eerste halfjaar en uit de bevindingen van de meetsessies is duidelijk naar voren gekomen dat de huidige meetopstelling niet aan de eisen van het meetproject voldoet. Het doel van het project is de vuiluitworp uit een regenwaterstelsel, ten gevolge van een regenbui te vergelijken met de vuiluitworp uit de ontvangbak, tijdens en na een regenbui. De twee belangrijkste grootheden die de meetopstelling moet vastleggen, volgen direct uit de doelstelling van het project:

- 1) Vuiluitworp uit het regenwaterstelsel t.g.v. een regenbui,
- 2) Vuiluitworp uit de ontvangbak t.g.v. een regenbui.

Bij het bepalen van deze grootheden verdient een aantal punten de aandacht, die ze bij het inrichten van de huidige opstelling onvoldoende hebben gekregen. Er spelen veel meer grootheden een rol bij de processen in het regenwaterstelsel en in de ontvangbak, waarvan een groot aantal evenzeer het bestuderen waard is. Een beperking van het onderzoeksdoel is in dit geval echter noodzakelijk, omdat anders door de veelheid aan processen en beïnvloedende factoren de helderheid van het onderzoek verloren zou gaan.

### 10.1 Processen in het totale afvoersysteem die metingen beïnvloeden

Bij de meting in de uitlaat van het stelsel en in de uitlaat van de bak doet zich een aantal problemen voor die de interpretatie van de meting op deze punten compliceren. Deze problemen zijn het gevolg van afzonderlijke processen die ieder hun eigen onderzoeksbenadering vragen om ze te kunnen analyseren. In de eerste plaats is er waarschijnlijk sprake van een gelaagdheid in het riool. In de tweede plaats spelen zich in de bak in een evenwichtssituatie (droog weer of regen) allerlei ingewikkelde stromingsprocessen af. In de derde plaats is er een bijna voortdurende overgang van de ene situatie naar de andere, wat de processen nog gecompliceerder en moeilijker te beschrijven maakt. In de vierde plaats is er naast een regenwaterafvoer een drainageafvoer die zich meer of minder vermengt met het regenwater en daardoor het onderscheiden van het effect van de regenwaterafvoer bemoeilijkt. In de vijfde plaats is de uitgaande stroom van de bak verdeeld over drie effluentpijpjes waarin het water niet altijd dezelfde samenstelling heeft. Een onderzoek kan zich er onmogelijk op richten al deze processen te ontrafelen.

Voor dit onderzoek is het alleen van belang over representatieve metingen te kunnen beschikken van de in- en uitgaande stroom van de ontvangbak. Dit betekent dat er een betrouwbare meting moet zijn van de in- en uitgaande debieten en van de concentraties aan stoffen in de in- en uitgaande stroom waarvan de vuiluitworp interessant is.

### 10.2 Aandachtspunten bij inrichten meetopstelling

In de eerste plaats is de lokatie van de meetpunten van belang. De beste lokatie voor het meten van de vuiluitworp uit het regenwaterstelsel is in de uitlaat van het stelsel zelf. In de huidige opstelling is het influentmonsternamepunt gesitueerd in de laatste put voor de uitlaat van het stelsel; aangenomen wordt dat het water tussen de put en de uitlaat niet meer van samenstelling verandert. Het meetpunt voor de vuiluitworp van de bak moet zich bevinden in de uitlaat van de bak. Dit is nu niet het geval en het effluentmonsternamepunt moet daarom van lokatie veranderen. Afgezien van de juiste situering van het meetpunt, is de representativiteit van de meting in het meetpunt voor de stroom waarvan zij de uitworp meet, van essentieel belang. Indien de stroom volledig gemengd is en daardoor uniform van samenstelling, is dit eenvoudig, daar in dat geval de samenstelling in elk willekeurig punt representatief is voor de hele stroom. Indien de stroom niet uniform van samenstelling is, moet worden vastgesteld hoe de samenstelling over de uitlaat

varieert en hoe de meting zodanig kan worden ingericht dat zij representatief is voor de gehele afvoerstroom.

In de tweede plaats impliceert de formulering 'vuiluitworp ten gevolge van een bui', dat de meting de periode moet bestrijken vanaf het tijdstip waarop er vuil dat met het regenwater mee komt, de uitlaat begint te passeren tot het moment waarop dit niet meer passeert. Deze twee tijdstippen zijn zeer moeilijk vast te stellen, want niet alleen het regenwater, maar ook het drainagewater voert vuil mee. De overgang naar de situatie waarin het vuil niet meer hoofdzakelijk van de ene, maar van de andere stroom afkomstig is, is niet scherp en met name in de bak zal veel menging tussen de beide stromen optreden, waardoor ze niet meer onafhankelijk te onderscheiden zijn. De vuiluitworp ten gevolge van één enkele bui evenals de periode waarover deze plaatsvindt, zijn heel moeilijk, zometeen onmogelijk, af te bakenen.

### **10.3 Voorstel voor nieuwe meetopstelling**

De gesignaleerde aandachtspunten, een representatieve meting van de in- en uitgaande stroom en de vaststelling van begin- en eindtijdstip van de uitworp ten gevolge van een bui, moeten in het ontwerp van de nieuwe meetopstelling naar voren komen.

#### **1) Representatieve lokatie en monstername**

Allereerst moet het effluentmeetpunt, dat zich nu in de bak bevindt, worden overgebracht naar de uitlaat van de bak, dat wil zeggen naar de stroom die uit de drie effluentpijpjes komt. De lokatie van het influentmeetpunt lijkt geschikt te zijn om de uitgaande stroom van het stelsel te analyseren. Het zou echter zinvol zijn om te controleren of de samenstelling van de stroom in de put en in de uitlaat daadwerkelijk overeenkomt.

De meting in elk meetpunt moet representatief zijn voor de samenstelling van de betreffende stroom. Om hier zeker van te zijn, moet de bemeeten stroom uniform van samenstelling zijn, dan wel uniform van samenstelling worden gemaakt, zodat elk willekeurig punt de totale stroom kan vertegenwoordigen. Als dit geen uitvoerbare optie, moeten de variaties in de samenstelling van de gemeten stroom nauwkeurig worden vastgelegd om hierop de inrichting van de meting te baseren, zodanig dat deze betrouwbare resultaten oplevert.

De afvoerstroom in de uitlaat van het stelsel en van de bak is meestentijds niet uniform van samenstelling. Het is niet bekend op welke momenten dit al dan niet het geval is. De meest directe en zekere manier om altijd een betrouwbare en representatieve concentratiemeting te verkrijgen is daarom, om in de uitlaat van het stelsel en van de bak voortdurend een volledig gemengde stroom te bewerkstelligen, door hier het water grondig te roeren. Als gevolg hiervan is één meetpunt op willekeurig welke plaats representatief voor de gehele stroom. In de stelseluitlaat kan een volledig gemengde stroming tot stand worden gebracht door een roerder te installeren in de uitlaat of in de laatste put voor de uitlaat. De meest ideale manier om een volledig gemengde uitgaande stroom van de ontvangbak te verkrijgen, is het water uit de drie effluentpijpjes over te laten storten in één grote bak, van waaruit het voorts overstort in het oppervlaktewater. Het overstorten in de bak zorgt voor turbulentie en menging, mocht deze menging nog onvoldoende blijken, dan moet in de overstortbak eveneens een roerder worden aangebracht.

In het andere geval, wanneer niet in de stromingssituatie wordt ingegrepen, moeten de variaties in de samenstelling van de stroom over de doorsnede worden vastgesteld.

Om een besluit te kunnen nemen over de optimale inrichting van de meetpunten, zou gedurende een periode waarin minimaal vijf hevige en vijf kleine buien vallen, een continumeting moeten

worden uitgevoerd om variaties in de samenstelling te registreren als functie van de plaats in de doorsnede van de uitlaat, in de loop van de tijd. De parameters die hiervoor het meest geschikt zijn, zijn geleidbaarheid en temperatuur en eventueel zuurstof. Deze zouden moeten worden gemeten op drie verschillende diepten in de doorsnede van de stelseluitlaat en in het midden van elk van de drie effluentpijpjes van de bak. Op een aantal kenmerkende tijdstippen, b.v. na vijf dagen droog weer, tijdens een hevige regenbui, tijdens een kleine bui, in het begin van een bui, kort na afloop van een bui, kunnen monsters worden genomen ter plaatse van de registratiepunten. Deze monsters hebben tot doel te kunnen controleren of de variaties in geleidbaarheid en temperatuur een goed beeld geven van de variaties in de concentraties van een aantal stoffen in het water. Deze controle kan plaatsvinden aan de hand van analyses van de volgende parameters: chloride, als onveranderlijke stof, CZV, een maat voor organisch afbreekbare stof en totaal-fosfaat, een stof die zeer goed aan slib hecht.

Na afloop van deze periode van continumetingen moet duidelijk zijn hoe de samenstelling van de afvoerstromen varieert en op welke manier een representatieve monstername van beide stromen kan worden verzekerd. De optimale inrichting van de twee meetpunten vloeit hieruit voort.

## 2) Begin- en eindtijdstip van de vuiluitworpmeting

Het is onmogelijk om een scherp begin- en eindtijdstip aan te duiden voor de vuiluitworp ten gevolge van een regenbui. Via de stelseluitlaat stroomt bij het begin van de regenbui nog enige tijd drainagewater uit, dat in de onderdrempelberging van het stelsel aanwezig was. Wanneer het ophoudt met regenen, loopt de regenwaterafvoer vanuit het stelsel nog enige tijd door. Wanneer zich vervolgens een evenwichtsdebiet instelt, heeft het regenwater nog altijd het stelsel niet geheel verlaten. Tot op het moment waarop dit wel het geval is, vindt waarschijnlijk gedurende langere tijd menging van drainage- en regenwater plaats en een exact eindpunt van de vuilafvoer, uitsluitend door regenwater, is er niet. Een andere situatie waarin zich meerdere afvoeren vermengen, doet zich voor wanneer korte tijd na het einde van een regenbui een tweede regenbui valt. Het is aannemelijk dat de afvoeren van beide buien onderling en mogelijk bovendien met drainagewater, vermengd raken. De mate waarin dat gebeurt is niet te achterhalen, de vuiluitworp ten gevolge van de afzonderlijke buien evenmin.

Indien in de ontvangbak sprake zou zijn van een ideale propstroming, zouden de moeilijkheden bij het vaststellen van begin- en eindtijdstip van de vuiluitworp via de uitlaat exact gelijk zijn aan de problemen die spelen voor de stelseluitlaat. In de ontvangbak doen zich allerlei nog onbegrepen processen voor, die ervoor zorgen dat het duister blijft hoe het regenwater en het vuil dat met het regenwater mee komt, zich door de bak verplaatsen. Alleen uitgebreide metingen die voorzien in voldoende aanvullende informatie, kunnen hierin helderheid brengen. Met de huidige gegevens is er geen zinvolle uitspraak mogelijk over de herkomst van de stoffen die in de uitgaande stroom van de bak worden aangetroffen; of ze afkomstig zijn van de drainageafvoer in de voorafgaande droge periode of misschien in een eerdere droge periode; of van de regenwaterafvoer van de laatste bui of misschien van de voorlaatste bui; of, en dat is het meest waarschijnlijk, van een mengsel van drainage- en regenwater van de voorafgaande droge en natte perioden, in onbekende verhoudingen.

Van de vuilafvoer uit de ontvangbak is zelfs niet globaal aan te geven aan welke regenbui of droge periode deze is gerelateerd.

Het voorgaande leidt tot de onvermijdelijke conclusie dat de vuiluitworp ten gevolge van een regenbui niet afzonderlijk kan worden bepaald en dat een vergelijking van de vuiluitworp uit het stelsel en uit de bak ten gevolge van een bui onmogelijk is. Het is daarentegen wel mogelijk om een balans op te maken over een langere periode van een maand, een half jaar of een jaar, waarbij



de betrouwbaarheid van de balans groter wordt naarmate deze periode langer is. Dit heeft als consequentie dat de metingen zich zullen moeten uitstrekken over zowel natte als droge perioden, die beide, zonder onderbreking, moeten worden bemonsterd. De monsternamefrequentie die in de huidige opstelling voor regenperioden geldt, kan worden gehandhaafd en kan gedurende het eerste gedeelte van een droge periode na een bui onveranderd blijven. Naarmate een droge periode langer duurt en de stromingssituatie zich verder stabiliseert, kan naar een lagere monsternamefrequentie worden overgeschakeld.

Tenslotte is het van belang over betrouwbare debietmetingen te kunnen beschikken voor zowel de stelseluitlaat als de uitlaat van de bak. De effluentdebietmeter is inmiddels geijkt en de verschillen in uitstroming via de drie pijpjes, die alleen bij zeer lage debieten significant zijn, zijn vastgelegd. Daarnaast moet voor grote buien, die over de overstortrand van de bak stromen, de exacte relatie worden bepaald tussen de overstorthoogte boven de rand en het afvoerdebiet over de rand. Dit debiet volgt uit de meting van de influentdebietmeter. Het is zeer belangrijk dat deze goed geijkt wordt. De influent- en effluentdebietmeter beslaan elk een verschillend meetgebied, waarbij een kleine overlap tussen de meetgebieden bestaat. Dit betekent dat er vrijwel geen mogelijkheid is om de waterbalans voor de ontvangbak aan de hand van metingen te controleren.

Om toch voldoende op deze waterbalans te kunnen vertrouwen, moet in ieder geval de waterstandsregistratie in de bak zeer betrouwbaar zijn. Daartoe dienen de waterstandsmeters met regelmatige tussenpozen b.v. twee maanden opnieuw te worden gecalibreerd.

#### **10.4 Samenvatting aanpassing meetopstelling**

Kort samengevat zijn de voorstellen voor het verbeteren van de meetopstelling de volgende:

1. Verplaatsen effluentmeetpunt naar uitlaat van de bak
2. Bewerkstelligen volledig gemengde stroming in stelseluitlaat en bij uitlaat van de bak. Dit laatste kan gebeuren door een bak aan te brengen achter de uitlaat van de bak, waarin de drie effluentpijpjes overstorten.
3. Metingen van de waterkwaliteit continu uitvoeren, dat wil zeggen doorgaande metingen tijdens regenbuien en tijdens droog weer. Dit teneinde een balans op te kunnen stellen voor de ontvangbak voor een lang aaneengesloten periode.
4. Zorg dragen voor betrouwbare debietmetingen in de stelseluitlaat en bij de uitlaat van de ontvangbak.



## 11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### *Algemene conclusie met betrekking tot modelleren van de vuilafvoer binnen het regenwaterafvoerproces*

De gegevens die voortkomen uit het meetproject Julianapark zijn niet toereikend om de vuilafvoer in het systeem modelmatig te kunnen beschrijven. De ervaringen opgedaan in het meetproject Julianapark tonen zelfs aan dat zich bij de vuilafvoer zodanig ingewikkelde processen voordoen, dat het een zeer moeilijke opgave is deze processen op een nauwkeurige en betrouwbare manier te meten. Dit geldt voor de stroming en de vuilafvoer, niet alleen in het regenwaterstelsel, maar ook in de ontvangbak, die in het Julianapark als vuiluitworp-reducerende voorziening is aangebracht.

### 11.1 Conclusies ten aanzien van afvoerprocessen met betrekking tot waterkwantiteit

#### *Hydrodynamische processen van regenwaterafvoer*

De beschrijving van het hydrodynamische deel van het regenwaterafvoerproces heeft een veel grotere mate van nauwkeurigheid dan met betrekking tot de vuilafvoer kan worden bereikt. De hydraulica van de stroming in het stelsel is voldoende bekend om de stromingsprocessen goed in een model te kunnen vastleggen. De beschrijving van het oppervlakte-afstromingsproces daarentegen, bevat nog veel onzekerheden. Welke processen hierbij een rol spelen is bij benadering bekend, maar niet hoe ze precies verlopen, noch hoe ze modelmatig kunnen worden beschreven.

Er bestaan verscheidene modellen voor het oppervlakte-afstromingsproces die soms op een deels overeenkomstige, soms op een volledig verschillende manier neerslagverliezen en afstromingsvertraging op het oppervlak in rekening brengen. Dit gebeurt via modelmatige relaties die echter geen degelijke fysische basis hebben. Daar komt bij dat de parameters in deze relaties waarschijnlijk sterk afhankelijk zijn van de regionale of zelfs lokale omstandigheden.

#### *Simulatie-modellen voor stroming in rioolstelsels*

De niet-stationaire modellen die de hydrodynamica van het regenwaterafvoerproces simuleren gaan uit van dezelfde hydraulische vergelijkingen voor de stroming in het stelsel. De processen die het ene of het andere model in rekening brengt voor de oppervlakte-afstroming komen doorgaans niet overeen. De modellen bevatten alle een aantal default-waarden voor kenmerken van het stelsel en voor parameters in het stromingsproces. Het is moeilijk te achterhalen voor welke kenmerken of parameters een model default-waarden gebruikt en hoe groot deze waarden zijn. De modellen verschillen in hun keuze voor de kenmerken of parameters waarvoor ze een default-waarde aannemen en in de grootte die ze voor de waarde kiezen. Dit maakt het uitermate moeilijk om de resultaten van de modellen onderling te vergelijken.

Naast de onnauwkeurigheid van de modellering van het oppervlakte-afstromingsproces, zijn de default-waarden en het gebrek aan inzicht in deze waarden, er de oorzaak van dat de uitkomst van de simulaties van het regenwaterafvoerproces aan betrouwbaarheid inboet.

#### *Simulatieresultaten voor het stelsel Julianapark*

Aan de hand van de resultaten van het meetproject Julianapark konden voor de situatie aldaar de relaties in het simulatiemodel zodanig worden gedefinieerd dat ze het afvoerproces goed beschrijven voor een bepaald type regengebeurtenissen. Het bleek niet mogelijk relaties zodanig te definiëren dat ze alle soorten regenbuien goed weergeven.

## **11.2 Conclusies ten aanzien van uitvoering meetproject Julianapark**

### *Doelstelling van het meetproject Julianapark*

Het meetproject Julianapark richt zich op het totale systeem van regenwaterafvoer, inclusief oppervlakte-afstroming, stroming in het stelsel en stroming in de ontvangbak, voor de analyse van zowel de kwantiteits- als de kwaliteitsaspecten. In dit totale systeem blijken zich te veel ingewikkelde processen af te spelen om ze allemaal binnen één onderzoek te kunnen bestuderen. Om de helderheid binnen het onderzoek te behouden moet het zich beperken tot enerzijds de hydrodynamische aspecten van de stroming in het stelsel, anderzijds het rendement van de ontvangbak voor de vuiluitworp van het afgevoerde water.

Teveel onbekende factoren zijn van invloed op de vuilafvoer uit het stelsel om van het verloop van de vuilafvoer een betrouwbare analyse te kunnen uitvoeren. Om dit mogelijk te maken zouden deze factoren afzonderlijk moeten worden geïdentificeerd en gekwantificeerd. Dit zou een enorme uitbreiding vragen van de onderzoeksinspanningen.

De stromingsprocessen in de ontvangbak zijn zeer gecompliceerd en om deze te kunnen beschrijven is veel gedetailleerder onderzoek noodzakelijk gecombineerd met een zeer gedegen kennis van de vloeistofmechanica. Dit past evenmin binnen de huidige onderzoeksdoelstelling.

Dit heeft als consequentie dat binnen het huidige onderzoek het modelleren van de vuilafvoer onmogelijk is evenals het modelleren van de werking van de ontvangbak.

### *Registratie van gegevens met betrekking tot de waterkwantiteit*

De nauwkeurigheid van de neerslag- en debietmetingen is voldoende om deze gegevens te kunnen gebruiken voor de calibratie van een simulatiemodel voor de stroming in het stelsel. Dit hangt samen met de mate van nauwkeurigheid die het model in zijn simulatieberekeningen kan bereiken. Wanneer deze gegevens de basis vormen voor vuilvrachtberekeningen voor de in- en uitgaande stroom van de ontvangbak moet op een aantal punten grotere nauwkeurigheid worden betracht. Dit teneinde voldoende betrouwbare balansen te kunnen opstellen voor de vervuilende stoffen die de bak binnenkomen en uitgaan. Onnauwkeurigheden in de debietgegevens werken in dergelijke balansen sterk door. Bovendien is een voorwaarde voor een betrouwbare beschouwing van de afgevoerde vuilvrachten, dat hieraan een groot aantal volledige metingen ten grondslag ligt. Er mogen dus geen hiaten in de meetreeksen voorkomen, die ontstaan door fouten of te grote onnauwkeurigheden in de metingen. De handelingen die noodzakelijk zijn om de betrouwbaarheid van de kwantiteitsmetingen op te voeren, zijn ijking in de praktijksituatie van de influent-debietmeter, ijking van de stroming over de overstortrand, regelmatig herhaalde calibratie van de waterstandsmeters.

### *Registratie van gegevens met betrekking tot waterkwaliteit*

Het huidige meetpunt E is niet representatief voor de uitgaande stroom van de bak, dit moet daarom worden verplaatst. Daarnaast is het van belang ervoor te zorgen dat de meetpunten I en E representatief zijn voor de ingaande respectievelijk de uitgaande stroom. Een groot aantal parameters uit het uitgebreide analysepakket blijkt niet interessant voor registratie, omdat deze niet bijdrage aan een beter beeld van de werking van de ontvangbak. De analyse van deze parameters kan worden stopgezet.

