

Stichting RIONED

## **Metten en berekenen rioolstelsels**

*Een systematische en stapsgewijze methodiek voor het verbeteren van de betrouwbaarheid van hydraulische modelberekeningen.*

© februari 2003  
Stichting RIONED, Ede

*Stichting RIONED is zich volledig bewust van haar taak een zo betrouwbaar mogelijke uitgave te verzorgen. Niettemin kan zij geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventueel in deze uitgave voorkomende onjuistheden.*

ISBN 90 73645 15 8  
Opmaak Grafisch Atelier Wageningen  
Druk Modern, Bennekom

# Voorwoord

Recent onderzoek heeft uitgewezen dat er grote verschillen kunnen optreden tussen de ontwerpgegevens van een rioolstelsel op basis van modelberekeningen en het feitelijk functioneren van een rioolsysteem. Bovendien worden de rioleringsmodellen thans vrijwel niet geijkt aan de werkelijkheid. Dit rapport biedt een methode om in concrete situaties het berekende hydraulisch functioneren te toetsen aan praktijkmetingen. Het doel is de kwaliteit van het rekenmodel op het gewenste niveau te brengen. In deze methode zijn rekenen en meten aanvullend op elkaar. De voornaamste stappen zijn:

- op orde brengen van de basisgegevens;
- controleren van de waterbalans voor respectievelijk droogweerafvoer, regenwaterafvoer zonder overstorting en regenwaterafvoer met overstorting;
- controleren van het functioneren van de riolering;
- kalibreren van het rekenmodel aan de hand van praktijkmetingen.

Ingegaan wordt op onder meer controleprocedures, meetinstrumenten, meetopzetten, analysemethoden en kalibratiemethoden. Ook worden praktijkvoorbeelden beschreven.

Het onderzoek is tot stand gekomen in nauwe samenwerking tussen TAUW en ARCADIS met bijdragen van Witteveen+Bos betreffende de visie op de inrichting van het project, onderdelen van het bijlagenrapport en hoofdstuk 'Kalibreren van modelparameters' van het hoofd rapport. ARCADIS is opgetreden als penvoerder van het project.

## Het project is begeleid door de volgende deskundigen:

Rob van de Velde	Gemeente Hengelo
Guus Rameckers	Gemeente Weert
Richard Doornekamp	Gemeente Utrecht
Guus de Laat	Hoogheemraadschap West Brabant
Ton Beenen	Stichting RIONED

Opdrachtgever was Stichting RIONED. Een financiële bijdrage is verleend door het Fonds Collectief Onderzoek GWW.



# Inhoud

<b>Summary</b>	7
<b>Samenvatting</b>	10
<b>1 Inleiding</b>	13
1.1 Probleemstelling	15
1.2 Doelstelling	16
1.3 Doelgroep	16
1.4 Afbakening project	16
1.5 Leeswijzer	17
<b>2 Kader</b>	18
<b>3 Werkwijze</b>	21
3.1 Waterbalans	21
3.2 Werkmethode	22
<b>4 Basisgegevens</b>	25
4.1 Definiëren meetgebied	25
4.2 Kenmerken rioolstelsel	26
4.3 Belastingen rioolstelsel	28
4.4 Afvoerend (verhard) oppervlak	29
4.5 Gegevensbestanden rioolstelsel	33
4.6 Kaartmateriaal	34
4.7 Hydraulisch functioneren	36
4.8 Knelpunten/klachten	38
4.9 Veldonderzoek	38
4.10 Historische informatie	39
<b>5 Meetplan rioolstelsel</b>	40
5.1 Uitgangspunten	41
5.2 Droogweer (DWA)	42
5.3 Neerslag, geen overstorting (RWA)	46
5.4 Neerslag, wel overstorting (RWA+)	50
5.5 Verloop en volumebeslag van de droogweerafvoer	52
5.6 Berging en opstuwing in rioolstelsel	54
5.7 Hydraulische afvoercapaciteit	56
5.8 Afvoer bijzondere constructies	58
5.9 Meetgegevens- en logfrequentie	59

<b>6</b>	<b>Functioneren rioolstelsel</b>	<b>63</b>
6.1	Droogweerafvoer (DWA)	63
6.2	Neerslag, geen interne/externe overstorting (RWA)	71
6.3	Neerslag, wel overstorting (RWA+)	75
6.4	Berging en opstuwing in rioolstelsel	81
6.5	Hydraulische afvoercapaciteit	85
6.6	Afvoer bijzondere constructies	87
6.7	Schatten inlooppparameters	88
<b>7</b>	<b>Kalibreren modelparameters</b>	<b>92</b>
7.1	Kalibratieproces	92
7.2	Parameterisering	94
7.3	Meetgegevens	95
7.4	Beoordelen resultaat	97
7.5	Praktische uitvoering	102
7.6	Validatie	104
<b>8</b>	<b>Geraadpleegde literatuur</b>	<b>105</b>
	<b>Bijlagen</b>	
1	Metten neerslag	107
2	Metten waterstand	109
3	Metten pompdebiet	111
4	Metten overstort-/doorlaatdebieten	116
5	Metten leidingdebieten	121
6	Voorbeeld kalibreren rioolstelsel Loenen	123
7	Voorbeeld kalibreren inlooppparameters (aangepast model)	131
7.1	Enkele bui	131
7.2	Buienreeks	135

## Summary

Monitoring is an essential step in getting a good understanding of the functioning of an urban drainage system.

This is true under normal circumstances in which the wastewater is transported to a treatment plant as well as under more extreme conditions in which the system is overloaded and wastewater spills over into surface waters.

Over the years the demands put on these systems have grown more and more stringent.

Understanding the (hydraulic) behavior is of utmost importance in designing measures for improving the system in terms of protection against flooding or environmental damage. This leads to the necessity of stepwise, systematic methods to improve the reliability of models used in this field of engineering.

The activities as described in the Dutch guidelines (Leidraad Riolerings module C2100) with respect to hydrodynamic calculation, aim at the acquisition of data and information by which the necessary understanding can be obtained using a hydrodynamic model. The present generation of hydrodynamic models has hardly ever been verified with ground truth. Research has shown that substantial difference can be present between theoretical (model) and actual (measured) hydraulic behavior. The possible causes are errors in or incompleteness of the database applied, limitations in the modelling concept, or incorrect assumptions with respect to the model parameters applied.

In practice, monitoring and systematic checking of monitoring data is not common practice. One of the causes for this is a lack of knowledge and possibly the unawareness of practitioners with methods to obtain more reliable models.

Due to increasing uncertainty on the effects of climatic changes, increase of paved area, and implementation of new technologies on the functioning of urban drainage systems, there is an increasing demand for methods to improve the models used in this field of engineering.

The Dutch guidelines (Leidraad Riolerings module C2300) describe monitoring methods, but there is no link between monitoring and modeling in these guidelines. In order to fill this gap, RIONED foundation has taken the initiative to start a project of which the results are presented in this report describing the application of monitoring data for improving hydrodynamic models in urban drainage. Several methods are presented, based on the assumption that a detailed model (describing the urban drainage system on the level of conduits and manholes) is applied as is described in the Dutch Guidelines. This puts very strict demands on the quality of database. In this report control-procedures, calibration methods, monitoring set-ups, measuring devices are described and illustrated using cases. Some issues are dealt with in some

detail by examples. The reader is offered the possibility to use the methods described in practical applications.

The methods are described for the situation of a combined sewer system and quantitative monitoring only, otherwise the report gives the main point of interest with respect to interactions between (sub)systems (e.g. interaction between surface waters and sewer system during overflows). The exact methods for monitoring these and other possible interactions between urban drainage systems and other (sub) systems is not described in this report.

The recommended methods in this report start with a check of the database (describing the structure of the system and the geometry of the components) and end with the check of theoretical (model) results against measured results (monitoring program).

Combining monitoring and modeling can lead to identification of the causes of differences between them. Calibration of model parameters can be applied on several moments in a project to improve the accuracy of the model at specific point.

The working method described in this report holds 4 distinct steps;

- 1 Check of the database
- 2 Monitoring
- 3 Analysis of the functioning of the system under study
- 4 Parameter calibration.

Step 1 is (mainly) a desk-study in which possible additional information is acquired by field check. The check aims at improving the consistency, completeness and accuracy of the database and is as such a primary requirement for the next steps like model verification and calibration.

Step 2 describes the monitoring in terms of the monitoring locations, measuring frequency, measuring period and measuring techniques applied. The accuracy and resolution in time and space is mainly determined by the main objective of the monitoring program. In some cases an estimation will do, in other cases very detailed and accurate measuring results are required. The methods described in step 2 give clues how to obtain a tailor made solution.

Step 3 discusses the methods by which the results of a monitoring program as well as the theoretical results (model) are checked using a water-balance. The objective is to obtain understanding of the possible causes of differences between theory and practice and to get estimations for some model parameters.



Step 4 describes methods to calibrate the (improved) model by means of parameter fitting and to get rid of 'noise' in order to obtain more 'practical' values for model parameters.

The water balance is chosen as the main landmark in the methods described, deviations in the water-balance can lead to clues with respect to the possible causes of these deviations.