## **11.3 Conclusies uit analyses meetgegevens**

### *Conclusies analyse concentratie-verloop in de tijd*

Het concentratie-verloop in de stelseluitlaat maakt het aanemelijk dat het stelsel zich gedraagt als een volledig gemengd systeem. In het concentratie-verloop doen zich verschijnselen voor die uit

de beschikbare informatie niet zijn te verklaren. Uit het verloop van de concentraties in het meetpunt E zijn geen conclusies te trekken over de werking van de bak, omdat dit meetpunt niet representatief is voor de uitgaande stroom.

De concentratie-metingen tijdens de droge perioden tonen aan dat de concentraties aan chloride, CZV, stikstof en fosfaat in het drainagewater vele malen hoger zijn dan in het regenwater.

#### *Conclusies uit analyse van vrachten tijdens buien en droge perioden*

De chloridebalans voor de bak klopt noch tijdens buien, noch gedurende droge perioden. Hiervoor zijn drie mogelijke oorzaken aan te wijzen. De eerste is dat de metingen in één van de of in beide meetpunten niet representatief zijn voor de ingaande of de uitgaande stroom, de tweede dat de methode om de berging in de ontvangbak te berekenen niet klopt, de derde dat er een externe bron is van vervuilende stoffen.

#### *Conclusies uit de metingen van de geleidbaarheid in de bak*

Er is sprake van een sterke verticale gradiënt in de bak bij droog weer evenals kort na een regenbui.

#### *Conclusies die volgen uit de resultaten van het totaal van alle metingen*

Met deze resultaten is het niet mogelijk om een model op te stellen voor de werking van de bak, noch om een uitspraak te doen over het rendement van de bak. De belangrijkste oorzaak hiervoor is de verkeerde lokatie van het meetpunt E, waardoor de concentraties in dit meetpunt niet representatief zijn voor het water dat uit de bak stroomt. Een tweede oorzaak is dat de overgang van droogweer- naar regenafvoer en terug geleidelijk plaatsvindt en gepaard gaat met een onbekende maar beduidende mate van menging van de droogweer- en de regenafvoerstroom. Dit heeft tot gevolg dat er geen begin- en eindpunt is aan te duiden van de vuilafvoer ten gevolge van een bui. De consequentie is dat er alleen een balans kan worden opgesteld voor de vuilafvoer over een lange aaneengesloten periode die door een ononderbroken meetreeks moet worden bestreken.

### **11.4 Conclusies over verloop en voortgang van het meetproject Julianapark**

#### *Beheersing gegevensstromen*

De brede opzet van het onderzoek leidt tot een zeer grote hoeveelheid gegevens. Dit maakt het moeilijk een overzicht te krijgen van alle factoren die in het totale systeem, dat onderwerp is van het onderzoek, een rol spelen en tevens van de factoren die de processen in het systeem verstoren. Dit leidt tot een gebrek aan helderheid in het onderzoek en belemmert het inzicht in de processen waarop het onderzoek zich richt.

De veelheid en verscheidenheid aan gegevens in combinatie met de verschillende herkomst ervan bemoeilijkt in dit project een snelle en efficiënte verwerking van de gegevens. Dit proces van het overhevelen van gegevens van de ene instantie naar de andere en het combineren van verschillende soorten gegevens, kan alleen worden versoepeld door ervaring en goede communicatie.

#### *Betrouwbaarheid meetresultaten*

Het is in het verloop van het meetproject van onschatbaar belang gebleken om veel aandacht te besteden aan de inrichting van de meetopstelling, opdat betrouwbare meetresultaten worden verkregen en meetresultaten die bijdragen aan de doelstelling van het onderzoek. De complexiteit van de vuilafvoerprocessen wordt veelvuldig onderschat, zo ook in de eerste fase van dit onderzoek. Dit heeft geleid tot een hoeveelheid niet- of moeilijk interpreteerbare gegevens. In de eerste plaats betreft dit de meetresultaten in het meetpunt E, die niet representatief zijn gebleken voor de uitgaande stroom. In de tweede plaats is er een groot aantal metingen uitgevoerd met een

frequentie die te laag is om de meetresultaten te kunnen verklaren. Dit geldt voor de kwaliteitsparameters die alleen aan het begin en aan het eind van de bui zijn gemeten, waardoor het onmogelijk wordt de processen die aan de variaties in deze meetresultaten ten grondslag liggen, te beschrijven. Daarnaast is duidelijk geworden dat het uitvoeren van kwaliteitsmetingen, uitsluitend tijdens een regenbui, niet de gewenste informatie oplevert om conclusies te kunnen trekken over de processen die zich afspelen in het systeem. Hiervoor zijn doorlopende metingen over lange aaneengesloten perioden noodzakelijk.

Wanneer aan de complexiteit van de vuilafvoerprocessen, zoals die in dit onderzoek naar voren is gekomen, zou worden voorbijgegaan, bestaat er een groot gevaar dat uit de onderzoeksresultaten ongefundeerde en slecht beargumenteerde conclusies worden getrokken. Dit is niet het doel van dergelijk onderzoek. Daarom moet het streven naar begrip van de processen die zich afspelen in het systeem dat onderwerp is van het onderzoek, steeds voorop staan. Dit verhoogt in sterke mate de waarde van de conclusies die uit het onderzoek voortkomen.

#### *Flexibiliteit meetprogramma*

Het programma van het meetproject Julianapark ging uit van directe verwerking van de meetresultaten, met als doel het meetprogramma in de loop van het project te kunnen bijstellen, wanneer zich ontwikkelingen zouden voordoen die zouden leiden tot nieuwe inzichten in de werking van het systeem en een daarmee gepaard gaande benodigde verandering van de opzet van de metingen. Dit uitgangspunt is in de loop van het onderzoek zeer zinvol gebleken. Naarmate de ongrijpbaarheid van de processen die zich in het systeem afspelen duidelijker naar voren kwam, konden aanpassingen in het meetprogramma worden doorgevoerd om deze processen beter te kunnen verklaren. Hieruit zijn de twee droogweermetingen voortgevloeid en uiteindelijk leidden de niet te verklaren resultaten van deze metingen tot het uitvoeren van de meetsessies. Daarnaast was het mogelijk beslissingen te nemen over de wenselijkheid van de voortzetting van sommige metingen, met name van een aantal analyses.

#### *Verbetering meetopstelling*

Het uiteindelijke resultaat van de tussentijdse verwerking en analyse van de meetresultaten is dat de meetopstelling wordt verbeterd. Het meetpunt E wordt verplaatst naar de uitgaande stroom van de bak. Om de effluentpijpjes zal een manchet worden aangebracht waarin het water uit de effluentpijpjes overstort en van waaruit de monsterstroom voor het effluent van de ontvangbak zal worden afgeleid. Het meetprogramma verandert voor de monsternamen in het meetpunt voor de uitgaande stroom. Deze zal zowel tijdens droge als tijdens natte perioden plaatsvinden, om een ononderbroken reeks van meetresultaten te verkrijgen.

### **11.5 Aanbevelingen**

#### *Belang van onderzoek vuilafvoerprocessen in rioolstelsels*

Over de processen die zich afspelen bij de vuilafvoer in rioolstelsels, gemengde zowel als regenwaterstelsels, is zeer weinig bekend. Het onderzoek naar deze processen bevindt zich nog in een beginstadium. Ondertussen wordt er veel belang gehecht aan het beperken van de vuiluitworp uit rioolstelsels. Hiertoe zijn regels en wetten uitgevaardigd en op basis hiervan worden kostbare maatregelen getroffen, waarvan het effect op de vuiluitworp niet bekend is.

Het belang van de vuiluitworpproblemen en de hoge kosten die met de vuiluitworbepenkende maatregelen gepaard gaan, rechtvaardigen uitgebreid en diepgaand onderzoek naar de vuilafvoerprocessen in rioolstelsels. Alleen uitgebreid en langdurig onderzoek, waarin lange gegevensreeksen worden verzameld, kan uitsluitsel geven, in de eerste plaats over de ernst van het vuiluitworpprobleem, in de tweede plaats over de meest geschikte methoden om de vuiluitworp te verminderen en over het effect van deze methoden.



*Definitie onderzoeksdoel*

De complexiteit van de vuilafvoerprocessen in rioolstelsels vereist een zeer gedegen opzet van het onderzoek van deze processen. Het belangrijkste aandachtspunt hierbij is een goed gedefinieerd onderzoeksdoel. Dit bevordert de helderheid van het onderzoek en zorgt voor een efficiënte uitvoering ervan, waarbij neveneffecten die voor het onderzoeksdoel niet van direct belang zijn, buiten beschouwing blijven.

*Oriënterend onderzoek*

Bij het onderzoek naar vuilafvoerprocessen moet er steeds rekening mee worden gehouden dat zich onverwachte en onverklaarbare verschijnselen kunnen voordoen tijdens het onderzoek, doordat de kennis over de onderzochte processen nog zo gering is. Het verdient daarom aanbeveling om voorafgaand aan de start van het eigenlijke onderzoek, het gedrag van het systeem dat onderwerp is van het onderzoek, zoveel mogelijk in beeld te brengen. Dit kan gebeuren door in een systeem gedurende een periode van enkele maanden tot een jaar, afhankelijk van de complexiteit van de bestudeerde processen, eenvoudige metingen uit te voeren, zoals waterstandsregistratie, eenvoudige debietregistraties door middel van een V-schot, temperatuur-, geleidbaarheids- en pH-metingen. De keuze van de uit te voeren metingen hangt samen met de aard van het onderzoek en het onderzochte systeem. Dit oriënterend onderzoek voorkomt dat tijdens het definitieve onderzoek blijkt dat metingen op een verkeerde manier worden uitgevoerd, waardoor de resultaten onbruikbaar worden. Bovendien draagt het in sterke mate bij aan de interpretatie van de meetresultaten. Wanneer het gedrag van het systeem voldoende bekend is, kan een optimaal onderzoeksprogramma worden gedefinieerd en een betrouwbare meetopstelling worden ontworpen.

*Flexibiliteit meetprogramma*

Tijdens het meetproject Julianapark is ervaring opgedaan met de directe verwerking en interpretatie van de meetresultaten. Dit is voor het verloop van het onderzoek zeer zinvol gebleken. Zelfs wanneer voorafgaand aan het definitieve onderzoek een oriënterend onderzoek is uitgevoerd, kunnen zich tijdens de meetperiode onverwachte verschijnselen voordoen. Hierop kan met een flexibel meetprogramma indien nodig worden gereageerd door het programma bij te stellen. Een ander groot voordeel van een flexibel meetprogramma is dat tijdens het onderzoek direct antwoorden kunnen worden gezocht op gerezen vragen, door de metingen specifiek hierop te richten. Meer of juist minder gedetailleerde informatie kan naar de behoefte die in de loop van de meetperiode blijkt, worden verkregen.

Deze 'pseudo-real time control' van het onderzoek biedt de mogelijkheid de metingen op een doelgerichte wijze uit te voeren en meer informatie uit de metingen te verkrijgen zonder dat dit leidt tot overschrijding of uitbreiding van het onderzoeksbudget. Door niet-productieve metingen achterwege te laten en waar mogelijk de meetfrequentie te verlagen, ontstaat ruimte om metingen toe te voegen, de frequentie van metingen te verhogen, waarvan de meetresultaten hiertoe aanleiding geven, en kleine aanvullende meetcampagnes uit te voeren om processen in beeld te brengen die door hun kleine reactietijd een zeer hoge meetfrequentie vereisen.

## REFERENTIES

- [1] Ir. K. Bakker, ir. J.L. Timmer, ir. L.D.M. Wensveen, De vuiluitworp van gescheiden rioolstelsels. NWRW-rapport 5.3. 's Gravenhage: Ministerie van VROM, STORA, 1990.
- [2] Ir. E.N. Boere, Hydrologisch onderzoek Julianapark. Amsterdam: Grondmechanica Amsterdam, 1990.
- [3] Prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf, Behandeling van afvalwater I N50. Delft: Technische Universiteit, Faculteit de Civiele Techniek, 1995.
- [4] Ing. A.G. van den Herik, Ir. H. van Luytelaar, Neerslag, inloop, overstortmodel. Beschrijving en analyse. NWRW-rapport 4.3. 's Gravenhage: Ministerie van VROM, STORA, 1989.
- [5] Ing. D. ten Hove, ir. L.D.M. Wensveen, Interimrapport inzake het onderzoek naar vuilemissie van rioolstelsels. NWRW-rapport 5.1. 's Gravenhage: Ministerie van VROM, STORA, 1987.
- [6] Hydroworks, Simulatie-programma voor stroming in rioolstelsels. Wallingford Software. Antwerpen, 1995.
- [7] Dr. H.P. Lopuhaä, ir. B.C. van Zomeren, Toegepaste Statistiek B A94. Delft: Technische Universiteit, Faculteit der Wiskunde en Informatica, 1994.
- [8] K.H. Reckhow, S.C. Chapra, Engineering approaches for lake management. Volume 1: Data analysis and empirical modeling. Boston: Butterworth Publishers, 1983.
- [9] Prof.ir. J.B.M. Wiggers, Inzameling en transport van afvalwater I N31. Delft: Technische Universiteit, Faculteit der Civiele Techniek, 1994.
- [10] Prof.ir. J.B.M. Wiggers, Inzameling en transport van afvalwater II N32. Delft: Technische Universiteit, Faculteit de Civiele Techniek, 1994.



## Bijlage I Gegevens wijk Julianapark en meetplan project

### I.1 Kenmerken van het gebied

De wijk Julianapark is een nieuwbouwwijk in Amsterdam, aangelegd in 1990, gelegen naast het station Amsterdam Amstel. De wijk maakt onderdeel uit van de Watergraafsmeer, een diepe polder, en ligt op 5 à 5.5 m beneden NAP. Het Julianapark bestaat voor een deel uit een voormalig volkstuinencomplex, waarvan de bovenste 0.5 à 1.0 m grond is afgegraven toen de wijk werd gebouwd. Daarna zijn de lagere delen opgehoogd met zand. De laag ophoogzand heeft een dikte van 1.0 - 1.7 m en de onderkant van de laag ligt globaal op NAP - 5.0 m. Daaronder bevindt zich klei afgewisseld met lagen veen.

In 1989 is de doorlatendheid gemeten op een aantal plaatsen in het gebied:

| Horizontale doorlatendheid | Verticale doorlatendheid |            |
|----------------------------|--------------------------|------------|
| 4 waarnemingen:            | m.v. 0.0 tot -0.6 m:     | 2.3 m/dag  |
| 0.6 - 5.3 m/dag            | m.v. -0.6 tot -1.2 m:    | 4 m/dag    |
| Gemiddeld: 3.0 m/dag       | m.v. -1.2 tot -1.8 m:    | 0.05 m/dag |

Het oppervlak dat naar het stelsel in de wijk Julianapark afvoert is gemeten. De ligging van de afvoerende oppervlakken is globaal aangegeven in figuur I.1.

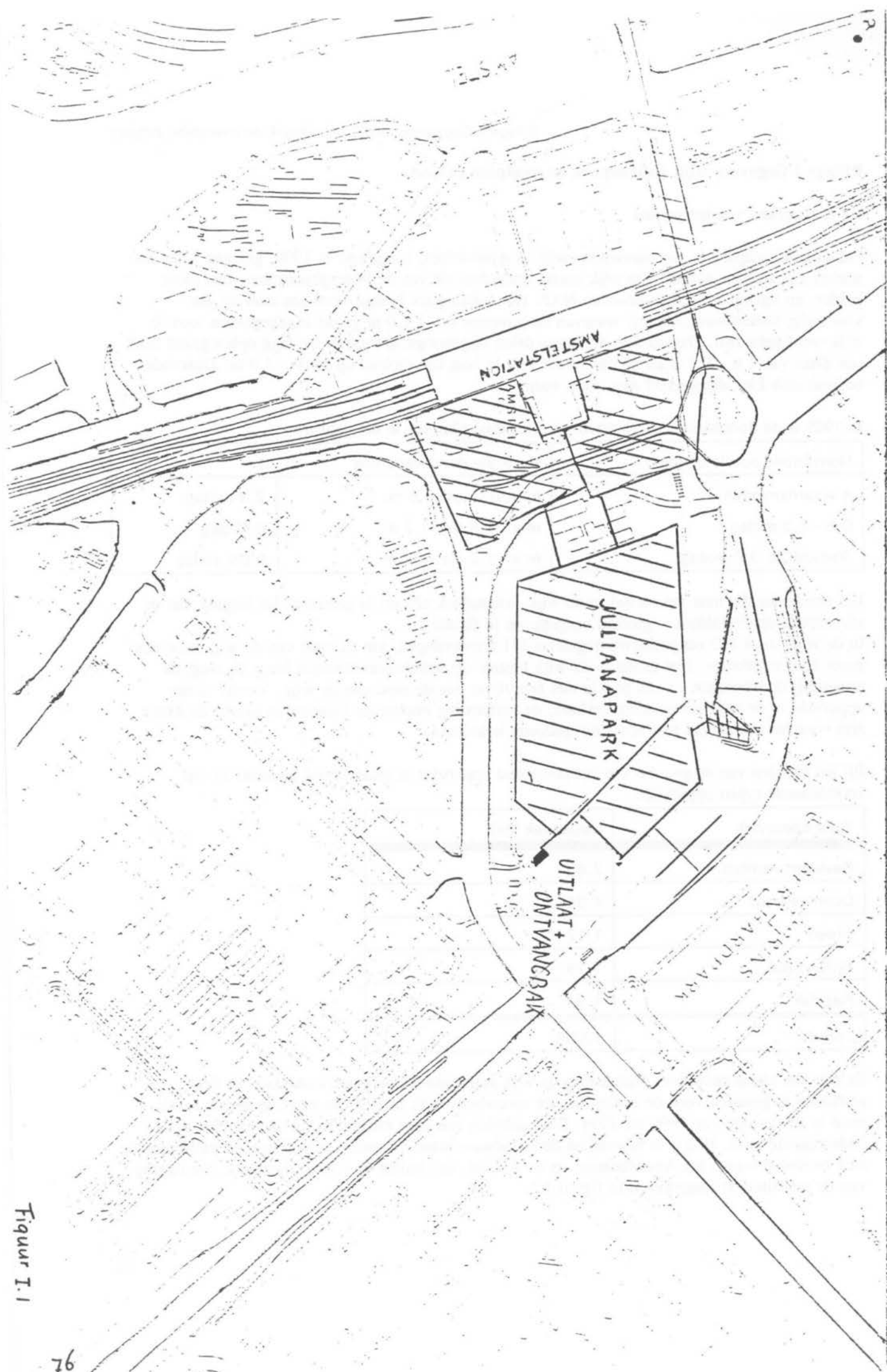
In de wijk staan 103 eengezinswoningen en 321 flatwoningen, aan de rand van de wijk staat een groot kantoorgebouw. Het groen in de wijk bestaat uit enkele plantsoentjes langs de weg, de tuinen bij de woningen en een parkje met een vijver aan de rand van de wijk. Verder is het oppervlak in de wijk grotendeels verhard, de verharding bestaat uit klinkers en asfalt, de daken zijn voor het merendeel plat een klein gedeelte is hellend.

Bij het bepalen van de grootte van het afvoerend oppervlak is onderscheid gemaakt in vijf verschillende typen oppervlak.

| Type oppervlak   | Oppervlak [ha] |
|------------------|----------------|
| Gesloten verhard | 2,83           |
| Open verhard     | 4,99           |
| Groen            | 1,17           |
| Hellend dak      | 1,19           |
| Plat dak         | 1,89           |
| Totaal           | 12,08          |

Er zijn een aantal peilfilters geplaatst in de wijk Julianapark. De grondwaterstand in deze peilfilters is gemeten voor de aanleg van de nieuwbouwwijk in 1990 en vervolgens een aantal maal in de periode van 1990 tot 1994. De resultaten van deze metingen zijn samengevat in de onderstaande tabel. Hierin is bovendien de grondwaterstand vermeld van een tweetal peilfilters die zich bevinden tussen het Amstelstation en de Amstel, dus buiten de wijk Julianapark. De ligging van de peilfilters is aangegeven in figuur I.2.

1:5000



Figuur I.1

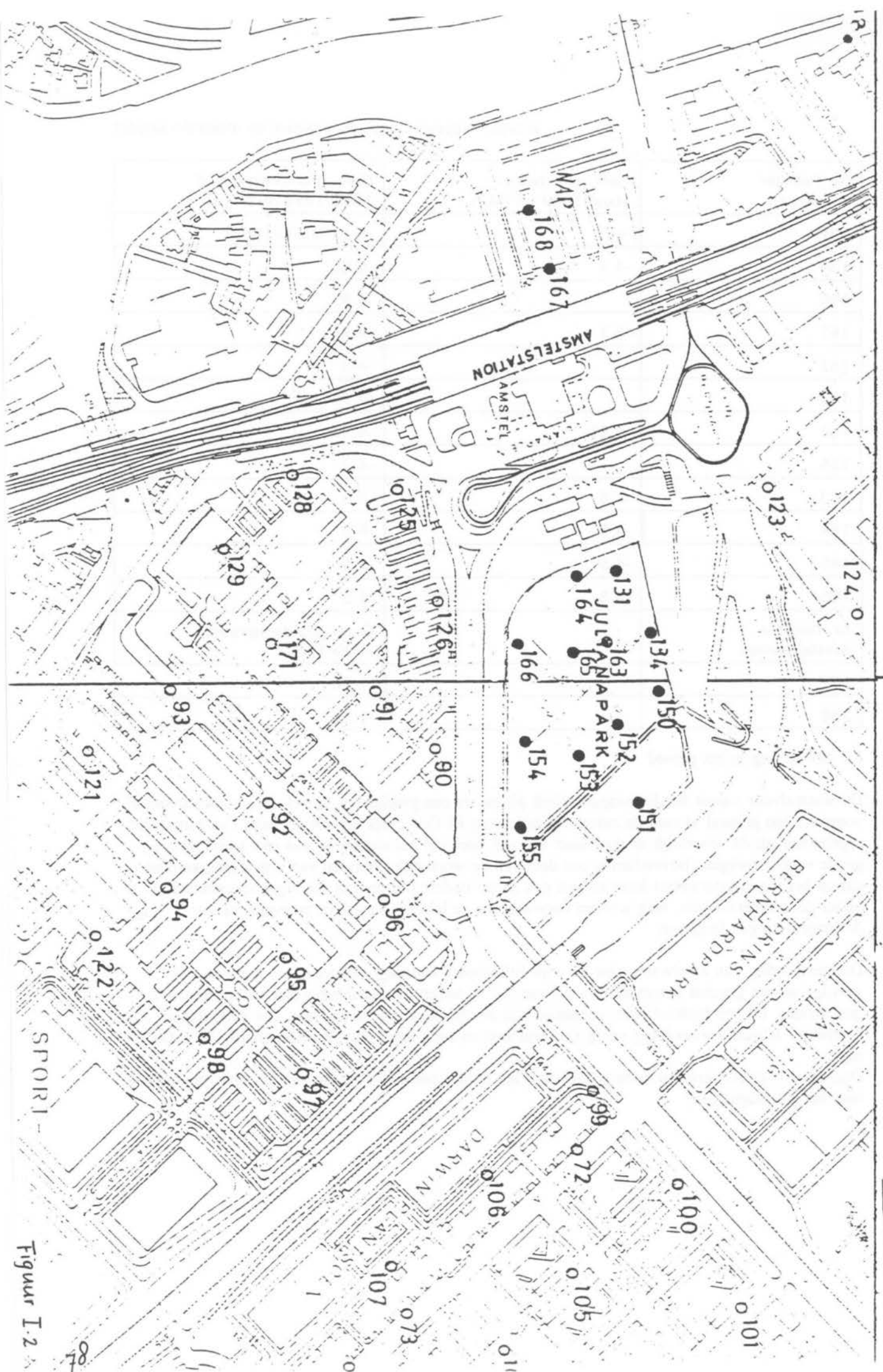
| Nr. Peilfilter<br>Julianapark    | Gem. grondwater-<br>stand 1989 [m NAP] | Gem. grondwaterstand<br>1990-1994 [m NAP] |
|----------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| 131                              | -4.1                                   | -5.15 (1990-1991)                         |
| 134                              | -4.4                                   | -4.85                                     |
| 150                              |                                        | -4.95                                     |
| 151                              | -5.1                                   | -4.9                                      |
| 152                              |                                        | -4.9                                      |
| 153                              |                                        | -4.95                                     |
| 154                              | -4.95                                  | -4.95                                     |
| 155                              |                                        | -4.7                                      |
| 163                              | -4.6                                   | -5.0                                      |
| 164                              | -4.3                                   | -5.0                                      |
| 165                              | -4.5                                   | -4.9                                      |
| 166                              | -4.8                                   | -4.5                                      |
| Nr. Peilfilter<br>Amstel-station |                                        | Gem. grondwaterstand<br>1993-1994         |
| 167                              |                                        | -1.15                                     |
| 168                              |                                        | -1.15                                     |

## I.2 Afwatering in het gebied

De waterafvoer vanuit het Julianapark vindt plaats via een gescheiden stelsel. Het vuilwaterstelsel voert via een gemaal af naar de zuiveringsinrichting RI Oost. Het regenwaterstelsel verzamelt het regenwater uit de woonwijk en daarnaast van een deel van het station en van een aantal naastliggende verkeerswegen. Bovendien is een deel van de woonwijk voorzien van een drainagestelsel dat op het regenwaterstelsel loost en van een aantal oudere buizen van het regenwaterstelsel, m.n. onder de verkeerswegen, mag worden verwacht dat ze lekken, waardoor ze eveneens als drainageleidingen fungeren.

De toestroming van kwelwater naar de wijk Julianapark bedraagt ongeveer 1.7 mm/dag, als gevolg van een geschat potentiaalverschil van 3.4 m tussen het spanningswater en het freatisch grondwater, bij een hydraulische weerstand van de afsluitende holocene laag van 2000 dagen. Het kwelwater is naar verwachting matig ijzerhoudend en bezit een hoog chloridegehalte (> 1000 mg/l).

Daarnaast is er een grondwaterstroom vanuit het terrein ten noordwesten van het onderzoeksgebied het Julianapark in.



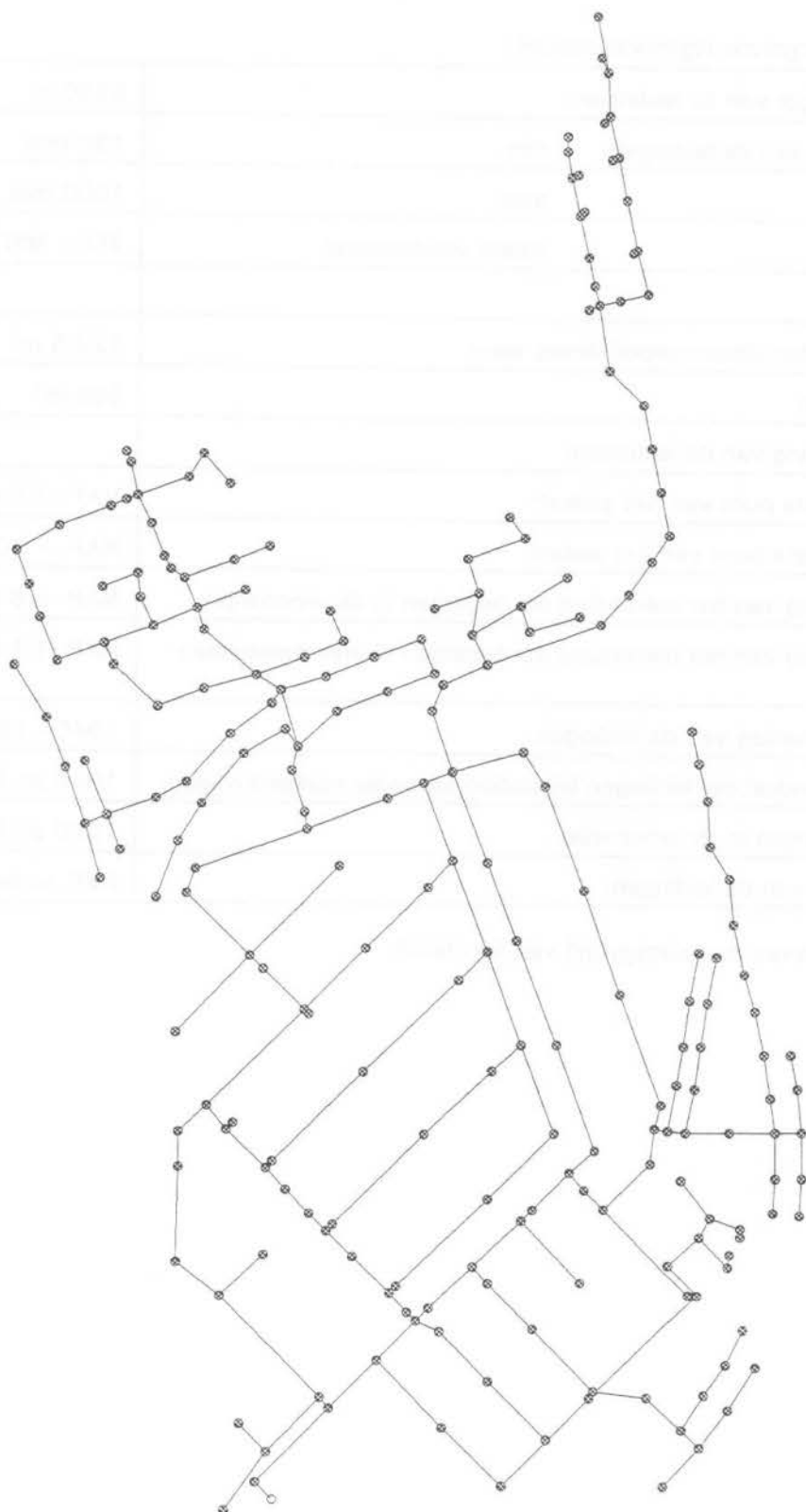
1:5000

Figure I.2

Overzicht gegevens regenwaterstelsel:

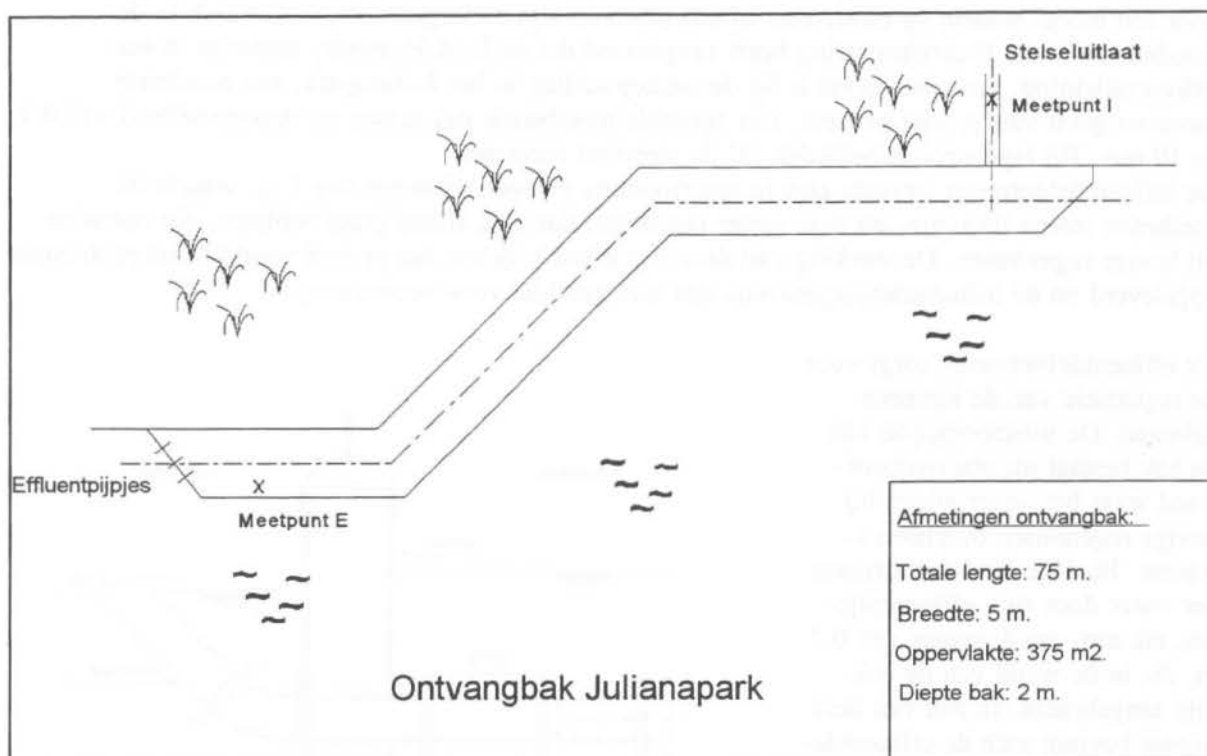
|                                                                |                      |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Totale lengte van de leidingen:                                | 5580 m               |
| Diameters van de leidingen: min.                               | 150 mm               |
| max.                                                           | 1000 mm              |
| meest voorkomend:                                              | 250 - 300 mm         |
| Berging:                                                       |                      |
| beneden uitstroompeil droog weer:                              | 127,5 m <sup>3</sup> |
| totaal:                                                        | 566 m <sup>3</sup>   |
| Diepteligging van de leidingen:                                |                      |
| Diepste punt van het stelsel:                                  | NAP -7,0 m           |
| Hoogste punt van het stelsel:                                  | NAP + 1,0 m          |
| Ligging van het merendeel der leidingen in de woonwijk:        | NAP -5,6 tot -4,7 m  |
| Ligging van het merendeel der leidingen bij het Amstelstation: | NAP -1,1 tot -0,5 m  |
| Jaar van aanleg van de leidingen:                              | 1940 - 1992          |
| Merendeel der leidingen bij station en onder verkeerswegen:    | 1940 en 1959         |
| Leidingen in de woonwijk:                                      | 1990 en 1992         |
| Materiaal van de leidingen:                                    | PVC en beton         |

Figuur I.3 toont een plattegrond van het stelsel.



Figuur I.3





Figuur I.4 Plattegrond ontvangbak

Het regenwaterstelsel mondt uit in de waterpartij aan de rand van de wijk. In deze waterpartij is m.b.v. damwanden een ontvangbak geconstrueerd. Het water uit het regenwaterstelsel doorstroomt deze bak alvorens uit te stromen in het oppervlaktewater van de waterpartij. De bak heeft een geknikte vorm, is 75 m lang, 5 m breed en 2 m diep (zie figuur I.4).

De laatste rioolbuis, de uitlaat van het stelsel, heeft een diameter van 1 m en mondt onder water uit in de ontvangbak, de richting van de buis staat loodrecht op de hoofdstroomrichting in de bak.

### I.3 Meetplan project Julianapark.

#### I.3.1 Kwantiteitsmetingen

De kwantiteitsmetingen dienen om een waterbalans op te kunnen stellen voor de waterafvoer in het gebied en om de vertraging in de afstroming te kunnen vaststellen. Een datalogger registreert al deze fysische gegevens elke minuut, gedurende droge en natte perioden.

De neerslag wordt gemeten door een meter met een kantelbakje die op het dak van de meetcontainer staat, aan de rand van de ontvangbak. Er is een tweede regenmeter die de regen opvangt in een trechter vanwaar het regenwater in een cilindrische kamer stroomt waarin een vlotter drijft die het waterniveau detecteert. Deze meter staat op de rand van de ontvangbak, waar deze grenst aan het oppervlaktewater.

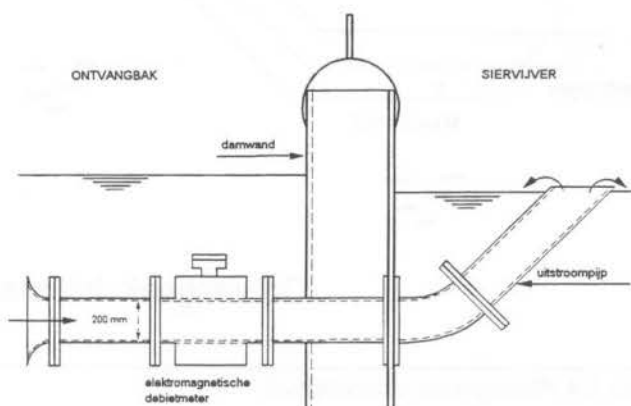
De debieten worden gemeten in de uitlaat van het regenwaterstelsel, het influentdebiet van de ontvangbak, en aan de uitstroomzijde van de bak, het effluentdebiet.

De meting van de debieten vindt plaats volgens de gesloten kanaal methode en beide meters werken op basis van het principe van de elektromagnetische debietmeting (E.M.F.). Er is gekozen voor een model waarin de elektroden in een meetkop zijn ondergebracht, welke zich in de rioolbuis bevindt. Praktijkervaring heeft aangetoond dat een E.M.F.-meter, geplaatst in een vrijvervalleiding, zoals het geval is bij de meetopstelling in het Julianapark, een maximale meetfout geeft van  $\pm$  vier procent. Het optimale meetbereik ligt tussen een stroomsnelheid van 0,1 en 10 m/s. Bij lage stroomsnelheden zal de meetfout toenemen.

De influentdebietmeter bevindt zich in een rioolbuis met een diameter van 1 m, waarin de snelheden steeds laag zijn, en deze meter registreert dan ook alleen grote debieten, die optreden bij hevige regenbuien. De werking van deze meter heeft tijdens het project voortdurend problemen opgeleverd en de influentdebietgegevens zijn niet geschikt voor verwerking.

De effluentdebietmeter zorgt voor de registratie van de kleinere debieten. De uitstroomzijde van de bak bestaat uit een overstortrand waar het water alleen bij hevige regenbuien overheen stroomt. Bij lage debieten stroomt het water door drie effluentpijpjes, elk met een diameter van 0.2 m, die in de wand van de bak zijn aangebracht. In één van deze pijpjes bevindt zich de effluentdebietmeter (zie figuur 1.5).

Tenslotte wordt het waterniveau gemeten ten opzichte van NAP. Dit gebeurt aan de instroom- en aan de uitstroomzijde van de bak en in het oppervlaktewater.



Figuur 1.5 Effluentpijpje met debietmeter

### 1.3.2 Kwaliteitsmetingen

De watermonsters worden genomen in de uitlaat van het regenwaterstelsel, de influentmonsters, en bij de uitstroomzijde van de bak, de effluentmonsters. Daarnaast worden er oppervlaktewatermonsters genomen in de aangrenzende waterpartij.

De monsternamen vindt plaats met behulp van pompelpompen, volgens het zogenaamde doorstroom-principe, dat het verkrijgen van representatieve monsters in deze situatie verzekert. Tijdens een regenbui voeren de pompen continu water aan dat in de normale stand weer terug stroomt in de ontvangbak, resp. in het oppervlaktewater. In de aanvoerleidingen zitten monsternamekleppen, die als ze daartoe een signaal krijgen, omslaan, waardoor een monsterfles in één keer wordt gevuld. Na de monsternamen schakelt de carrousel met monsterflessen door naar de volgende fles.

Er worden volumeproportionele steekmonsters genomen, volgens het zogenaamde doorstroom-principe, dat het verkrijgen van representatieve monsters in deze situatie verzekert. De bemonsteringscyclus is als volgt gedefinieerd. Het begin van de regenbui wordt geregistreerd door de regenmeter met het kantelbakje. Als er binnen 5 minuten 0.4 mm regen is gevallen gaat er een signaal naar de monsternamen-apparatuur voor het nemen van een influent-, een effluent- en

een oppervlaktewater monster. Vervolgens wordt er gedurende de regenbui steeds gelijktijdig een influent- en een effluentmonster genomen zodra er 150 m<sup>3</sup> water de effluentdebietmeter is gepasseerd. Bij het eind van de regenbui worden er opnieuw een influent-, een effluent- en een oppervlaktewatermonster genomen. Het einde van de regenbui is gedefinieerd als het moment waarop er 30 minuten lang geen neerslag is gevallen en het effluentdebiet beneden 15 m<sup>3</sup>/u komt. Op de monsters aan het begin en het einde van de bui wordt een uitgebreid pakket van analyses uitgevoerd, op de tussenmonsters slechts een beperkt pakket. Voor het bestuderen van het verloop van de waterkwaliteit van het afgevoerd water tijdens een bui, staan alleen deze gegevens ter beschikking, te weten chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof, ammonium, totaal-fosfaat en bezinkselvolume.

Op de monsters van het begin en het einde van de bui worden bovendien de volgende analyses uitgevoerd: droogrest, minerale olie, 8 zware metalen, 10 PAK-verbindingen en E-coli.

### **I.3.3 Metingen aan het slib**

Slibmonsters worden vierwekelijks genomen in 5 raaien in de bak. De parameters waarop deze monsters worden geanalyseerd zijn CZV, Kjeldahl-stikstof, totaal-fosfaat, 8 zware metalen, minerale olie, 10 PAK-verbindingen, indamprest, gloeirest en zandrest. De dikte van de sliblaag in de bak wordt eveneens vierwekelijks gemeten in de 5 raaien, om de slibaccumulatie in beeld te brengen.

### **I.3.4 Aanvullende metingen**

De kwaliteit van het hemelwater werd in eerste instantie elk kwartaal bepaald, maar in het tweede kwartaal is besloten de frequentie op te voeren naar 1x per maand.

Van de influent- en effluentmonsters wordt incidenteel de opgeloste en onopgeloste fractie geanalyseerd. Daarnaast zal er twee maal een bezinkproef worden uitgevoerd om de bezinkeigenschappen van het water in de bak vast te stellen, één keer gedurende een droge periode en één keer tijdens een zware regenbui.

In aanvulling op de metingen in en bij de ontvangbak worden een aantal keren monsters genomen in een drietal peilbuizen in de wijk Julianapark, die een indruk geven van de kwaliteit van het grondwater in het gebied. De kwaliteit van het drainagewater is grotendeels hiervan afhankelijk. Gedurende de periode van het meetprogramma worden oppervlaktewatermonsters genomen op een zestal lokaties in de directe omgeving van het Julianapark. De frequentie van deze bemonstering is zes maal per jaar.



## Bijlage II Niet-Stationaire modellen voor stroming in rioolstelsels

### II.1 Inleiding

In de loop der jaren zijn er in Nederland en in het buitenland verschillende programma's ontwikkeld die de niet-stationaire stroming in rioolstelsels simuleren. Er bestaat nog geen overeenstemming over de manier waarop dergelijke simulatieberekeningen moeten worden uitgevoerd, maar er vindt op dit moment wel veel overleg plaats om te komen tot standaardisatie van berekeningen aan rioolstelsels binnen Nederland. Hierbij gaat het er vooral om de invoer van de berekeningen te standaardiseren. Het rekenproces zelf komt, althans voor de kwantitatieve stromingsberekeningen, voor de verschillende pakketten wel ongeveer overeen. Over de manier waarop berekeningen van vuiltransport en vuilvrachten moeten worden uitgevoerd, bestaat veel minder overeenstemming.