Under specific conditions some flows in the water-balance are known to be zero, thus offering the possibility to obtain explicit information on one particular parameter. The following three situations are distinguished:

- Dry Weather Run off
- Precipitation, no overflows, internal nor external
- Precipitation with in- and/or external overflows.

| 9

One of the main requirements when using the methods described in this report is that the monitoring data and the used database model relate to the same system. This implies that using 'old' monitoring data can only be done when the database model describes the structure and geometry of the system at the time of the acquisition of the monitoring data.

The minimal measuring set-up for an analysis of the water balanced under Dry Weather conditions, contains a rain gauge and a measuring device for the discharge out of the system (mostly by a pumping station).

Extension of this set-up by a water level gauge in the direct vicinity of the spill over with the lowest weir level and possibly at some other locations in the system allows a check of the water balance under storm conditions, for storms that do not initiate an external spill over.

A further extension is possible to allow for the check of the water-balance under conditions in which a spill over functions during a storm, in this case the overflow coefficient of the individual weir has to be known either by model calibration or by the measuring of the Q-h relation of the overflows in separate field experiments.

Application of a hydrodynamic model of an urban drainage system that is verified with ground truth leads to a more consistent and trustworthy basis for investments in measures for improving the system.

# Samenvatting

Metten is een essentiële stap in het verkrijgen inzicht in het functioneren van een rioolstelsel. Dit geldt zowel voor normale omstandigheden waarbij het afvalwater wordt afgevoerd naar een zuivering als voor extremere omstandigheden waarbij het systeem overbelast kan raken, overstorten kunnen gaan werken en water op straat kan optreden. De eisen die worden gesteld aan het functioneren van systemen zijn de afgelopen jaren stringenter geworden. Een gefundeerd inzicht in het functioneren van het rioolstelsel is daarbij belangrijk voor een degelijke onderbouwing van maatregelen. Er is daarom een behoefte aan opzetten van een stapsgewijze en systematische methode om het functioneren van een rioolstelsel betrouwbaar te kunnen simuleren met een model dat is getoetst aan praktijkmetingen.

10 |

De Leidraadmodule C2100 'Rioleringsberekeningen; hydraulisch functioneren' is gericht op het vergaren van gegevens en informatie aan de hand waarvan het gewenste inzicht kan worden verkregen met gebruikmaking van een rioleringsmodel. De huidige generatie rioleringsmodellen is echter vrijwel niet getoetst aan de werkelijkheid. Onderzoek wijst uit dat er aanzienlijke verschillen kunnen optreden tussen het theoretisch en feitelijk systeemgedrag. De mogelijke oorzaken kunnen worden gezocht in fouten in de rioleringsgegevens, beperkingen in het modelconcept en fouten in aannamen van modelparameters.

De Leidraadmodule C2300 'Meten aan riolering' voorziet wel in meetmethoden maar in mindere mate in de koppeling tussen meten en rekenen.

Dit rapport gaat in op de relaties die gelegd kunnen worden tussen de resultaten van berekeningen en metingen. Het geeft een aantal bouwstenen die kunnen worden ingezet op het pad dat dient te worden bewandeld om aan de hand van een rekenmodel en praktijkmetingen een betrouwbaar inzicht te krijgen in het functioneren van de riolering. We richten ons daarbij op een volledig (gedetailleerd) model van het rioolstelsel (C2100), waarbij hoge eisen worden gesteld aan basisgegevens zoals geometrie, afvoerende oppervlak etc.

De bouwstenen bestaan uit controleprocedures, meetinstrumenten, meetopzetten, analysemethoden, kalibratiemethoden en praktijkvoorbeelden. In het rapport wordt de hoofdroute beschreven. Op onderdelen wordt meer diepgang gegeven door voorbeelden verder uit te werken. Aan de gebruiker wordt de mogelijkheid geboden deze principes over te dragen op andere (vergelijkbare) situaties.

De methode wordt beschreven voor een gemengd rioolstelsel en het verrichten van kwantiteitsmetingen. In het onderzoek wordt op hoofdlijnen aangegeven hoe met

eventuele interacties met het omringende afvalwater- en/of stedelijk watersysteem kan worden omgegaan. De wijze waarop dergelijke interacties dienen te worden geïntegreerd, de benodigde meetopzet en modellering valt buiten het kader van dit onderzoek.

Het stapsgewijze karakter van de aanpak kenmerkt zich door een opbouw die begint bij de controle van de basisgegevens van het rioleringsmodel en die eindigt bij toetsen en bijsturen van het theoretisch functioneren van een rioolstelsel aan de hand van een volwaardig meetprogramma. Er wordt aangegeven op welke wijze met behulp van praktijkmetingen controle kan worden uitgeoefend op het functioneren van het rioolstelsel, waarbij het koppelen van de praktijkmetingen aan de theoretische gegevens inzicht kan bieden in oorzaken van afwijkingen. De kalibratie van modelparameters kan op verschillende momenten worden ingezet om de nauwkeurigheid van het rioleringsmodel op specifieke punten te verbeteren.

| 11

De beschreven werkmethode is opgebouwd uit 4 stappen, die elk kunnen bijdragen aan een verhoging van de betrouwbaarheid van het rekenmodel:

- 1 Controleren basisgegevens systeem
- 2 Uitvoeren van praktijkmetingen
- 3 Analyseren functioneren systeem
- 4 Kalibreren modelparameters.