### II.2 Gegevensbestanden voor een simulatieprogramma voor stroming in rioolstelsels

De basis van ieder simulatiepakket is het riool- of het regenwaterstelsel zelf. De gegevens van de knopen en leidingen in het stelsel die onmisbaar zijn voor een simulatieberekening zijn:

| KNOPEN                    | Gegevens                      |                      |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Topografische ligging:    | x-coördinaat                  | y-coördinaat         |
| I.v.m. water op straat:   | Ligging t.o.v. maaiveld       |                      |
| Voor bepalen rioolinloop: | Afvoerend oppervlak per knoop |                      |
| LEIDINGEN                 |                               |                      |
| Aansluiting:              | Beginknoop                    | Eindknoop            |
| Diepteligging:            | Binnenonderkant buis          | Binnenonderkant buis |
| Afmeting:                 | Diameter, of                  | Breedte/hoogte       |
|                           | Lengte                        |                      |
| Wandruwheid               | Ruwheidsparemeter             |                      |

Deze gegevens vormen het basisgegevensbestand van het rioolstelsel. Hieraan kunnen eventueel gegevens worden toegevoegd, zoals een constante droogweerafvoer, sedimentdiepte in de leiding. Het afvoerend oppervlak per knoop valt meestal uiteen in verschillende typen oppervlak, afhankelijk van helling en doorlatendheid, wat voor het bepalen van de rioolinloop van belang is.

Naast dit basisgegevensbestand is er een invoerbestand nodig dat de neerslaggegevens bevat van de regenbui die gesimuleerd wordt. Dit kan een blokregen zijn om na te gaan hoe het stelsel reageert bij een bepaalde constante belasting van bijvoorbeeld 60 l/s/ha, of een fictieve bui die representatief wordt geacht voor een belasting van het stelsel zoals die met een bepaalde herhalingsdijd voorkomt. Voor het Julianapark zijn tijdens het project ter plaatse neerslagmetingen uitgevoerd, zodat werkelijke buien kunnen worden gesimuleerd. Tenslotte bieden sommige

## Bijlagen

simulatiepakketten de mogelijkheid om de overgang van neerslag naar rioolloop te simuleren. Hiervoor is een bestand nodig dat gegevens bevat over de kenmerken van de verschillende typen oppervlak in het afstromingsgebied.

### II.3 Berekeningsgrondslagen van een rioolmodel

Het berekenen van de stroming in de leidingen vindt plaats met een meer of minder vereenvoudig-

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \cos \theta \frac{\partial y}{\partial x} - s_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0 \quad (2)$$

de vorm van de De Saint-Venant vergelijkingen. Ze bestaan uit een vergelijking voor het behoud van massa, de waterbalans (1), en één voor het behoud van energie, de stromingsvergelijking (2).

Q : Debiet [m<sup>3</sup>/s]

A : Doorsnede [m<sup>2</sup>]

g : Zwaartekrachtversnelling [m/s<sup>2</sup>]

θ : Bodemhelling [-]

K : Weerstandsfunctie, gebaseerd op vergelijking van Colebrook-White of Manning

Aan de hand van een bepaald rekenschema wordt het stelsel van knoop naar knoop en van tijdstap naar tijdstap doorerekend.

Het programma Hydroworks gebruikt het Preismann-4 punten-schema om de De Saint-Venant vergelijkingen op te lossen, waarbij functies en hun afgeleiden naar tijd en plaats worden vervangen door gewogen gemiddelden over de vier punten van het schema in de (x,t)-ruimte (→fig.). Op deze manier ontstaan drie vergelijkingen uit de bewegingsvergelijking; de vierde vergelijking die voor de oplossing van het schema nodig is, is de waterbalans per knoop.

De invoer voor deze niet-stationaire stromingsberekeningen is de rioolloop. Dit is het volume water dat per knoop en per tijdseenheid het stelsel binnen stroomt, als gevolg van de neerslag die valt of gevallen is op het stroomgebied van het rioolstelsel. De vertaling van de neerslag naar de rioolloop vindt plaats in het afstromingsmodel, dat al of niet deel uitmaakt van het rioolmodel.



## Bijlage III Van neerslag naar rioolloop

### III.1 Inleiding

Het afstromingsmodel berekent de rioolloop uit de neerslagintensiteiten van een regenbui. De belangrijkste elementen die hierbij in rekening worden gebracht zijn oppervlakteberging en infiltratie, afstromingsvertraging en verdamping. Het pakket EXTRAN zelf bevat nog geen afstromingsmodel, maar er bestaat wel een afzonderlijk afstromingsmodel dat de rioolloop, die als invoer van EXTRAN nodig is, uit de neerslag berekent. Dit model is bekend als het NWRW-inloopmodel.

Het pakket Hydroworks voert automatisch een afstromingsberekening uit, waarvan de resultaten als invoer dienen voor de simulatie van de stroming in het rioolstelsel.

### III.2 NWRW-inloopmodel

Het NWRW-inloopmodel is onderdeel van het neerslag, inloop, overstortmodel dat wordt beschreven in het NWRW-rapport thema 4.3. Dit model brengt drie opeenvolgende processen in rekening: een neerslagverliesfase, een afstromingsfase en een rioleringsfase. De neerslagverliesfase houdt in de transformatie van neerslag tot netto-neerslag, de afstromingsfase beschrijft het verloop van netto-neerslag tot rioolloop en de rioleringsfase bepaalt de overstorting uit het riool uit de rioolloop. De overstorting wordt berekend uit de rioolloop, de berging in de riolering, de pompovercapaciteit en de afvoertraging in de riolering. De eerste twee fasen vormen samen het inloopmodel. In de rioleringsfase wordt de riolering geschematiseerd tot een bakmodel, de inhoud van de bak is gelijk aan de berging in de riolering en de capaciteit van de pomp die de bak leegt, is gelijk aan de pompovercapaciteit.

Het neerslagverliesmodel heeft eveneens de vorm van een bak. De inhoud van de bak is gelijk aan de oppervlakteberging. Voor het proces van neerslagverlies geldt een waterbalans:

$$\begin{aligned} \text{In} &= \text{Uit} + \text{Berging} \\ \text{Neerslag} &= \text{Verdamping} + \text{Infiltratie} + \text{Afstroming} + \text{Oppervlakteberging} \end{aligned}$$

- Neerslag: met name hoge neerslagintensiteiten leiden tot overstortingen, verder is de invloed van opeenvolgende buien van belang
- Verdamping: verdamping heeft weinig invloed op de rioolloop en het is daarom niet zinvol om deze zeer nauwkeurig te modelleren. Het model brengt de verdamping in rekening die volgt uit maandcijfers van het KNMI op basis van de Penman-formule.
- Infiltratie en oppervlakteberging zijn sterk afhankelijk van de aard van het afvoerend oppervlak. Het model onderscheidt vier typen afvoerend oppervlakken: gesloten verhard, open verhard, dak- en onverhard oppervlak. Het neerslagverlies wordt per type oppervlak apart berekend.

Infiltratie: het verloop van het infiltratieproces volgt uit de benadering volgens Horton:

- a. afname infiltratiecapaciteit, zolang de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiecapaciteiten er water op het oppervlak aanwezig is dat kan infiltreren

$$f_t = f_c + (f_b - f_c) e^{-k_a t}$$

- b. herstel infiltratiecapaciteit, zolang als het oppervlak droog is

$$f_t = f_b - (f_b - f_c) e^{-k_b t}$$

## Bijlagen

$f_t$ : infiltratiecapaciteit op het tijdstip  $t$  [mm/u]

$f_b$ : maximale infiltratiecapaciteit [mm/u]

$f_c$ : minimale infiltratiecapaciteit [mm/u]

$k_a$ : tijdsfactor afname infiltratiecapaciteit [ $u^{-1}$ ]

$k_h$ : tijdsfactor herstel infiltratiecapaciteit [ $u^{-1}$ ]

Oppervlakteberging: deze wordt per type oppervlak opgegeven in mm.

Het afstromingsmodel berekent de vertraging in de afstroming voor het totale afvoerend oppervlak als één geheel. Hiervoor wordt een lineair reservoirmodel gebruikt: van de netto-neerslag die tot afstroming komt, wordt een deel dynamisch geborgen op het afvoerend oppervlak en het andere deel komt tot afstroming in de riolering, dit is de rioolinloop. Voor de vertraging door de afstroming over het oppervlak geldt de volgende vergelijking:

$q$ : rioolinloop [mm/u]

$c$ : afstromingsfactor [ $u^{-1}$ ]

$$q = c \cdot h$$

$h$ : neerslag, dynamisch geborgen op het afvoerend oppervlak [mm]

### III.3 Afstromingsmodel van Hydroworks

Het afstromingsmodel van het pakket Hydroworks brengt drie opeenvolgende processen in rekening:

1. Initiële verliezen
2. Voortgaande verliezen - infiltratie
3. Oppervlakte-afstroming

Er bestaat een totaal stroomgebied-model dat de processen 1 en 2 voor alle typen oppervlakken samenvat en het totale verlies direct berekent. De parameters voor dit model zijn bepaald voor de situatie in Groot-Brittannië en moeten voor een andere situatie worden bepaald uit neerslag-afvoer gegevens.

Een andere mogelijkheid is om voor de verschillende processen aparte modellen te gebruiken waarvan de parameters per type oppervlak worden gespecificeerd. Deze zogenaamde individuele oppervlakte-modellen bestaan uit vier procesmodellen.

Het eerste procesmodel bepaalt de initiële verliezen, deze zijn gelijk aan de hoeveelheid neerslag die juist oppervlakkige afstroming veroorzaakt. De vergelijking die voor dit proces wordt gebruikt is:

$$D = \frac{k}{\sqrt{s}}$$

$D$ : initiële verlies [m]

$s$ : helling [-]

$k$ : een coëfficiënt [m], voor de Britse situatie worden de volgende waarden gegeven: verhard oppervlak:  $k = 0,000071$  m

onverhard oppervlak:  $k = 0,00028$  m

Het tweede procesmodel beschrijft de evapotranspiratie, een waarde in mm/dag die slechts afhankelijk is van de dag van het jaar.

Het derde procesmodel bepaalt de afstromingsverliezen na de initiële verliezen, weergegeven in het afstromingscoëfficiënten-model. Dit model is alleen van toepassing op verharde oppervlakken en berekent de voortgaande verliezen als een bepaald percentage van de netto neerslag, onafhankelijk van voorafgaande omstandigheden. Het percentage kan variëren van een gegeven minimum tot een gegeven maximum. Wanneer voor de minimum en de maximum afstromingscoëfficiënt dezelfde waarde wordt opgegeven is het verliespercentage constant. Advieswaarden voor de afstromingscoëfficiënten zijn:

Minimum afstromingscoëfficiënt:      verhard en dakoppervlak: 0,2

onverhard oppervlak: 0,0

Maximum afstromingscoëfficiënt: alle oppervlakken: 1,0

Het vierde procesmodel berekent de verliezen door infiltratie en wordt uitsluitend geadviseerd voor onverharde oppervlakken, waarbij de verliezen bij de afstroming sterk variëren met de aanvangsvochtigheid van het oppervlak, de zogenaamde antecedent catchment wetness. De cumulatieve infiltratie volgt uit een vergelijking die een variant is op de infiltratie volgens Horton:

$$F = \int (f_0 - \theta) dt$$

$$\Theta = \int_0^t (f - f_c) dt$$

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

F: cumulatieve infiltratie [mm]

$f_0$ : initiële infiltratiesnelheid [mm/u]

$\Theta$ : aanvangsvochtigheidsparameter [mm/u]

f: infiltratiesnelheid op het tijdstip  $t$  [mm/u]

$f_c$ : grensinfiltratiesnelheid [mm/u]

k: infiltratiecoëfficiënt [ $\text{u}^{-1}$ ]

De netto-neerslag die resulteert na aftrek van de berekende infiltratieverliezen wordt vervolgens ingevoerd in een oppervlakte-afstromingsmodel dat de afstromingsvertraging voor ieder type oppervlak afzonderlijk berekent. Het model simuleert de vertraging die optreedt door tijdelijke berging op het oppervlak en in putten en door de weg die het water moet afleggen, via twee lineaire reservoirs in serie, waarbij voor elk reservoir geldt:

$$S = k \cdot q$$

$$k = C \cdot i^{-0,39}$$

$$i^* = 0,5 (1 + i_{10})$$

S: berging [mm]

q: inloop [mm/u]

k: vertragscoëfficiënt [u]

## Bijlagen

$i_{10}$ : voortschrijdend gemiddelde van de neerslagintensiteit over 10 minuten [mm/u]

C: een constante

De parameters die moeten worden ingevuld in het parameterbestand voor het afstromingsmodel

- zijn:
- oppervlakteberging D [mm]
  - minimum en maximum afstromingscoëfficiënten [-]
  - vertragsconstante
  - initiële en grensinfiltratiesnelheid en infiltratiecoëfficiënt
  - eventueel: helling

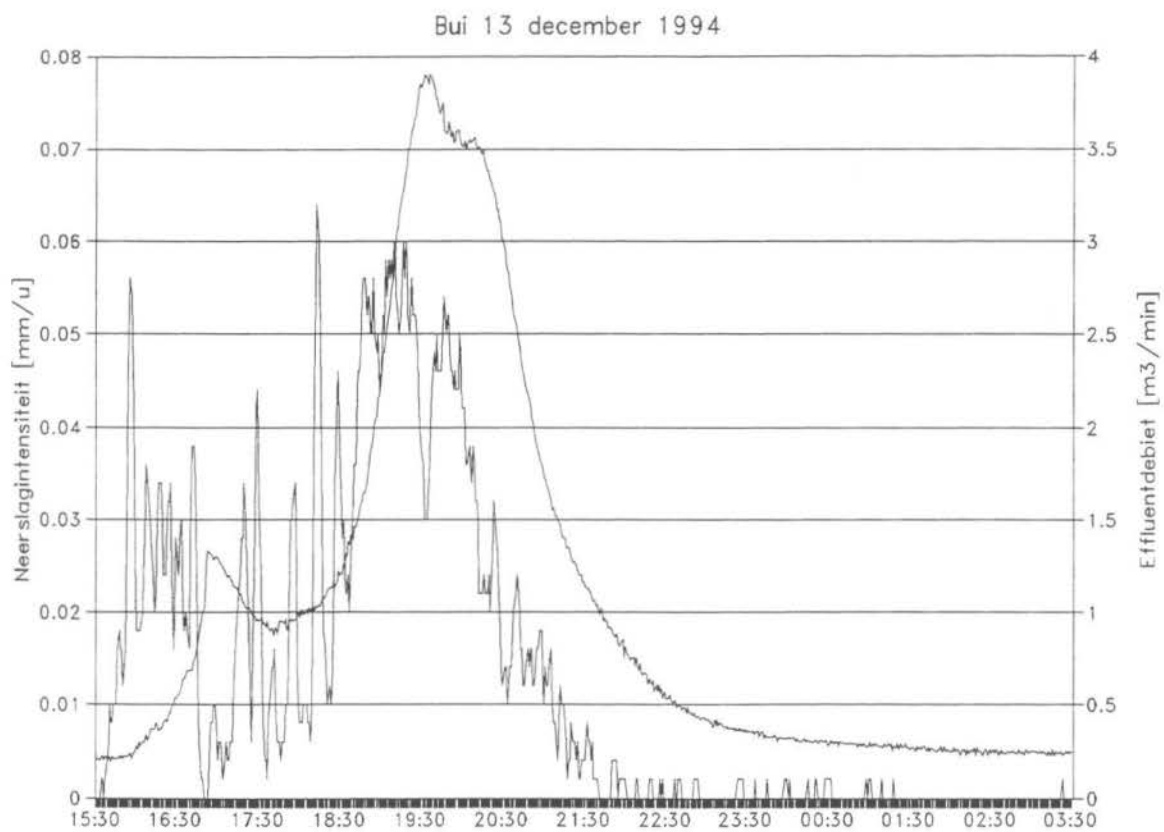
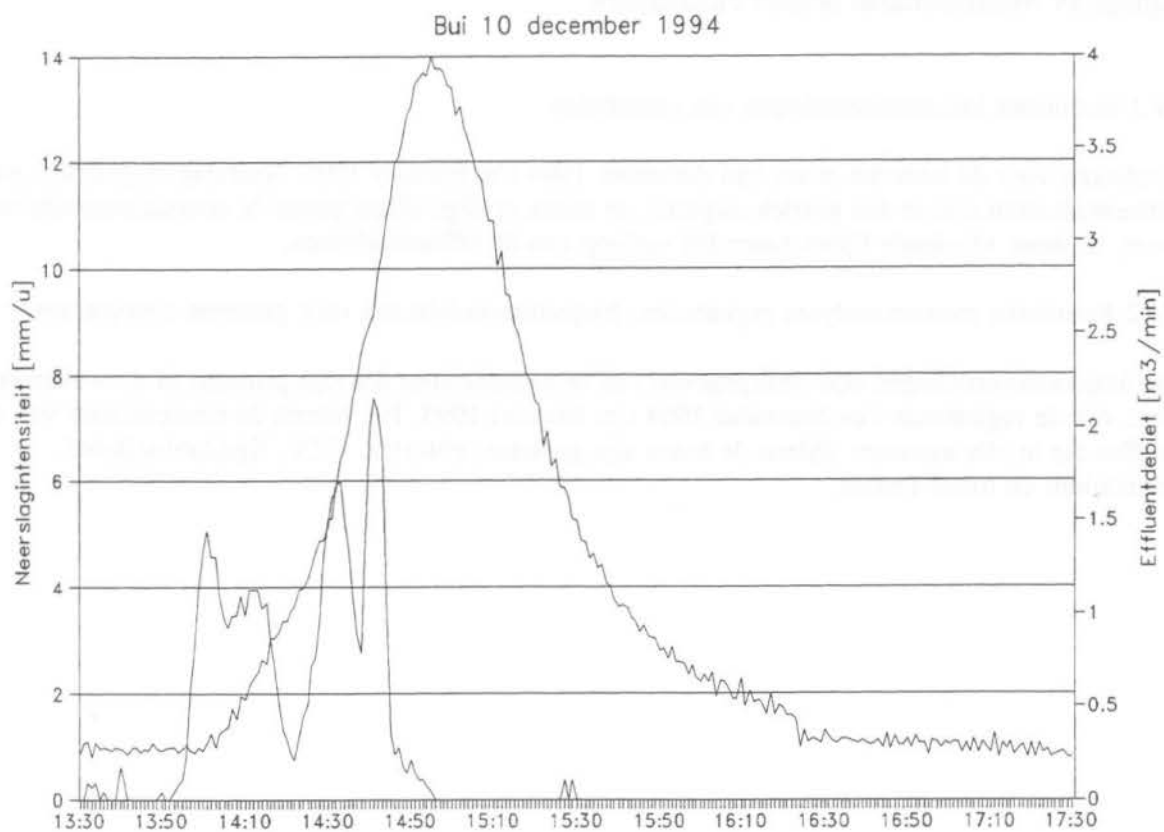
## **Bijlage IV Meetresultaten project Julianapark**

### **IV.1 Resultaten kwantiteitsmetingen van regenbuien**

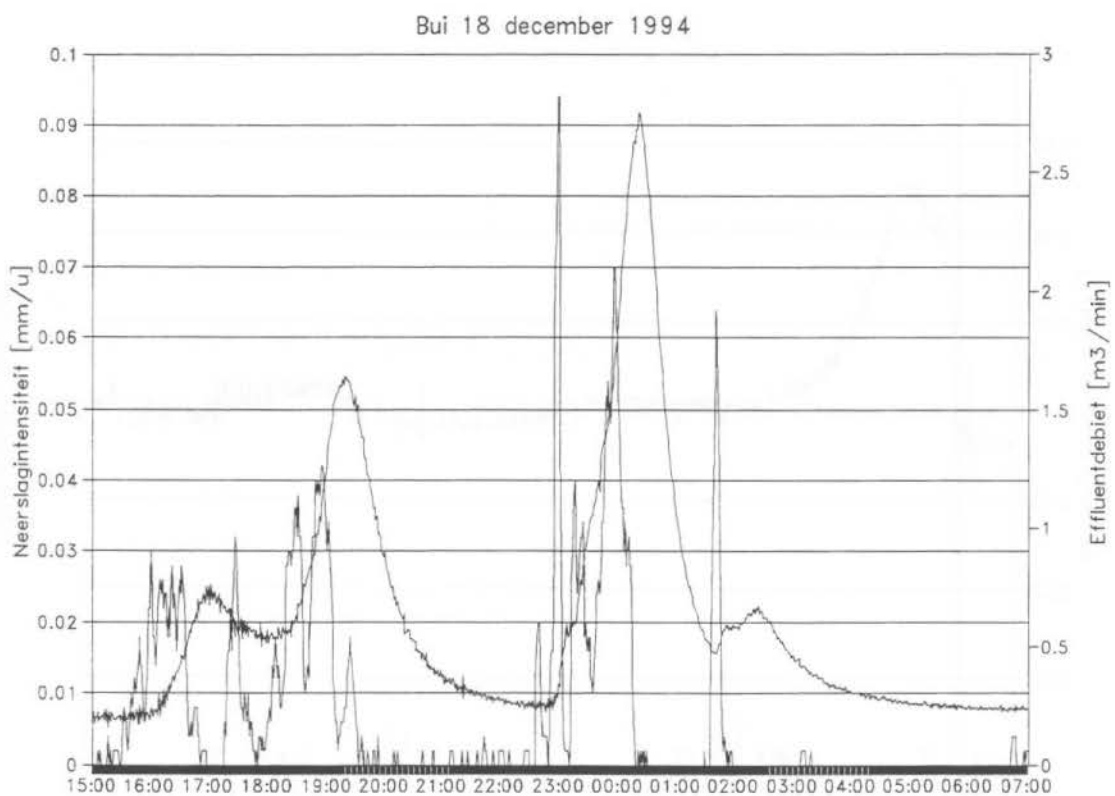
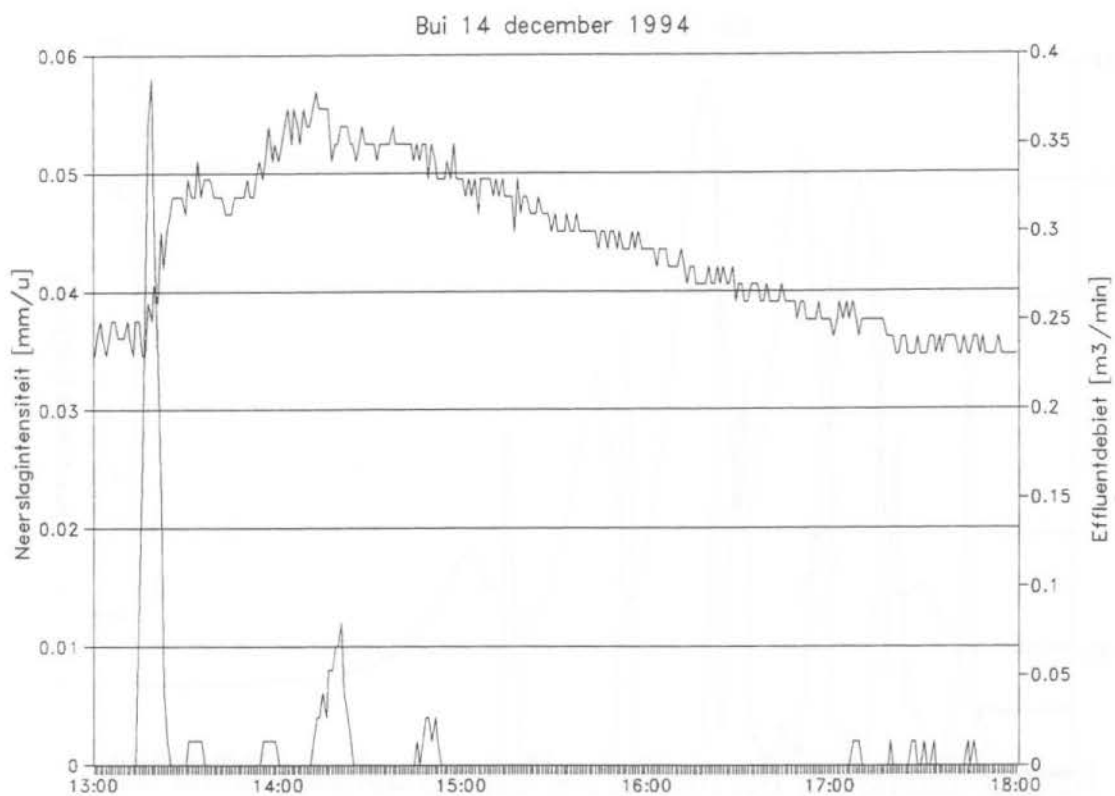
Grafieken voor de bemeten buien van december 1994 t/m februari 1995. Neerslagintensiteiten en effluentdebieten zijn in één grafiek uitgezet, de meest grillige lijnen geven de neerslagintensiteiten weer, de meer vloeiende lijnen tonen het verloop van de effluentdebieten.

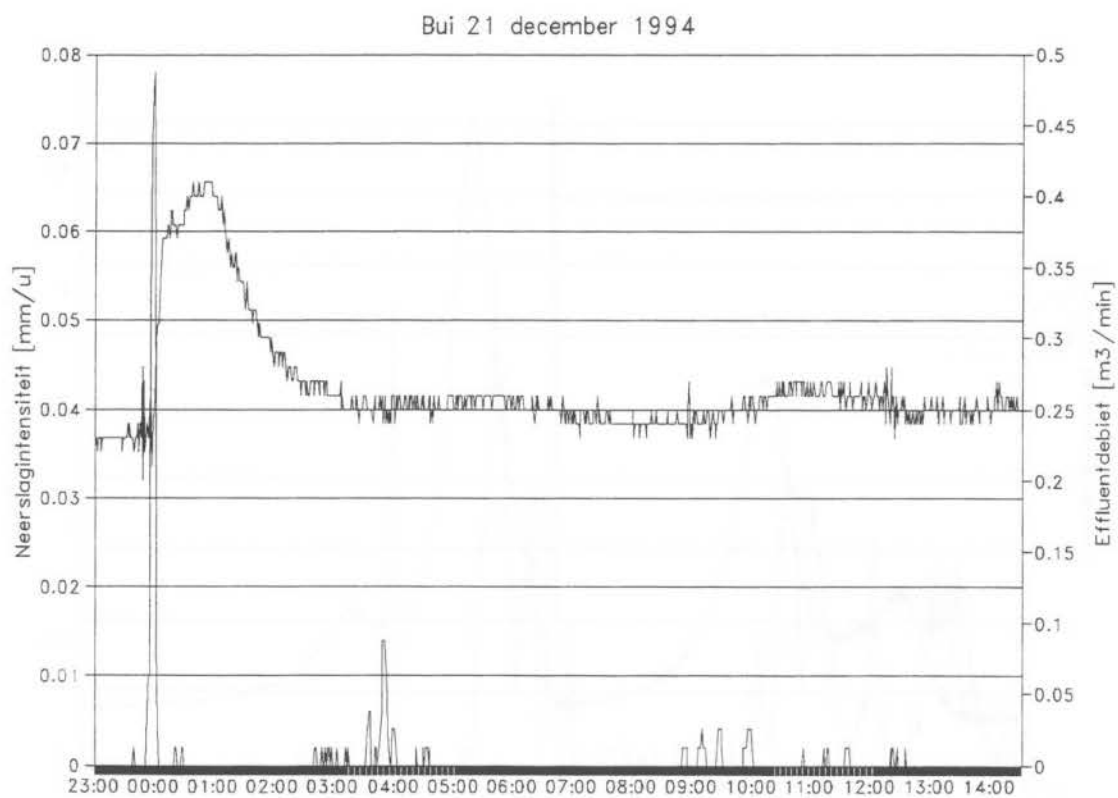
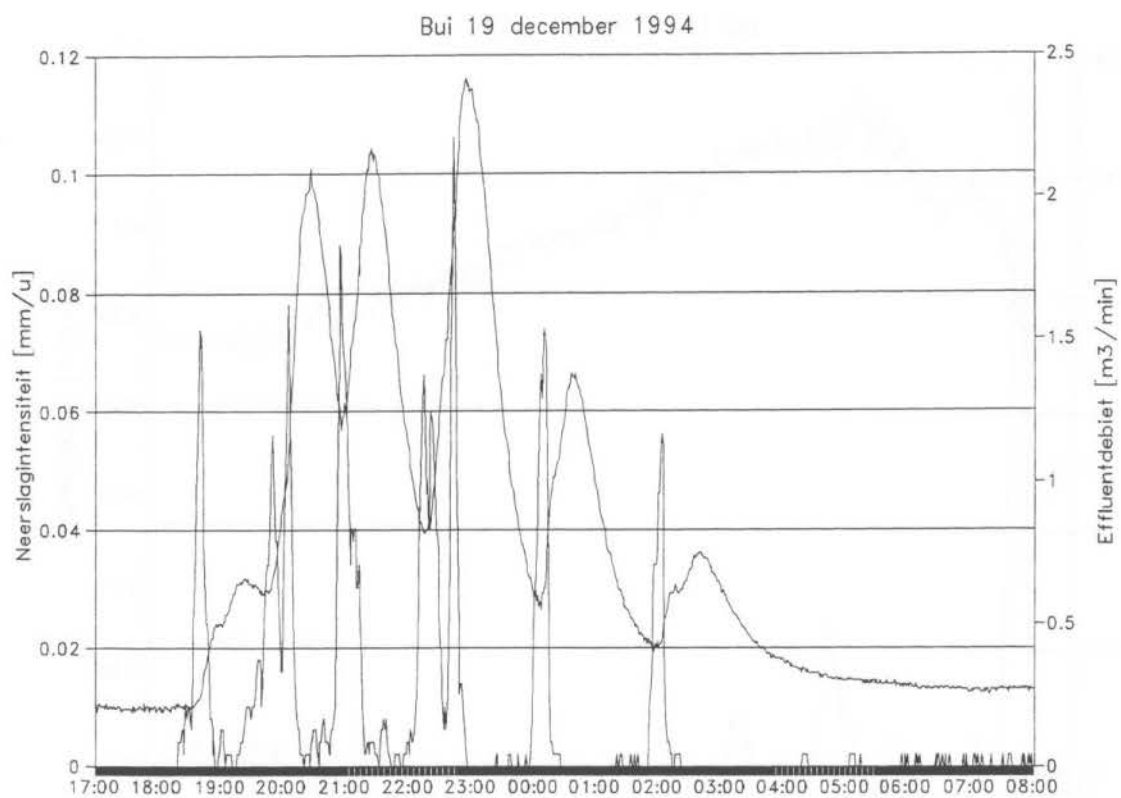
### **IV.2 Resultaten monsteranalyses regenbuien: frequentieverdelingen voor gemeten concentraties**

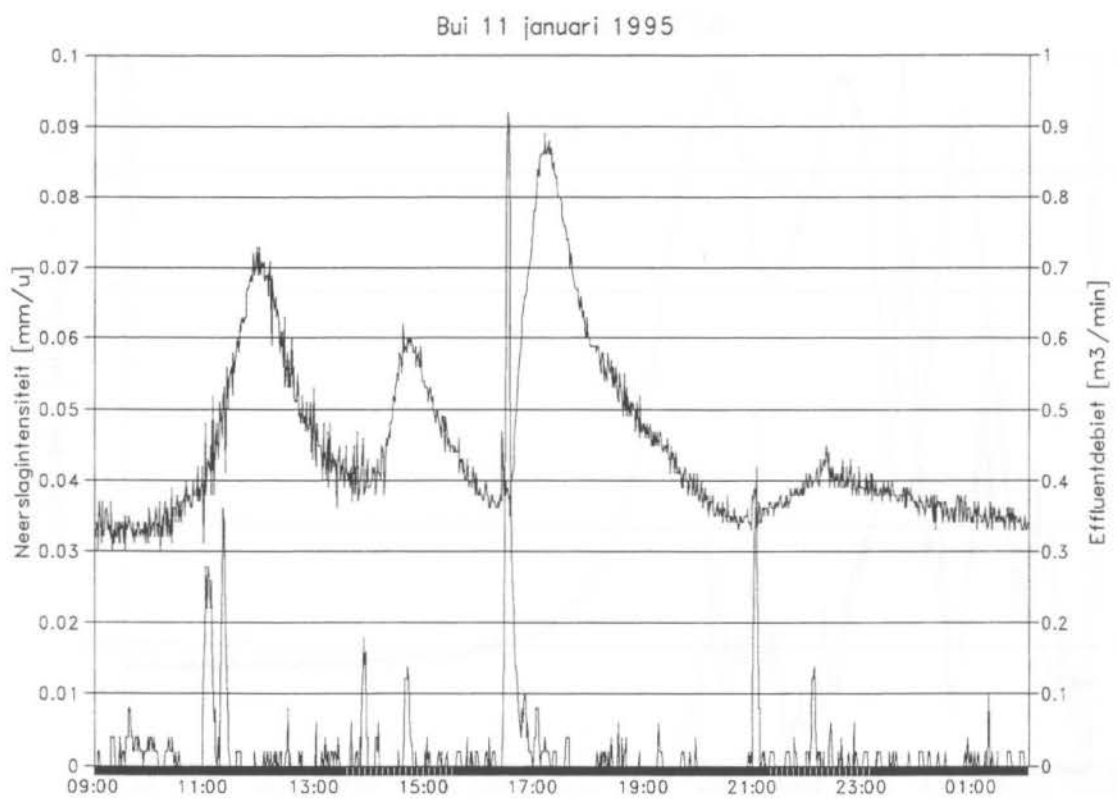
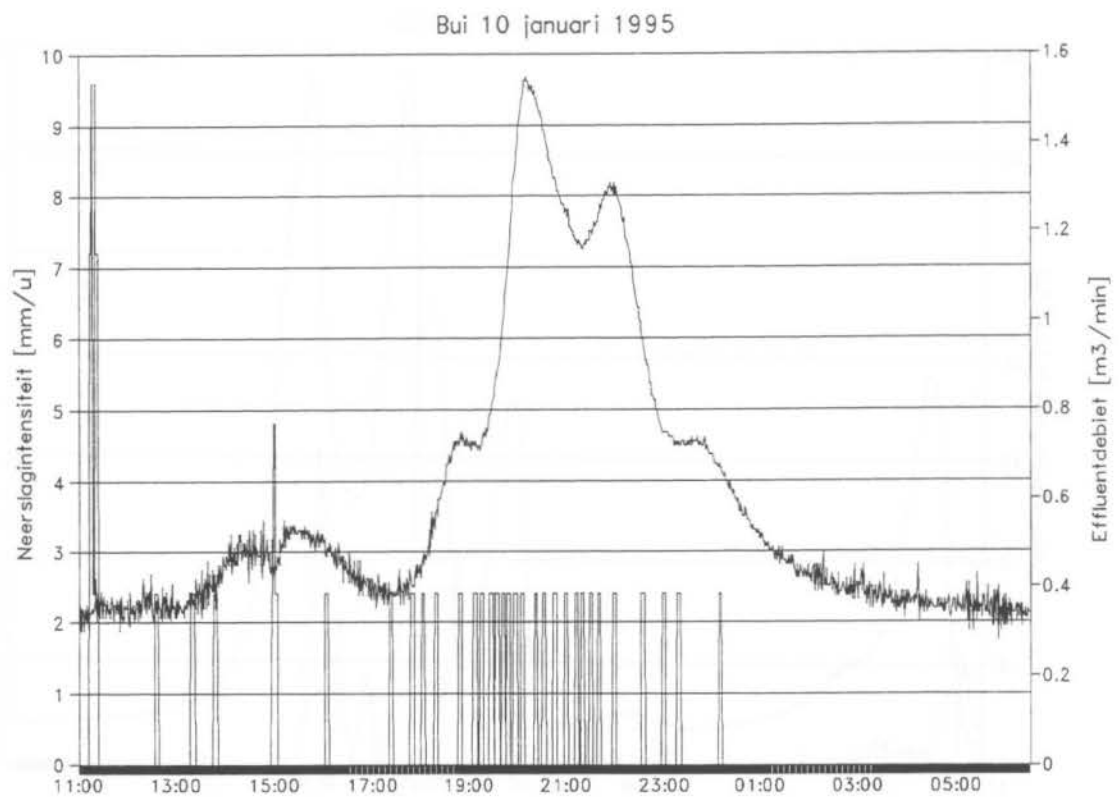
De frequentieverdelingen zijn weergegeven van de concentraties die zijn gemeten in de watermonsters van de regenbuien van december 1994 t/m februari 1995. Het betreft de concentraties van de stoffen die in alle monsters tijdens de buien zijn gemeten: chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof, ammonium en totaal-fosfaat.

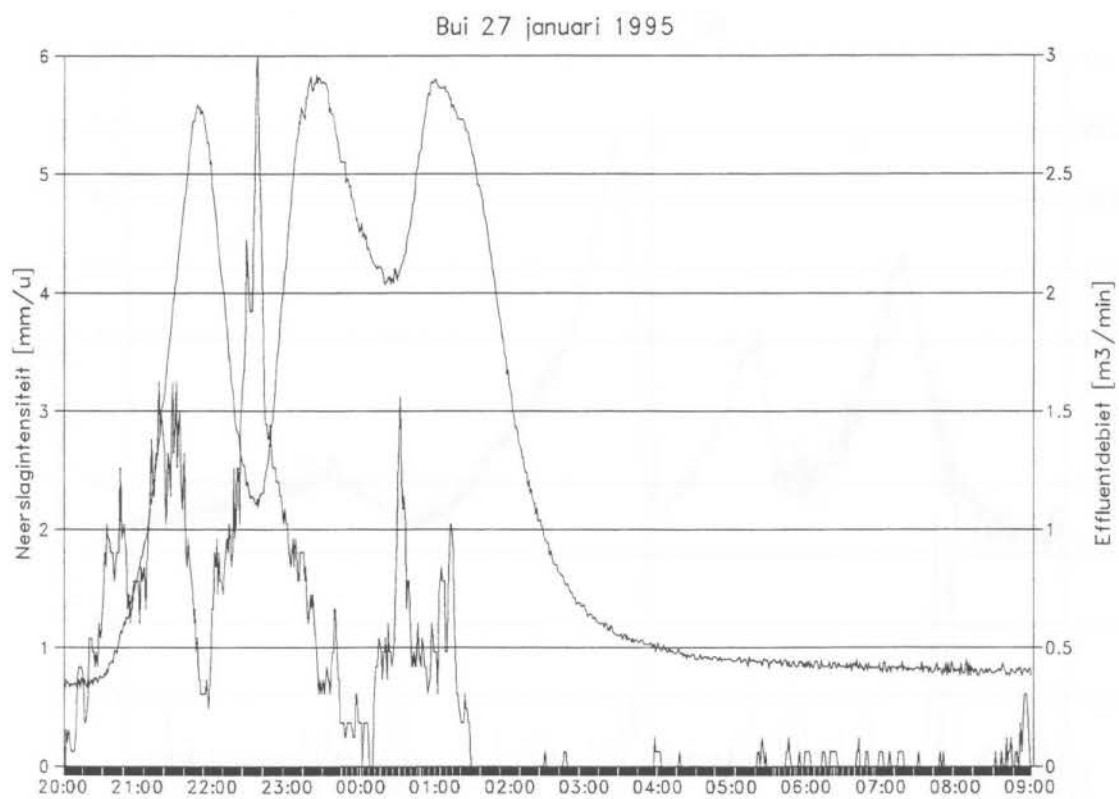
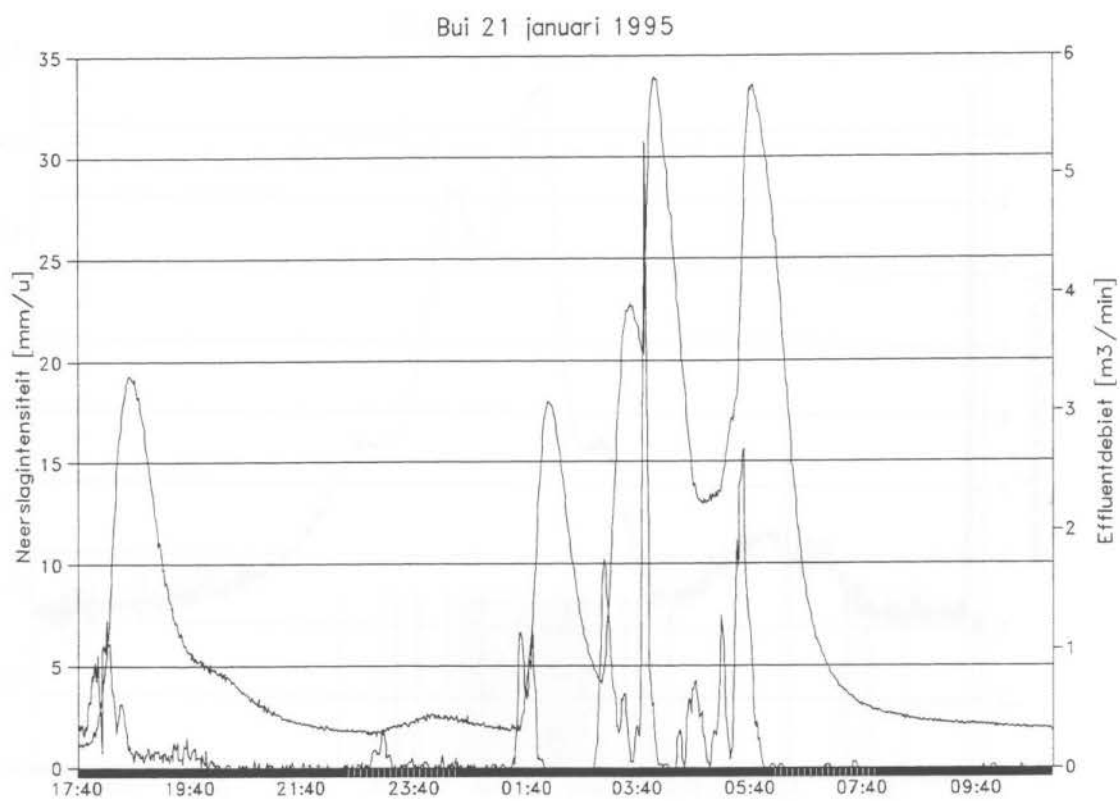