Stap 1 kan worden opgevat als een bureaustudie, waarbij eventueel aanvullende informatie wordt ingewonnen via een veldbezoek. Deze stap richt zich primair op de controle en verbetering van de nauwkeurigheid van de basisgegevens rekenen. Deze stap is de basis voor een zinvolle uitvoering van eventuele vervolgstappen, zoals toetsen van modelberekeningen en kalibreren van modelparameters.

Stap 2 beschrijft de metingen: de locaties, de meetfrequentie, meetduur en meettechnieken. De gewenste nauwkeurigheid en dichtheid van praktijkmetingen hangt nauw samen met het meetdoel. Soms kan worden volstaan met een schatting, in andere gevallen zijn nauwkeurige metingen vereist. Deze stap biedt handreikingen om te komen tot de juiste meetopzet.

Stap 3 beschrijft de wijze waarop praktijkmetingen en de theoretische gegevens worden gecontroleerd aan de hand van een waterbalans. Het doel is om inzicht te krijgen in de mogelijke oorzaak van afwijkingen tussen het theoretisch en feitelijk systeemgedrag en om boven- en ondergrenzen van modelparameters en gegevens in beeld te brengen.

Stap 4 beschrijft technieken om specifieke modelparameters van het (inmiddels verbeterde) rioleringsmodel te kunnen ijken aan de praktijksituatie, om eventuele resterende 'ruis' uit te filteren om te komen tot meer praktijkgerichte modelparameters.

Het systematische karakter van de aanpak kenmerkt zich door het gebruik van een waterbalans. Via de waterbalans wordt inzicht verkregen in de grootte van ontbrekende parameters en/of mogelijke afwijkingen. Doordat onder specifieke omstandigheden bepaalde onderdelen van de waterbalans komen te vervallen kunnen parameters expliciet worden gemaakt en getoetst. De waterbalans van het systeem wordt gebruikt om de relatie tussen het theoretisch functioneren van een rioolstelsel en de praktijk te analyseren. De waterbalans van een rioolstelsel kan worden opgesteld voor de volgende drie verschillende belastingssituaties:

12 |

- droog weer (DWA);
- neerslag, geen interne en/of externe overstorting (RWA);
- neerslag, wel interne en/of externe overstorting (RWA+).

Uitgangspunt van het rapport is dat steeds wordt uitgegaan dat de meetgegevens en de modeldata die gebruikt worden refereren aan hetzelfde systeem. Dat impliceert dat 'oude meetgegevens' alleen kunnen worden gebruikt als er modeldata beschikbaar zijn die het rioolstelsel beschrijven zoals het was ten tijde van de verwerving van de meetgegevens. De minimum benodigde meetopzet voor een analyse van de droogweerbilans (DWA) bestaat uit een meting van neerslag en van de afvoer tijdens droogweersituaties.

Door de meetopzet uit te breiden met een meting van waterstanden ter plaatse van de overstortdrempel(s) en eventueel ter plaatse van controlepunten kan voor buien, die (net) niet tot een overstortingsgebeurtenis leiden het functioneren worden gecontroleerd aan de hand van de RWA-waterbalans. Door (veld)kalibratie kan het functioneren van specifieke onderdelen van het systeem nauwkeurig worden bepaald.

Het doel is uiteindelijk om het functioneren rioleringsmodel voldoende nauwkeurig af te stemmen op de gegevens uit metingen. Met een rioleringsmodel dat in voldoende mate de werkelijke situatie beschrijft kunnen investeringen/maatregelen beter worden onderbouwd.

# 1 Inleiding

Een goed inzicht in het hydraulisch functioneren van een rioolstelsel is één van de belangrijkste voorwaarden voor het in stand houden van het systeem (goed beheer). In de loop der jaren zijn de eisen die gesteld worden aan dit inzicht alleen maar stringenter geworden. Enerzijds is dit te verklaren uit het feit dat steeds gedetailleerder eisen aan het hydraulisch functioneren worden gesteld vanuit milieutechnische overwegingen. Anderzijds is middels de sterke ontwikkeling in de rekentechnieken ook het aanbod van informatie ten aanzien van het hydraulisch functioneren in kwantiteit en gedetailleerdheid toegenomen.