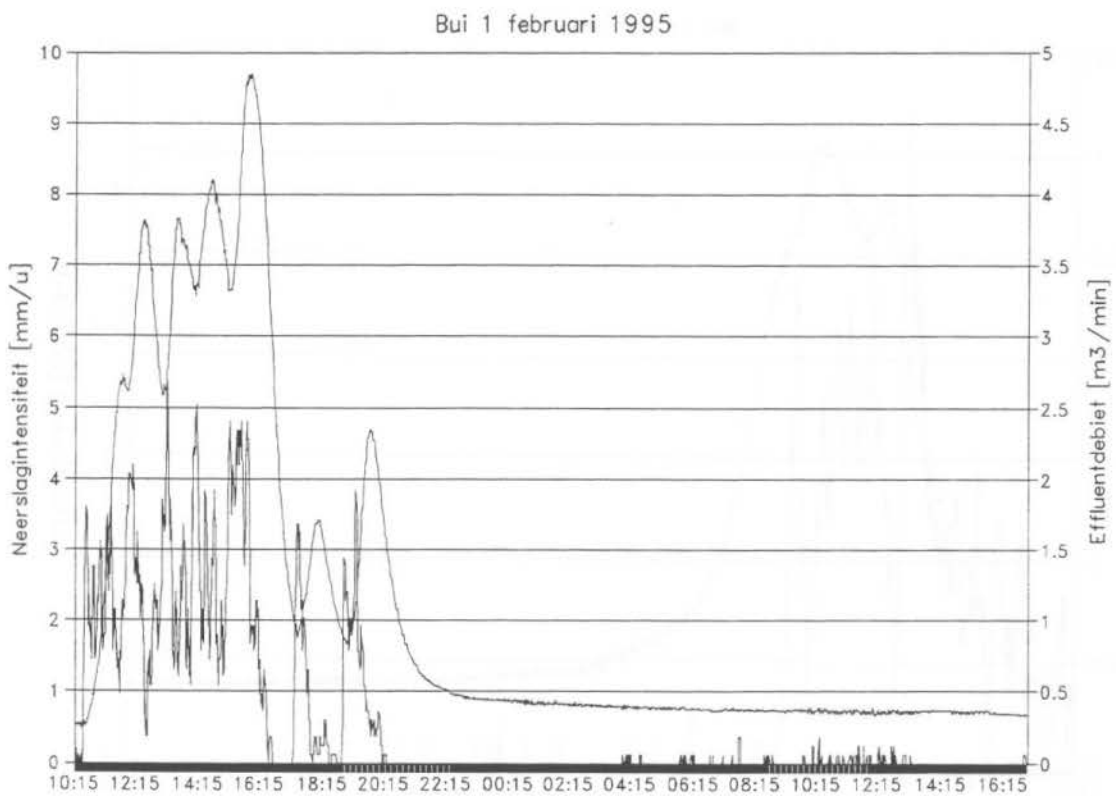
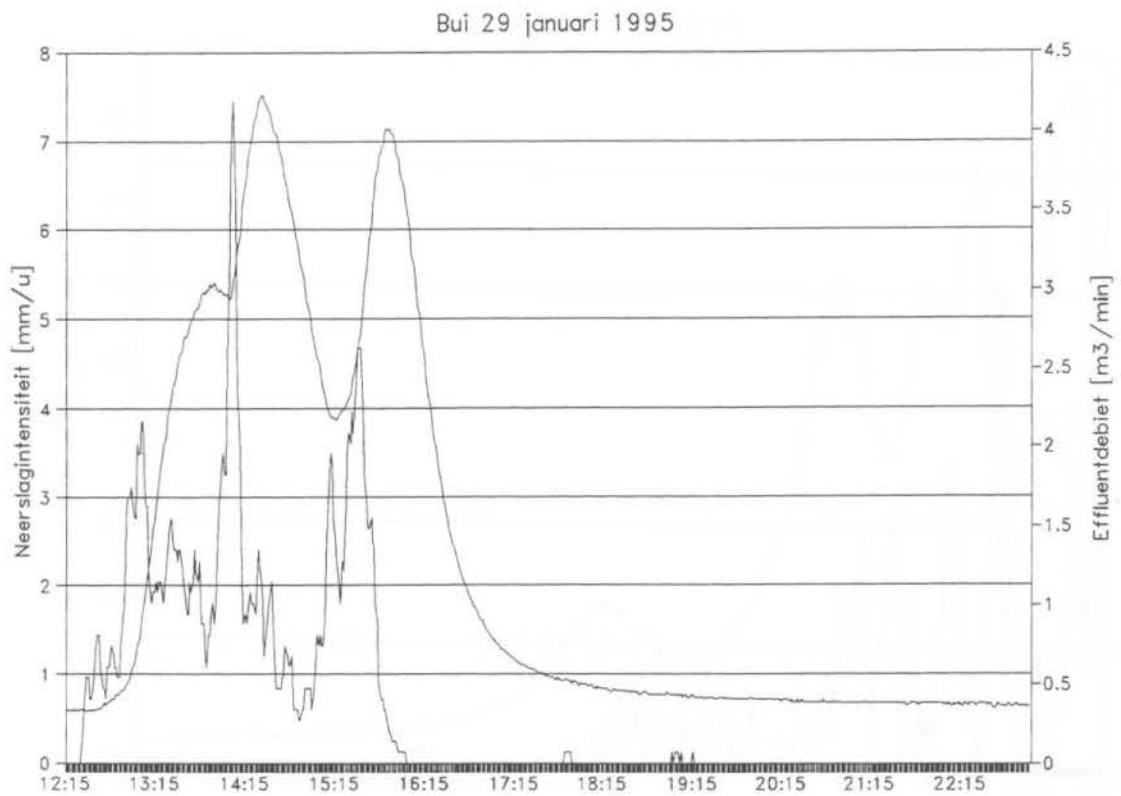


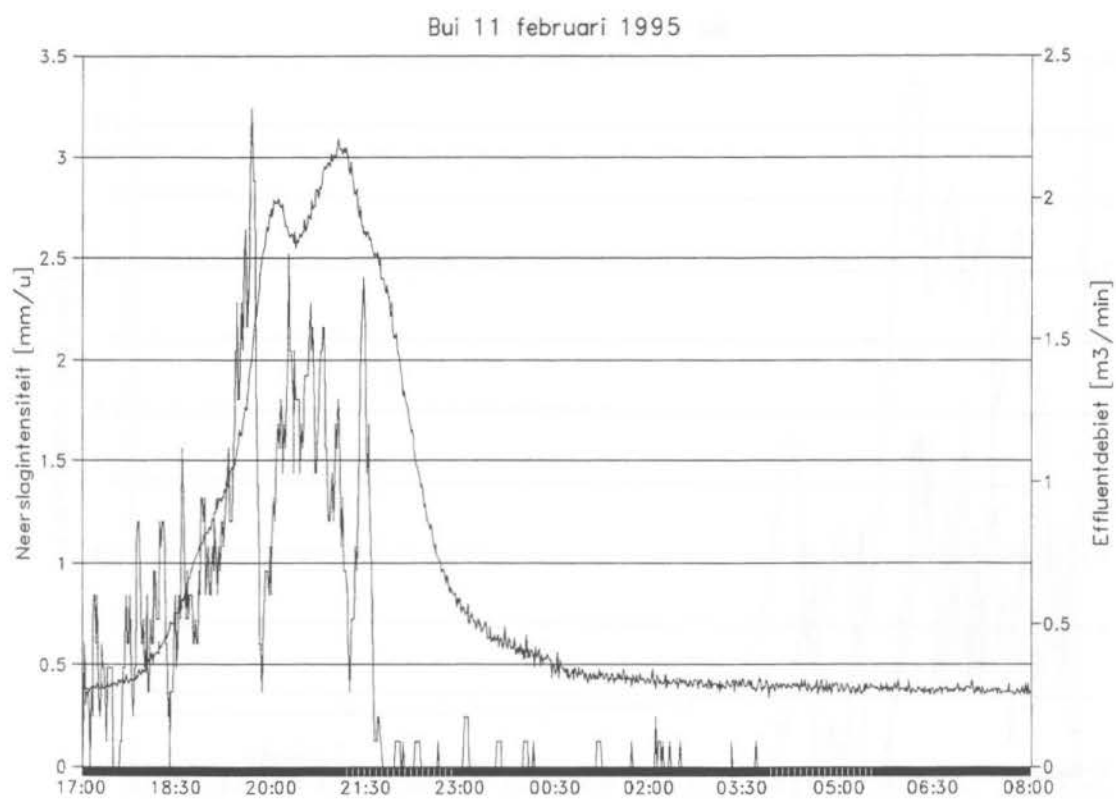
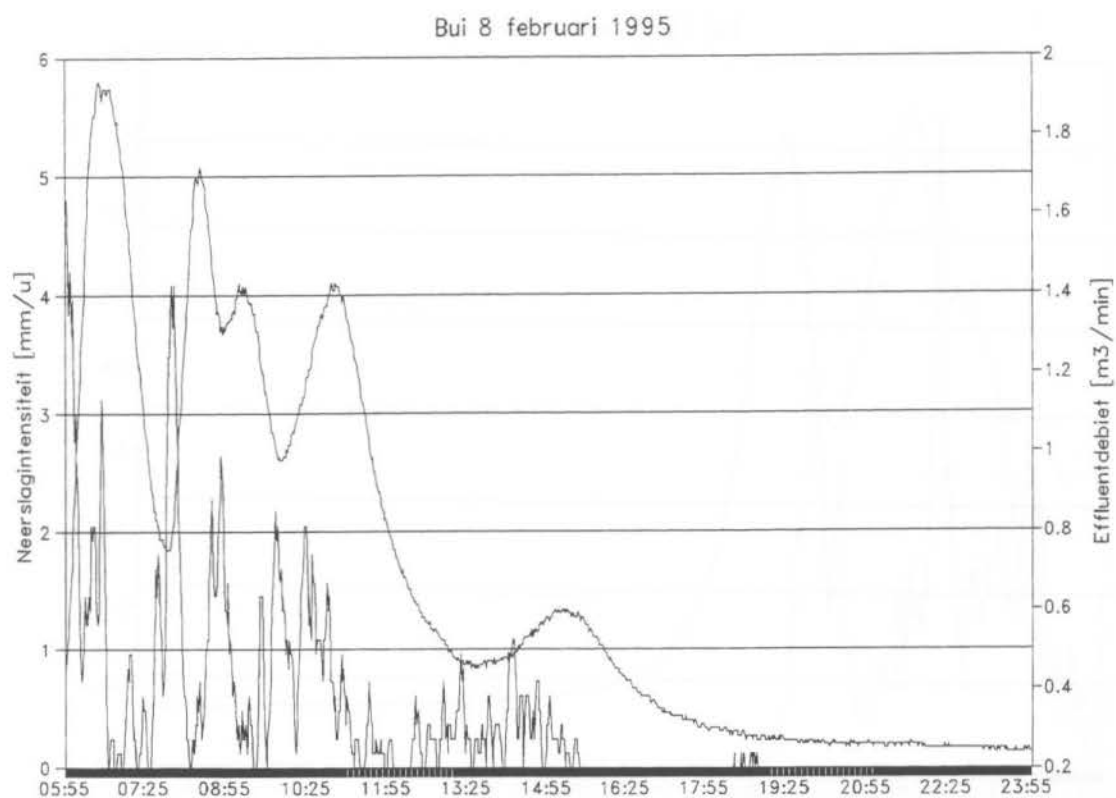




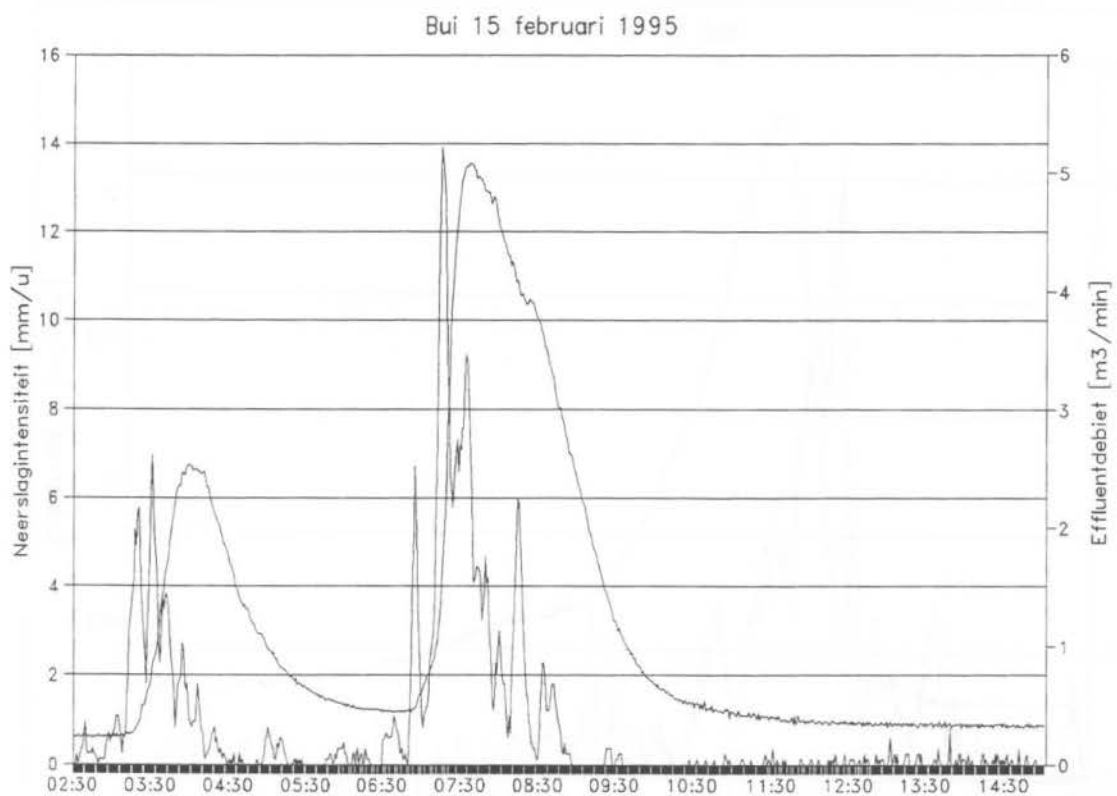
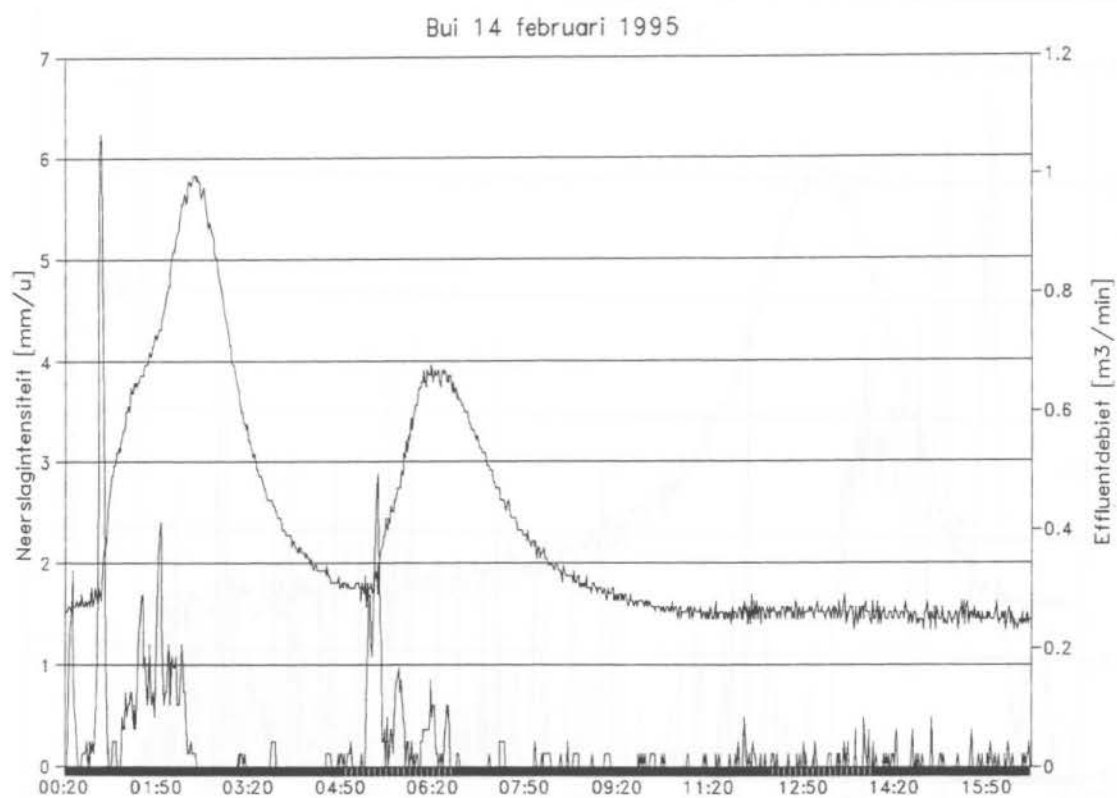


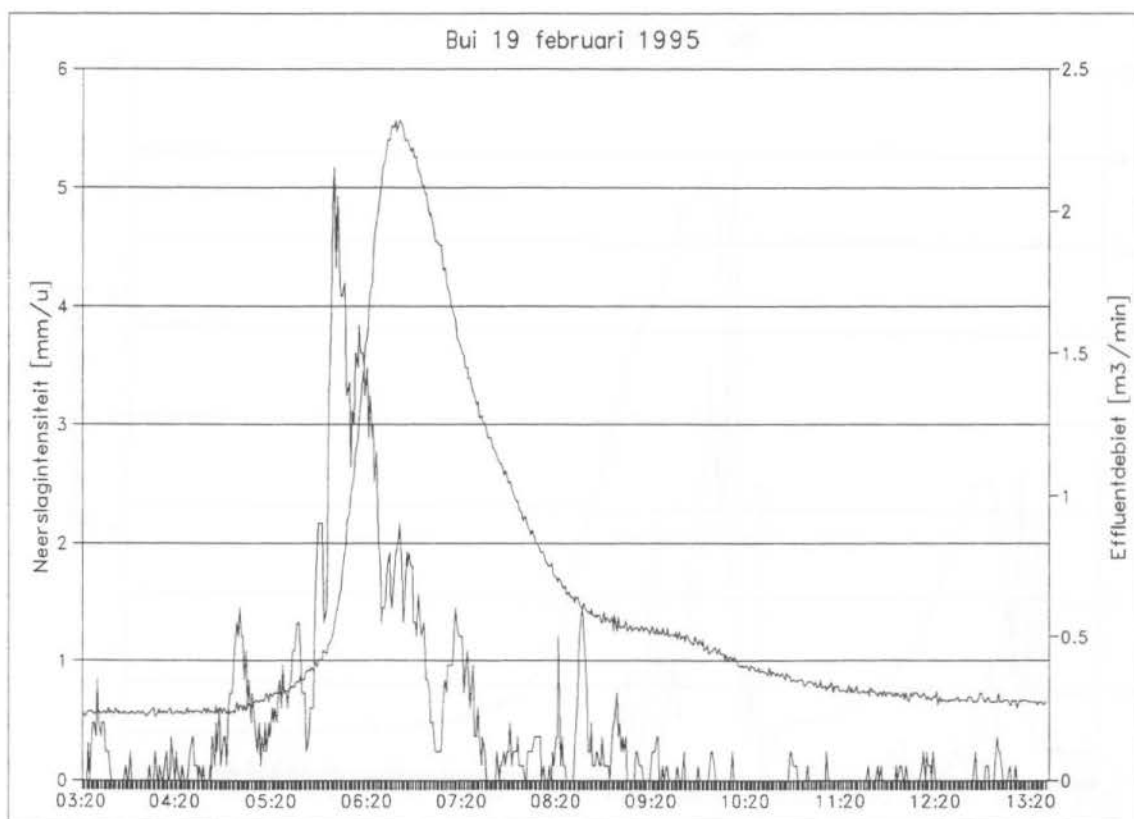
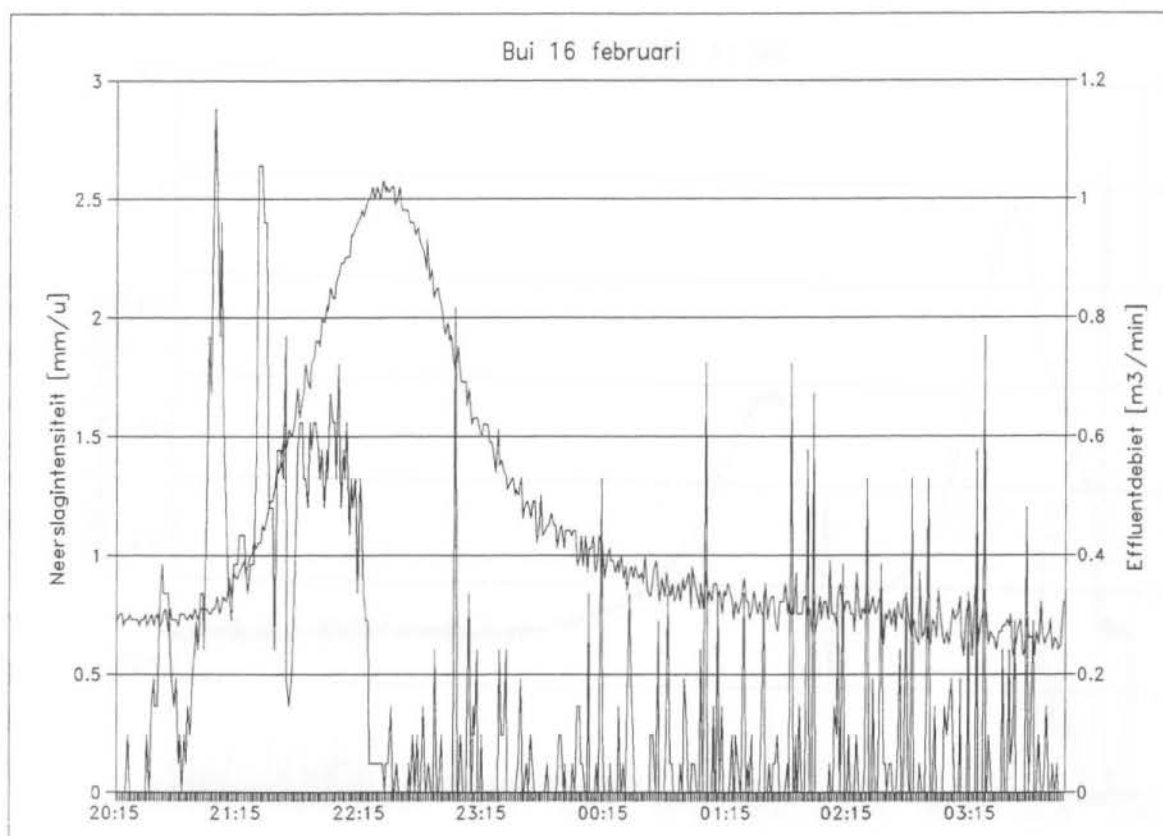