Teneinde uniformiteit te brengen in de aard, omvang en kwaliteit van de informatie die kan worden verkregen omtrent het hydraulisch functioneren is in de Leidraad Riolerings een tweetal modules opgenomen:

- C2100 Rioleringsberekeningen; hydraulisch functioneren
- C2300 Meten aan riolerings

De activiteiten beschreven in beide leidraadmodules ('rekenen en meten') beogen feitelijk een zelfde doel, namelijk het vergaren van gegevens en informatie aan de hand waarvan inzicht kan worden verkregen in het hydraulisch functioneren van een rioolstelsel. Binnen het vakgebied riolerings wordt volgens de systematiek van het GRP, het verschil tussen beide methoden wel aangeduid als 'theoretisch' (rekenen) en 'werkelijk' (meten) systeem gedrag.

Dit rapport gaat in op de relaties die gelegd kunnen worden tussen de resultaten van berekeningen en metingen. Deze resultaten van berekeningen en metingen zijn eerder complementair dan elkaars substituut; resultaten van modelberekeningen kunnen veel aan kwaliteit winnen door gebruik te maken van meetresultaten, terwijl de resultaten van metingen vaak een bredere betekenis krijgen indien deze worden gecombineerd met rekenresultaten.

Er is hierbij onderscheid te maken tussen modellen waarmee een bestaande situatie wordt beschreven en modellen waarmee effecten van maatregelen aan een systeem worden geanalyseerd. De bestaande situatie kan worden getoetst aan de werkelijkheid met als doel het functioneren van het rekenmodel indien nodig te verbeteren. Een verbeterd rekenmodel is een belangrijke basis voor het onderbouwen van maatregelen en voor verbetering van het functioneren van het bestaande systeem.

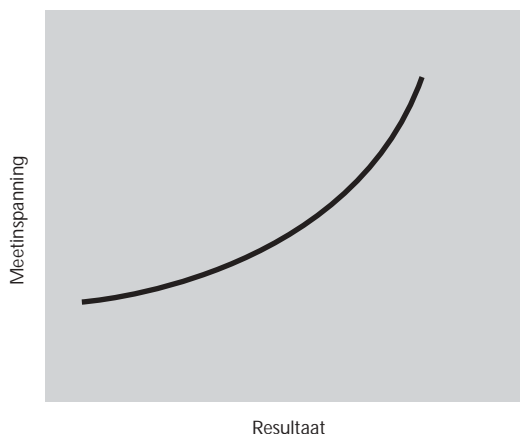
Het voorliggende rapport geeft handvatten om op diverse niveaus van detail, kennis en

ambitie gebruik te maken van meetresultaten en rekenresultaten om inzicht te verkrijgen in het hydraulisch functioneren van een rioolstelsel. Hiermee wordt enerzijds voorzien in een opvulling van de leemte die nu bestaat tussen de genoemde leidraad-modules en wordt anderzijds een aanvulling gegeven op de leidraadmodule C2300.

'Rekenen' en 'meten' aan rioolstelsels wordt momenteel in vrijwel alle gevallen gedaan om een basis te verkrijgen voor het nemen van beslissingen ten aanzien van te nemen maatregelen.

Voor de toekomst wordt verwacht dat het functioneren van een rioolstelsel wordt gemeten om de werking van het systeem met eventuele maatregelen aan te tonen. Afhankelijk van de kosten van de maatregelen en de risico's die kleven aan het nemen van een onjuist besluit, moeten meer of minder stringente eisen worden gesteld aan de betrouwbaarheid van deze basis. Dit geeft meteen aan dat niet altijd de hoogst haalbare graad van exactheid moet worden nagestreefd. Voorkomen dient te worden dat studies worden uitgevoerd, waarvan de kosten hoger liggen dan de maatregel waarover besloten moet worden.

14 |



---

De opbouw van dit rapport is zodanig dat er wordt gewerkt van grof naar fijn, dus vrij grove eenvoudige modellen gekoppeld aan eenvoudige meetmethoden en waarnemingen tot en met de kalibratie van onderdelen van een hydrodynamisch model.

Een eenvoudige meetopzet levert vaak een duidelijke meerwaarde op voor het inzicht in het functioneren van een rioolstelsel. Een drempelinspanning is noodzakelijk om een minimale meetopzet te kunnen realiseren. Een toenemende meetinspanning betekent meer samenhang in de meetopzet waardoor er onderlinge relaties tussen de

meetgegevens kunnen worden gelegd. Het kalibreren van een set modelparameters is een finale stap in het meetplan, in principe gebaseerd op een zo volledig mogelijke meetopzet.