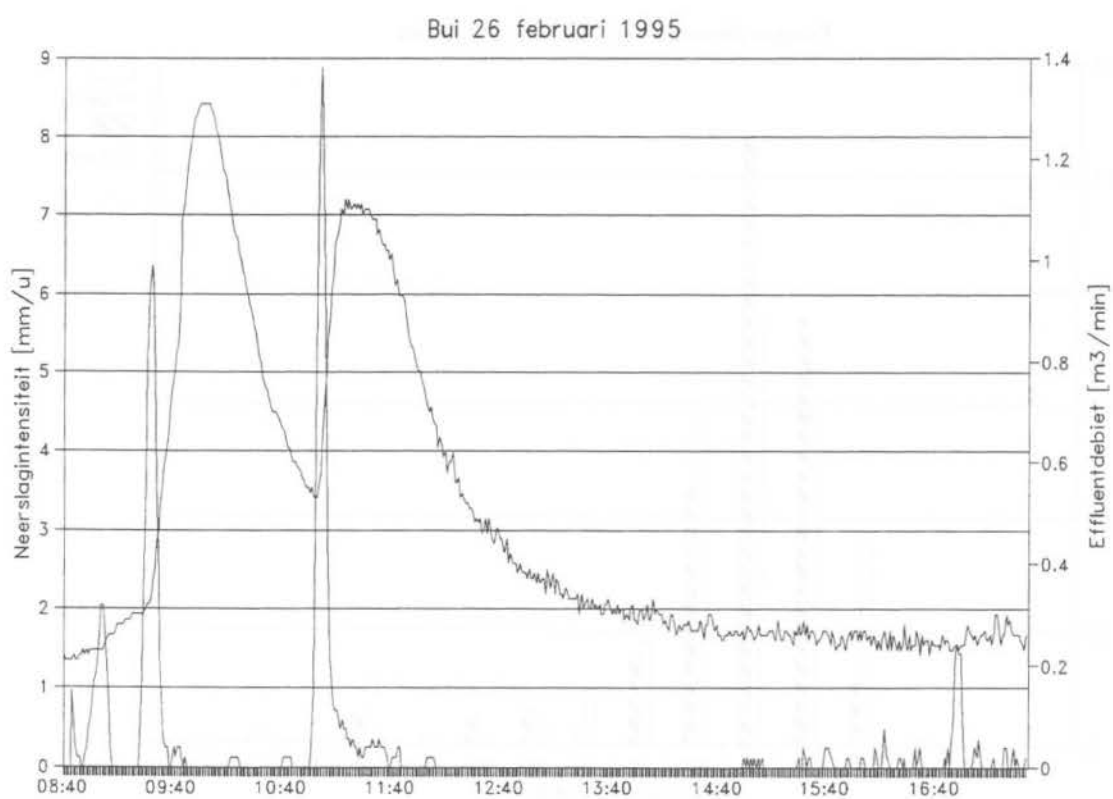
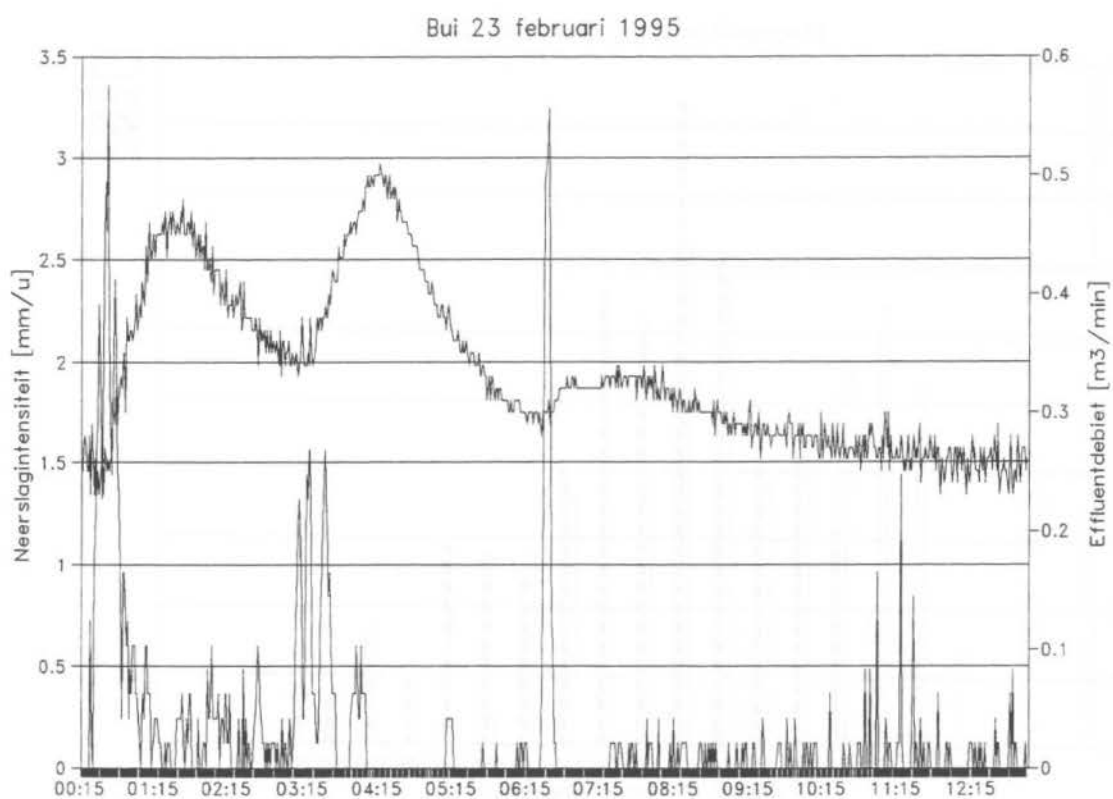


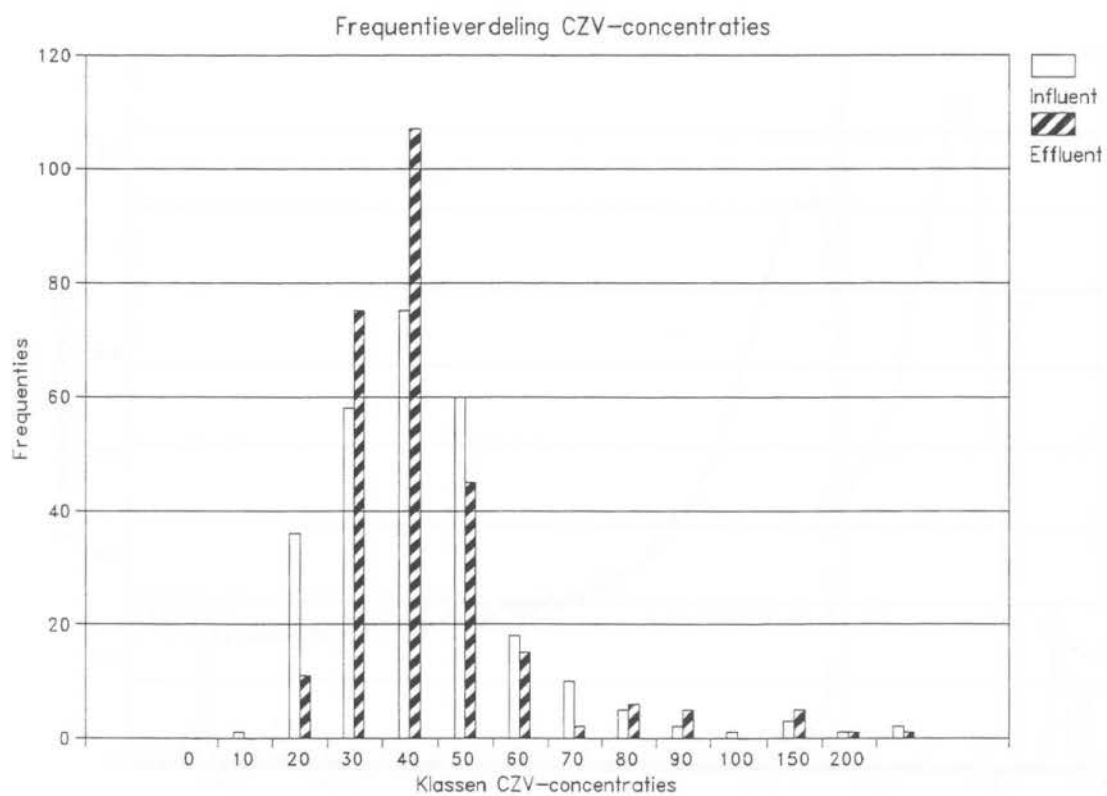
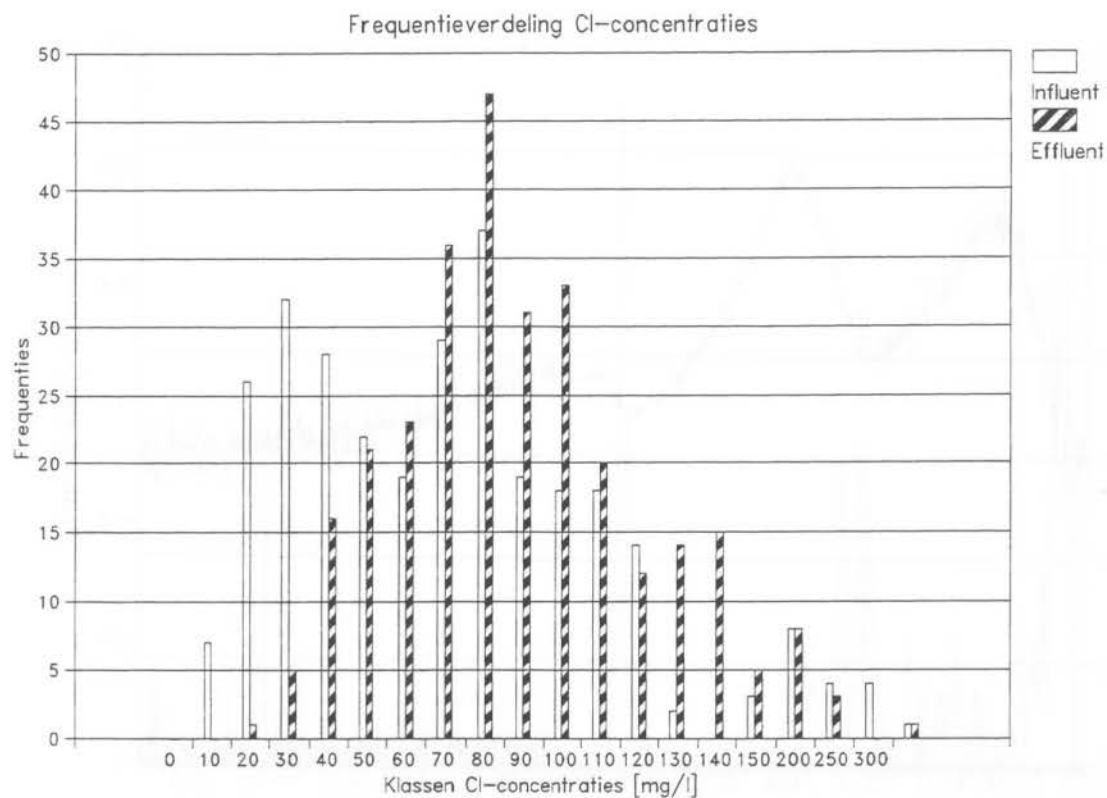


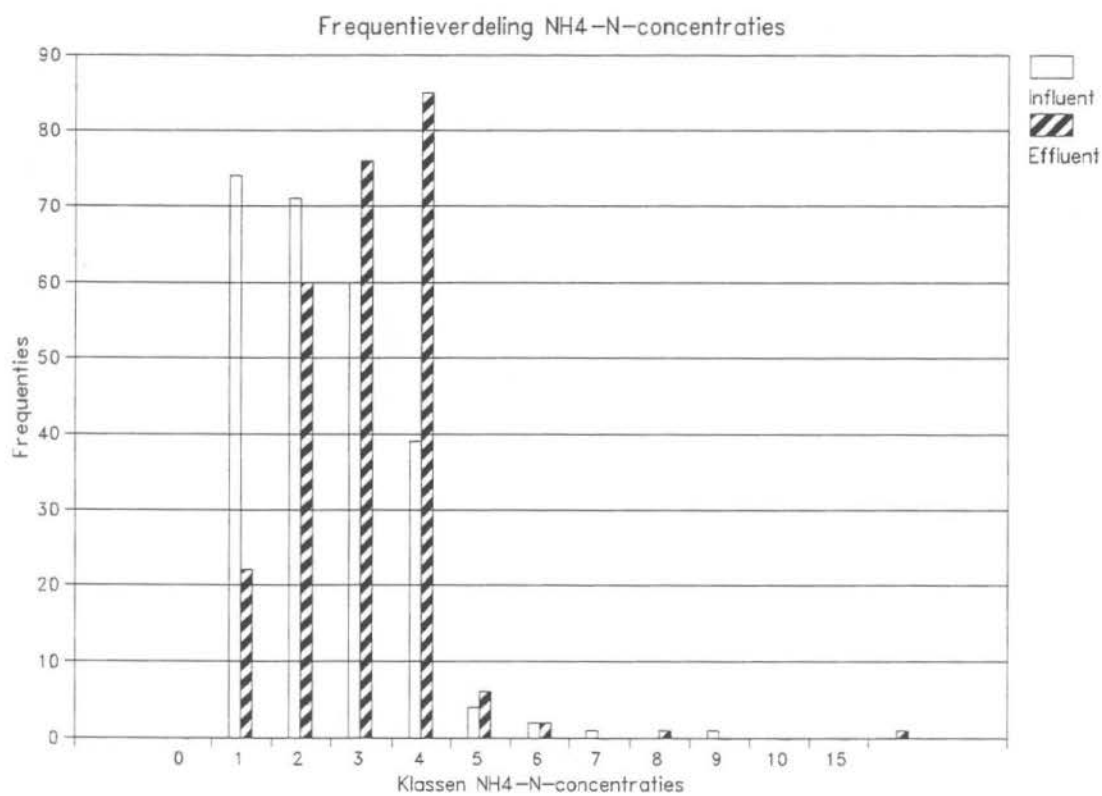
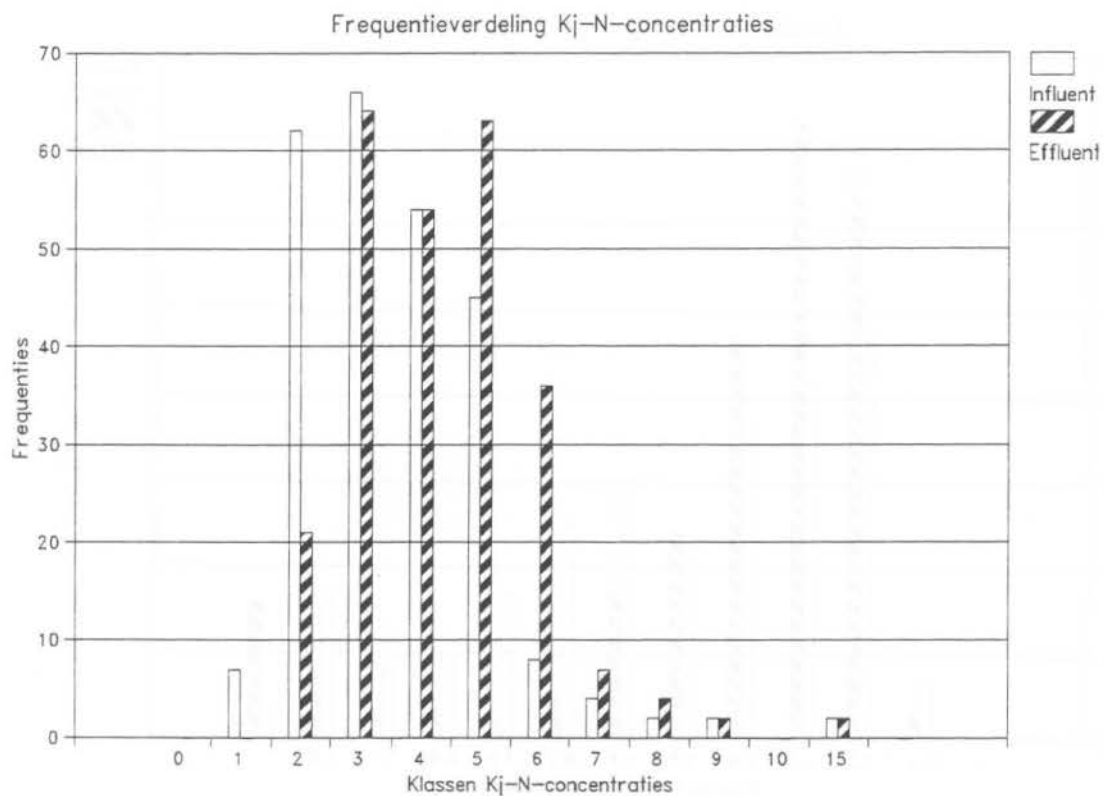


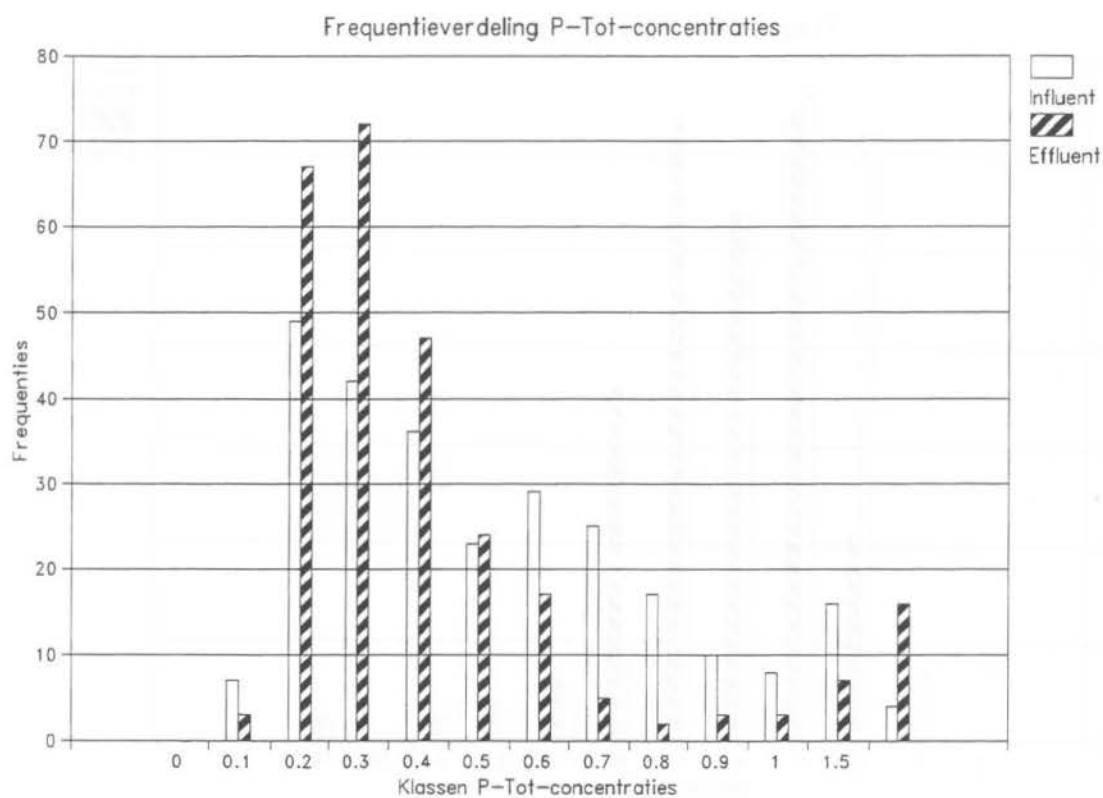














**Bijlage V Chloride in grond- en kwelwater**

Chloridebalans voor de ontvangbak voor een droog weer situatie:

$Q_{ef} = 6,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ ;  $C_{lin} = 110 \text{ mg/l}$ ;  $C_{lef} = 130 \text{ mg/l}$

Er van uitgaande dat er sprake is van een evenwichtssituatie, wordt de berging op nul gesteld:

$$Q_{in} \cdot C_{lin} + Q_{extra} \cdot C_{lextra} = Q_{ef} \cdot C_{lef} \quad (1)$$

$$Q_{in} + Q_{extra} = Q_{ef} \quad (2)$$

Uit (2) volgt dat  $Q_{extra} = Q_{ef} - Q_{in}$ ,

$$(1): Q_{in} \cdot 110 + (6,7 - Q_{in}) \cdot C_{lextra} = 6,7 \cdot 130$$

Bij bemonstering van de peilfilters werd in het dichtstbij de bak gelegen filter een chlorideconcentratie in het grondwater gemeten van 130 mg/l (17/03/'95) en van 410 mg/l (29/06/'95). Indien een zijdelingse grondwatertoestroming verantwoordelijk is voor de extra chloridetoevoer, volgt het debiet van deze toestroming uit de chloridebalans. In het eerste geval zou de toestroming naar de bak volledig moeten bestaan uit grondwater, dat wil zeggen een influentdebiet gelijk aan nul. Een dergelijke situatie is erg onwaarschijnlijk en zou voor de overige stoffen slechts meer nieuwe vragen oproepen. In het tweede geval geldt:

$C_{lextra} = 410 \text{ mg/l}$

$$Q_{in} \cdot 110 + (6,7 - Q_{in}) \cdot 410 = 6,7 \cdot 130$$

$Q_{in} = 6,3 \text{ m}^3/\text{uur}$ ;  $Q_{extra} = 0,4 \text{ m}^3/\text{uur}$ , dit komt overeen met 6% van het effluentdebiet.