### 1.1 Probleemstelling

De huidige generatie rioleringsmodellen is vrijwel niet geijkt aan de werkelijkheid. Onderzoek wijst echter uit, dat er aanzienlijke verschillen kunnen optreden tussen het theoretisch en feitelijk systeemgedrag. De mogelijke oorzaken van de verschillen kunnen worden onderverdeeld in drie categorieën, te weten:

- 1 **rioleringsgegevens** (geometrie en structuur) bevatten fouten of ontbreken;
- 2 **modelconcept** beschrijft onvoldoende het proces van inzameling, transport en afvoer;
- 3 **parameters** van het rioleringsmodel stemmen niet overeen met de werkelijkheid.

| 15

Onder categorie 1 vallen o.a. fouten in de database zoals onjuiste hoogtegegevens of buisdiameters, verkeerde of ontbrekende verbindingen, afwijkingen in het afvoerend verhard oppervlak, verkeerde schematiseringen, ontbrekende of onjuist geïnterpoleerde gegevens etc.

Onder categorie 2 vallen afwijkingen in het systeemgedrag als gevolg van het modelconcept, in dit geval het rioleringsmodel conform de Leidraad Module C2100, dat de werkelijk optredende processen in onvoldoende mate beschrijft. Een aanpassing of uitbreiding van het model is eventueel noodzakelijk. Hierbij valt te denken aan opname van het bodem- of oppervlaktewatersysteem in het model teneinde de interacties beter te kunnen beschrijven.

Onder categorie 3 vallen afwijkingen tussen bijvoorbeeld de default waarden van het rioleringsmodel voor infiltratiecapaciteit, de overlaatcoëfficiënten, de k-waarde en de waarden in de praktijk.

Het systematisch controleren van meetgegevens en het uitvoeren van praktijkmetingen aan de riolering vindt in de praktijk nog beperkt plaats. Eén van de oorzaken is het ontbreken van inzicht en overzicht van methoden om te komen tot meer betrouwbare rioleringsmodellen. Door een toenemende onzekerheid over effecten van klimaatontwikkeling (temperatuurstijging), verstening, afkoppeling van verhard oppervlak en nieuwe technieken op het functioneren van de riolering groeit de behoefte aan methoden ter verbetering van het rioleringsmodel.

## 1.2 Doelstelling

Het opzetten van een stapsgewijze en systematische methode om het functioneren van een rioolstelsel betrouwbaar te kunnen simuleren met een model dat is getoetst aan praktijkmetingen.

## 1.3 Doelgroep

Dit rapport is geschreven voor de medewerkers van gemeenten en waterschappen die zich meer intensief willen gaan bezighouden met het verrichten van praktijkmetingen. Het biedt ondersteuning bij het kiezen van de benodigde meetopzet en meetapparatuur. Daarnaast is het rapport gericht op meer gespecialiseerde mensen die apparatuur (laten) installeren, de resultaten van metingen interpreteren, waarnemingen terugkoppelen naar basisgegevens en meetresultaten willen nabootsen met rekenmodellen.

16 |

## 1.4 Afbakening project

In dit onderzoeksproject wordt de methodiek beschreven voor een gemengd rioolstelsel en het verrichten van kwantiteitsmetingen. In het onderzoek zal op hoofdlijnen worden aangegeven hoe met eventuele interacties met het omringende afvalwateren/of stedelijk watersysteem kan worden omgegaan. De wijze waarop dergelijke interacties dienen te worden geïntegreerd, de benodigde meetopzet en modellering valt buiten het kader van dit onderzoek.

Dit rapport geeft een aantal bouwstenen die kunnen worden ingezet op het pad dat dient te worden bewandeld om aan de hand van een rekenmodel en praktijkmetingen een betrouwbaar inzicht te krijgen in het functioneren van de riolering. We richten ons daarbij op een volledig (gedetailleerd) model van het rioolstelsel (C2100), waarbij hoge eisen worden gesteld aan basisgegevens zoals geometrie, afvoerend oppervlak etc.

De bouwstenen bestaan uit controleprocedures, meetinstrumenten, meetopzetten, analysemethoden, kalibratiemethoden en praktijkvoorbeelden. In het rapport wordt de hoofdroute beschreven. Op onderdelen wordt meer diepgang gegeven door voorbeelden verder uit te werken. Aan de gebruiker wordt de mogelijkheid geboden deze principes over te dragen op andere (vergelijkbare) situaties.

Het voorliggende rapport is feitelijk de beschrijving van de stand van zaken in een ontwikkeling die momenteel gaande is. Het bevat onderdelen die redelijk ver zijn uitgekristalliseerd en het beschrijft ontwikkelen die feitelijk nog in de kinderschoenen staan. Voorbeelden van meetprojecten opgezet conform de beschreven meetopzet en ervaringen met het toepassen van de omschreven analysemethoden ontbreken nog. Op dat punt moeten we nog veel ervaring opdoen.



## 1.5 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd volgens de logische volgorde van stappen om te komen tot een betrouwbaar rioleringsmodel. De volgorde en inhoud van de te ondernemen stappen zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De daaropvolgende hoofdstukken gaan in op respectievelijk het controleren van de basisgegevens (hoofdstuk 4), de benodigde meetopzet (hoofdstuk 5), analyse van het functioneren (hoofdstuk 6) en tot slot kalibratie van modelparameters (hoofdstuk 7). In de bij dit rapport behorende bijlagen is informatie opgenomen over te hanteren meettechnieken en enkele voorbeelden van modelkalibratie.

## 2 Kader

Het functioneren van rioolstelsels wordt aan de hand van modelsimulaties periodiek gecontroleerd om na te gaan of wordt voldaan aan maatstaven ten aanzien van vuil-uitwerp en het optreden van water op straat. In de module C2100 is een eerste stap gezet naar een zo realistisch mogelijk inzicht in het functioneren van een rioolstelsel, in de vorm van een methode voor het eenduidig uitvoeren van modelberekeningen. Het doel van module C2100 is om het functioneren van een rioolstelsel onder een invloed van een meerjarige neerslagbelasting te controleren. De methode statistiek-achteraf is gekozen als een eenduidige benadering om modelresultaten te kunnen analyseren. De methode C2100 biedt een duidelijk aanknopingspunt voor een toetsing van modelresultaten aan waarnemingen. Het meten aan systemen is mede daarom meer in de belangstelling komen te staan.

18 |

Het meten aan een rioolstelsel kan vanuit verschillende invalshoeken plaatsvinden:

- 1 op hoofdlijnen controleren van het rekenmodel om na te gaan of het binnen redelijke (ruime) grenzen aansluit op de praktijk
- 2 (meer) in detail controleren van het rekenmodel dat wordt gebruikt om aanpassingen aan het systeem te voorspellen
- 3 in beeld brengen van effecten van lozingen van een systeem naar het oppervlaktewater om noodzaak en prioriteiten van maatregelen te kunnen onderbouwen
- 4 aantonen van het functioneren van (onderdelen van) een systeem in verband met regelgeving
- 5 het inspelen op klachten en het verzamelen van informatie ten behoeve van het beheer en onderhoud.

Qua meetinspanning kunnen er grote verschillen zijn in het realiseren van de verschillende doelstellingen. Een beschouwing op hoofdlijnen kan met relatief beperkte middelen worden uitgevoerd en geeft vaak een bruikbaar inzicht in grote afwijkingen tussen theorie en praktijk. Een beschouwing meer in detail biedt de mogelijkheid het rekenmodel en de praktijk beter op elkaar af te stemmen.

De kwaliteit van de basisgegevens is in veel gevallen de zwakste schakel. Een model blijft een benadering van de werkelijkheid. Tekortkomingen in de beschrijvingen van relevante processen in een model kunnen ook een oorzaak zijn van restafwijkingen tussen theorie en praktijk. Voorbeelden hiervan zijn: inloop van grondwater, afvoer van water over straat, onduidelijke variatie in buitenwaterstanden en inloop van neerslag in hellend gebied. Ook meetfouten dragen ertoe bij dat theorie en praktijk nooit volledig met elkaar in overeenstemming zijn te brengen.

Metten aan systemen levert daarom niet altijd een duidelijk (eenduidig) resultaat op.

Het is belangrijk om na te gaan of forse inspanningen in een gedetailleerd meetplan opwegen tegen de meerwaarde van het inzicht in bijvoorbeeld het onderbouwen van investeringen.

Het kalibreren van een model is een systematische methode om fouten in modellen (en meetgegevens) te kunnen opsporen. Het is eigenlijk een methode die de menselijke factor in het controleren van rekenmodellen vergaand probeert te reduceren. Afhankelijk van de grootte van een systeem, de duur van een (neerslag) belasting en het aantal mogelijke foutbronnen kan een dergelijke procedure een zeer forse rekeninspanning vergen.

Het is ook mogelijk om een model handmatig te kalibreren, Met enig geluk en veel ervaring kunnen grote afwijkingen tussen model en praktijk met een aanzienlijk mindere rekeninspanning worden gevonden. Het kalibreren van modellen van grote systemen staat feitelijk nog in de kinderschoenen omdat de rekenkracht van computers nog een beperkende factor is. De menselijke factor in het selecteren van de mogelijke foutbronnen en de beperkte beschrijving van processen in de verschillende modellen is nog een zwak punt. Hier is een vergelijking mogelijk met de ontwikkeling van de schaakcomputer die lange jaren niet op kon tegen het menselijke brein. Een schaakspel is echter strak gedefinieerd en is aanzienlijk eenvoudiger dan een beschrijving van het model van een neerslag, afvalwater- en oppervlaktewatersysteem.

| 19

In het kader van de CIW (Commissie Integraal Waterbeheer) wordt in 2003 een onderzoek afgerond wat informatie oplevert op basis waarvan een gemeente in samenwerking met de waterbeheerder een monitoringsprogramma kan ontwerpen. Het monitoringsprogramma dient zo goed mogelijk aan te sluiten bij de lokale omstandigheden en dient inzicht te verschaffen in de relatie tussen de werking van een rioolsysteem en het watersysteem.