De afstand tot het eerste peilfilter bedraagt ongeveer 7,5 m; het stijghoogteverschil over deze afstand is 0,65 m. Hieruit volgt een schatting voor de doorlatendheid van het tussenliggende grondpakket, inclusief de damwand:

$$Q = k \cdot H \cdot L \cdot d\phi/dx; H \cdot L = 1,8 \cdot 70 = 126 \text{ m}^2$$

$$d\phi/dx = 0,65/7,5 = 0,087$$

$$Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Hieruit volgt een schatting voor  $k = Q/(H \cdot L \cdot d\phi/dx) = 0,04 \text{ m/uur} \equiv 0,9 \text{ m/dag}$ .

Ter vergelijking enkele waarden voor doorlatendheden van verschillende grondsoorten:

| Grondsoort            | Doortlatendheid                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| Klei, zeer dicht      | $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/dag}$ |
| Slibhoudend fijn zand | 4 m/dag                         |
| Matig/grof zand       | 5 - 30 m/dag                    |

De effluentconcentraties voor de overige stoffen zouden bij deze grondwatertoestroming zijn:

CZV : 50,9 mg/l; NH<sub>4</sub>-N : 5,1 mg/l

N-Kj : 6,4 mg/l; P-Tot : 9,1 mg/l

De uitzonderlijk hoge concentraties voor alle stoffen in dit monster geven echter aanleiding de betrouwbaarheid ervan in twijfel te trekken.



## Bijlage VI Berekening in- en uitgaande vrachten en voorraad in de ontvangbak

De ingaande en de uitgaande vrachten voor de ontvangbak tijdens een bui volgen uit de vermenigvuldiging van de influentdebieten met de concentraties in meetpunt I, respectievelijk de effluentdebieten met de concentraties in meetpunt E. Voor de bepaling van de vrachten tijdens een bui is het nodig eerst het begin- en eindpunt van de bui vast te stellen.

Het beginpunt is het moment waarop er 0,4 mm regen is gevallen, het eindpunt het moment waarop zich opnieuw een evenwichtsdebiet instelt. Het beginpunt komt voor de meeste buien overeen met het tijdstip waarop de bemonsteringsapparatuur aanslaat. Voor sommige buien is de bemonsteringsapparatuur echter later aangeslagen, doordat in de eerste fase van de bui de neerslagintensiteit lager bleef dan 0,4 mm per 5 minuten, het aanslagcriterium, of doordat de apparatuur niet of te laat op het aanslagcriterium reageerde. Dit laatste is vooral in de beginfase van het project een aantal malen voorgekomen. Het eindpunt van de bui, het moment waarop zich een evenwichtsdebiet instelt, valt over het algemeen later dan het tijdstip waarop de bemonsteringsapparatuur afslaat. Het afslagcriterium bevat twee voorwaarden, ten eerste dat er gedurende een half uur geen neerslag meer is gevallen, ten tweede het bereiken van een debiet van 15 m<sup>3</sup>/uur. Deze tweede voorwaarde houdt niet in dat er sprake is van een evenwichtsdebiet. De instelling van een evenwichtsdebiet is toch gekozen als eindpunt van de bui, omdat dit betekent dat de stromingssituatie op dat moment hetzelfde is als voordat de bui begon. Het voordeel hiervan is dat in de waterbalans geen berging in rekening hoeft te worden gebracht in het stelsel, noch in de ontvangbak, voor de periode van een bui.

De concentraties aan stoffen zijn bij het begin- en het eindpunt van de bui niet gelijk en in de stoffenbalansen moet wel een bergingsterm worden meegenomen. Deze is alleen afhankelijk van concentratieverschillen, omdat de watervolumina in het systeem bij het begin en het einde van de bui gelijk zijn.

De in- en uitgaande vrachten zijn berekend voor chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof, ammonium en totaal-fosfaat. Van deze stoffen zijn de concentraties bekend voor de tijdsduur van een bui met een volume-interval van 150 m<sup>3</sup>. Voor de berekening van de vrachten is aangenomen dat de concentraties tussen deze punten lineair verlopen.

De debieten zijn per minuut gemeten; de effluentdebieten volgen direct uit de metingen, de influentdebieten zijn berekend uit de effluentdebieten via de waterbalans voor de ontvangbak:

$$Q_{in} \Delta t + N \cdot A_{bak} \cdot 10^{-3} = Q_{ef} \Delta t + (NAP_{eind} - NAP_{begin}) \cdot A_{bak}$$

Waarbij:

- $Q_{in}$  : Influentdebiet [m<sup>3</sup>/min]
- $Q_{ef}$  : Effluentdebiet [m<sup>3</sup>/min]
- $\Delta t$  = 1 min.
- $N$  : Neerslag, gevallen in de afgelopen minuut
- $A_{bak}$  : Oppervlakte van de bak = 375 m<sup>2</sup>
- $NAP_{eind}$  : Waterstand in de bak, ten opzichte van NAP, aan het eind van de bui [m]
- $NAP_{begin}$  : Waterstand in de bak, ten opzichte van NAP, aan het begin van de bui [m]

## Bijlagen

Berekening vracht tijdens een bui:

$$Vr = 0,001 \int_{t_b}^{t_e} Q_t c_t dt = 0,001 \sum_{n=1}^{(t_e - t_b)} Q_n c_n$$

Waarbij:

- $Vr$  : Vracht, ingaand of uitgaand [kg]
- $t_b$  : begintijdstip van de bui [min]
- $t_e$  : eindtijdstip van de bui [min]
- $t_e - t_b$  : duur van de bui [min]
- $Q_t$  : Debiet, influent- of effluent- op het tijdstip  $t$  [ $m^3/min$ ]
- $c_t$  : concentratie, gemeten in meetpunt I of E op het tijdstip  $t$  [ $g/m^3$ ]
- $Q_n$  : Debiet, influent- of effluent-, in minuut  $n$  [ $m^3/min$ ]
- $c_n$  : concentratie, gemeten in meetpunt I of E in minuut [ $g/m^3$ ]

De ingaande vrachten en de uitgaande vrachten voor chloride, CZV, Kjeldahl-stikstof, ammonium en totaal-fosfaat staan in Tabel 6. van hoofdstuk 6.

De grote verschillen tussen de in- en uitgaande vrachten geven aanleiding om aan te nemen dat de berging in de ontvangbak een belangrijke rol speelt. De berging in de bak tijdens een bui is het verschil tussen de voorraad aan een bepaalde stof in de bak aan het eind van de bui en aan het begin van de bui. De voorraad aan een bepaalde stof volgt uit de vermenigvuldiging van het volume van de bak met de concentratie in de bak. Het volume van de bak is evenredig met de waterstand in de bak, die door twee waterstandsmeters wordt geregistreerd. De variaties die optreden in het concentratieverloop in de bak zijn niet bekend. Als de bak volledig gemengd zou zijn, zouden de concentraties overal in de bak hetzelfde zijn. Onder de aanname dat de ontvangbak een volledig gemengd systeem is, volgt dus de voorraad in de bak uit het volume van de bak vermenigvuldigd met de concentratie in meetpunt E:

$$Voorraad_i = V_{bak} * c_{E,i} * 0,001 \quad (1)$$

Waarbij:

- $Voorraad_i$  : Voorraad aan een bepaalde stof in de bak, aan het begin of aan het eind van de bui [kg]
- $i$  : Begin of eind van de bui
- $V_{bak}$  : Volume water in de bak  $m^3$
- $c_{E,i}$  : Concentratie in meetpunt E, aan het begin of aan het eind van de bui [ $g/m^3$ ]

Een tweede methode om de voorraad in de bak te berekenen is aan te nemen dat de concentratie in de bak op het tijdstip  $t$  lineair verloopt tussen de concentratie in meetpunt I en de concentratie in meetpunt E op het tijdstip  $t$ :

$$Voorraad_i = V_{bak} * (c_{E,i} + c_{I,i})/2 * 0,001 \quad (2)$$

Waarbij:

- $c_{I,i}$  : Concentratie in meetpunt I, aan het begin of aan het eind van de bui [ $g/m^3$ ]

Overige symbolen zoals in vergelijking (1)

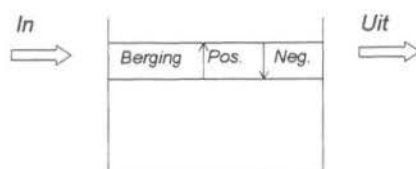
De balans voor een bepaalde stof voor de ontvangbak is als volgt:

$$\begin{aligned} Vracht_{in} &= Vracht_{uit} + Berging \\ Berging &= Voorraad_{eind} - Voorraad_{begin} \end{aligned}$$

Voor de balans kunnen zich een viertal gevallen voordoen voor de tijdsduur van een bui:

- 1) Uit > In en afname voorraad
- 2) Uit > In en toename voorraad
- 3) Uit < In en afname voorraad
- 4) Uit < In en toename voorraad

Deze vier gevallen kunnen als volgt worden uitgelegd:



Afbeelding VI.1 Stoffenbalans ontvangbak

- 1) Er is sprake van een negatieve berging die het gevolg is van enerzijds meer uitstroming dan instroming (Uit > In), anderzijds van afname door afbraak en bezinking. Als de negatieve berging absoluut gezien kleiner is dan het verschil tussen in- en uitstroming, dus

$$|Neg.berging| < (Uit - In)$$

dan betekent dit dat er een externe toevoer moet zijn.

- 2) Er is sprake van een positieve berging, terwijl er meer uitstroming is dan instroming. Dit kan alleen maar duiden op een externe toevoer, die bovendien groter moet zijn dan het verschil tussen in- en uitstroming (Uit - In).
- 3) Er is sprake van een negatieve berging. Deze wordt in de eerste plaats veroorzaakt doordat er meer uitstroming plaatsvindt dan instroming. Wanneer de negatieve berging in absolute zin groter is dan het verschil tussen in- en uitstroming, dan moet het overige deel van de negatieve berging worden toeschreven aan afbraak en bezinking.
- 4) Er is sprake van een positieve berging die in de eerste plaats ontstaat doordat de instroming groter is dan de uitstroming. Wanneer de positieve berging groter is dan het verschil tussen in- en uitstroming (In - Uit), dan duidt dit op een externe toevoer. Wanneer de positieve berging kleiner is dan het verschil tussen in- uitstroming betekent dit dat er afbraak en bezinking optreedt.

De voorgaande behandeling van de mogelijke gevallen die zich voor de stoffenbalans kunnen voordoen gaat ervan uit dat de berekening van de voorraad in de bak juist is. Hierover bestaat voor de berekening van de voorraad in de ontvangbak in het Julianapark geen zekerheid.

# **Bijlage VII Berekening zoutafname in ontvangbak ten gevolge van onweersbui 14 juli**

De geleidbaarheid is een maat voor de hoeveelheid zout die zich in het water bevindt. Een toe- of afname van de geleidbaarheid komt voort uit een toe- of afname van de zoutvoorraad in het water. De afname van de geleidbaarheid in een bepaalde laag in de ontvangbak tussen 11 en 14 juli, de dagen van de droogweer-meetsessie respectievelijk de meetsessie na de onweersbui, geeft een indruk van de afname in de zoutvoorraad in die laag ten gevolge van de onweersbui op 14 juli. In de hierna volgende berekening is aangenomen dat de verhouding waarin de zoutvoorraad in een laag afneemt gelijk is aan de verhouding waarin de geleidbaarheid in die laag afneemt.

Voor iedere laag is een 'hoeveelheid geleidbaarheid' QC bepaald als maat voor de hoeveelheid zout in die laag. QC volgt uit de vergelijking:

$$QC = \int_{d_b}^{d_o} C \, dz$$

Waarbij:

- QC : 'Hoeveelheid geleidbaarheid' [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]\*cm]
- z : diepte beneden de waterspiegel [cm]
- $d_b$  : diepte bovenkant laag, beneden de waterspiegel [cm]
- $d_o$  : diepte onderkant laag, beneden de waterspiegel [cm]
- C : Geleidbaarheid op een bepaalde diepte [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

De geleidbaarheid C op een bepaalde diepte is bepaald door lineair te interpoleren tussen de geleidbaarheid aan de bovenkant van de laag en de geleidbaarheid aan de onderkant van de laag. De indeling in lagen is zodanig gekozen dat steeds aan de boven- en ondergrens van de laag een meting van de geleidbaarheid heeft plaatsgevonden.

De resultaten van de berekening van QC staan in tabel VII.1, eenheden in ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ \*cm), tenzij anders aangegeven.

Nabij Inlaat

| Diepte beneden waterspiegel | Droogweer-situatie | Situatie na onweersbui | Afname | Procentuele afname |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|--------|--------------------|
| 0 - 30 cm                   | 7952               | 2895                   | 5057   | 64%                |
| 30 - 50 cm                  | 7598               | 1910                   | 5688   | 75%                |
| 50 - 70 cm                  | 11083              | 2000                   | 9083   | 82%                |
| 70 - 90 cm                  | 13652              | 1950                   | 11702  | 86%                |
| 90 - 110 cm                 | 15176              | 1910                   | 13266  | 87%                |
| 110 - 135 cm                | 20235              | 3738                   | 16498  | 82%                |
| 135 - 150 cm                | 12435              | 4245                   | 8190   | 66%                |
| 150 - 180 cm                | 27915              | 19395                  | 8520   | 31%                |
| Totaal                      | 116046             | 38043                  | 78003  | 67%                |



## Nabij Uitlaat

|              |       |       |       |     |
|--------------|-------|-------|-------|-----|
| 0 - 30 cm    | 7610  | 2865  | 4745  | 62% |
| 30 - 50 cm   | 5887  | 1840  | 4047  | 69% |
| 50 - 70 cm   | 7539  | 1740  | 5799  | 77% |
| 70 - 90 cm   | 9828  | 1740  | 8088  | 82% |
| 90 - 110 cm  | 11476 | 1860  | 9616  | 84% |
| 110 - 135 cm | 15354 | 4025  | 11329 | 74% |
| 135 - 150 cm | 9503  | 4530  | 4973  | 52% |
| 150 - 180 cm | 24060 | 19875 | 4185  | 17% |
| Totaal       | 91256 | 38475 | 52781 | 58% |

Tabel VII.1 Afname in 'hoeveelheid geleidbaarheid' QC in de verschillende lagen in de bak

De resultaten laten zien dat bij droog weer de zoutvoorraad voorin de bak weliswaar groter is dan achterin de bak, maar dat de voorraad na de onweersbui voor- en achterin de bak gelijk is. De procentuele afname in de totale voorraad is hierdoor voorin de bak een kleine 10% groter, de gemiddelde afname in de zoutvoorraad bedraagt voor de gehele bak 63%.

De afname in de zoutvoorraad is het grootst in de lagen tussen 70 en 110 cm beneden de waterspiegel, gemiddeld 85%. De kleinste afname doet zich voor in de laag beneden -150 cm, deze is gemiddeld 24%.

De geleidbaarheid is in de bovenste 110 cm van het water in de bak zo laag, dat dit water volledig moet bestaan uit regenwater. Het water beneden -110 cm bestaat na de onweersbui uit een mengsel van oorspronkelijk water met regenwater. De verhouding tussen het volume oorspronkelijk water en het volume regenwater waarmee dit zich heeft vermengd, kan worden geschat aan de hand van de afname in de zoutvoorraad, weergegeven door de procentuele afname van QC. De berekening voor de mengverhouding tussen oorspronkelijk water en regenwater in de laag tussen 110 en 135 cm beneden de waterspiegel verloopt als volgt.

Laag -110 tot -135 cm: Droogweer:  $QC_{drw} = 20235 \mu S/cm \cdot cm$

Na regen:  $QC_{na} = 3738 \mu S/cm \cdot cm$

Het water in de bovenste 110 cm van de bak, dat volledig uit regenwater moet bestaan, heeft een geleidbaarheid van  $100 \mu S/cm$ . Hieruit volgt dat de geleidbaarheid van het regenwater  $100 \mu S/cm$  moet bedragen. Een laag regenwater met een dikte van 25 cm, de dikte van de laag tussen -110 en -135 cm, heeft een 'hoeveelheid geleidbaarheid' die gelijk is aan:  $QC_{reg} = 100 * 25 = 2500 \mu S/cm \cdot cm$ .

Stel dat een hoeveelheid  $x$  regenwater zich vermengd heeft met het oorspronkelijke water in de laag. De hoeveelheid oorspronkelijk water die in deze laag achterblijft is dan  $(1-x)$ . De hoeveelheid  $x$  kan worden berekend uit de balans voor de betreffende laag:

$$(1-x) \cdot QC_{drw} + x \cdot QC_{reg} = QC_{na}$$

Dit geeft:

$$x = \frac{QC_{drw} - QC_{na}}{QC_{drw} - QC_{reg}}$$

Wanneer de waarde voor QC voor de laag tussen -110 en -135 cm worden ingevuld in deze vergelijking, resulteert dit in een waarde voor x:  $x = 0,9$ . Dit betekent dat het water dat zich na de onweersbui in deze laag bevindt, voor 90% bestaat uit regenwater en voor 10% uit water dat

oorspronkelijk is deze laag aanwezig was. De mengverhouding tussen oorspronkelijk water en regenwater is dus 1 op 9. Deze verhouding is slechts een schatting, waarbij aan de getalswaarden geen exacte betekenis moet worden toegekend. Deze schatting heeft als functie een indruk te geven van het effect dat het water dat tijdens een regenbui de bak binnenstroomt, heeft op het water dat zich op verschillende diepten in de bak bevindt.

De geschatte mengverhouding voor alle lagen in de bak staat in tabel VII.2.

| Laag, aanduiding in cm beneden de waterspiegel | Aandeel oorspronkelijk water | Aandeel regenwater |
|------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 0 - 30                                         | 0 %                          | 100 %              |
| 30 - 50                                        | 0 %                          | 100 %              |
| 50 - 70                                        | 0 %                          | 100 %              |
| 70 - 90                                        | 0 %                          | 100 %              |
| 90 - 110                                       | 0 %                          | 100 %              |
| 110 - 135                                      | 10 %                         | 90 %               |
| 135 - 150                                      | 30 %                         | 70 %               |
| 150 - 180                                      | 75 %                         | 25 %               |

Tabel VII Mengverhouding regenwater met oorspronkelijk water voor de verschillende lagen in de bak

Uit de resultaten komt duidelijk naar voren dat het effect van het binnenstromende regenwater vanaf 110 cm beneden de waterspiegel sterk afneemt met de diepte. In de laag van -110 tot -135 cm is de invloed van het regenwater nog groot en van het water in deze laag verdwijnt het grootste gedeelte uit de bak. In de laag beneden -150 cm, daarentegen, blijft het grootste gedeelte van het oorspronkelijke water aanwezig en verdwijnt slechts een gedeelte onder de invloed van het regenwater uit de bak.

De bui waarvoor deze analyses zijn uitgevoerd is een hevige bui waarbij 20 mm neerslag viel. Bij deze hevige bui bleef het water in de onderste lagen van de bak voor een groot gedeelte onbeïnvloed door het regenwater. Het is aannemelijk dat bij de meeste regenbuien, die voor het merendeel minder hevig zijn, het water onderin de bak niet aan de stroming deelneemt. Dit geldt in ieder geval voor het water beneden -150 cm, maar bij kleinere buien blijft het water mogelijk over een grotere diepte onaangeroerd.