De volgende drie sporen zijn/worden uitgewerkt in de vorm van een werkdocument en een beleidsadvies:

**spoor 1** Het verkrijgen van inzicht in de overstortingsfrequentie en overstortingsduur

**spoor 2** Het verhogen van het inzicht in het feitelijk functioneren van de gemengde riolering

**spoor 3** Het aantoonbaar maken van het effect van een overstorting uit een rioolstelsel op het ontvangende water.

Praktijkmetingen conform spoor 1 worden door menig waterbeheerder als meetverplichting opgelegd. Praktijkmetingen conform spoor 2 en/of spoor 3 zullen pas worden uitgevoerd indien hier voldoende aanleiding toe is. De praktijkmetingen zijn bedoeld ter ondersteuning van het waterkwaliteitsspoor. De inzet van praktijkmetingen om de

basisinspanning beter af te kunnen stemmen op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater zal in overleg tussen de riool- en waterbeheerder dienen te worden overeengekomen.

Voor de praktische uitwerking van spoor 2 wordt in het CIW-onderzoek uitgegaan van de invalshoek 'controle rekenmodel op hoofdlijnen' op basis van de resultaten van spoor 1. De praktische uitwerking in het CIW-onderzoek is afgestemd met dit rapport. Voor andere invalshoeken (het meer in detail controleren van het rekenmodel, het functioneren van onderdelen en het verzamelen van informatie ten behoeve van het beheer en onderhoud) wordt meermaals verwezen naar dit rapport.

20 | Meten is een kwestie van het verzamelen van waardevolle informatie. Als het gaat om de keuze tussen 1) een alles(veel)omvattend meetplan op termijn en 2) beperkt meetplan per direct, dan heeft optie 2 duidelijk de voorkeur. Een beperkt meetplan biedt de mogelijkheid om de kenmerken van een systeem op hoofdlijnen te kunnen toetsen. In eenvoudige stelsels (bijvoorbeeld met 1 overstort) is een eenvoudige benadering vaak al voldoende om maatregelen kosteneffectief te kunnen onderbouwen. Een beperkt meetplan levert vooral ook snel informatie op, dat waardevol kan zijn als het gaat om het afwegen van korte termijn maatregelen. Een beperkt meetplan levert veelal argumenten om de opzet van een uitgebreider meetplan beter te kunnen rechtvaardigen. Deze aanpak past in de strategie van de stapsgewijze opzet van een meetplan, zoals in dit rapport beschreven.

## 3 Werkwijze

Het streven naar een betrouwbaar rekenmodel is een proces wat zich afspeelt ergens tussen 'het uit het archief trekken van een (oud) bestand' en 'de inzet van een met succes gekalibreerd actueel rioleringsmodel'. Het in- en uitstapmoment zal per gebruiker verschillen, afhankelijk van de uitgangssituatie en het gebruiksdoel.

Om zo goed mogelijk bij de praktijksituatie te kunnen aansluiten is gekozen voor een stapsgewijze systematische aanpak:

Het systematisch karakter van de aanpak kenmerkt zich door het gebruik van de waterbalans. Via de waterbalans wordt inzicht verkregen in de grootte van ontbrekende parameters en/of mogelijke afwijkingen. Doordat onder specifieke omstandigheden bepaalde onderdelen van de waterbalans komen te vervallen kunnen parameters expliciet worden gemaakt en getoetst.

| 21

Het stapsgewijze karakter van de aanpak kenmerkt zich door een opbouw die begint bij de controle van de basisgegevens van het rioleringsmodel en die eindigt bij toetsen en bijsturen van het theoretisch functioneren van een rioolstelsel aan de hand van een volwaardig meetprogramma. Er wordt aangegeven op welke wijze met behulp van praktijkmetingen controle kan worden uitgeoefend op het functioneren van het rioolstelsel, waarbij het koppelen van de praktijkmetingen aan de theoretische gegevens inzicht kan bieden in oorzaken van afwijkingen. De kalibratie van modelparameters kan op verschillende momenten worden ingezet om de nauwkeurigheid van het rioleringsmodel op specifieke punten te verbeteren.

### 3.1 Waterbalans

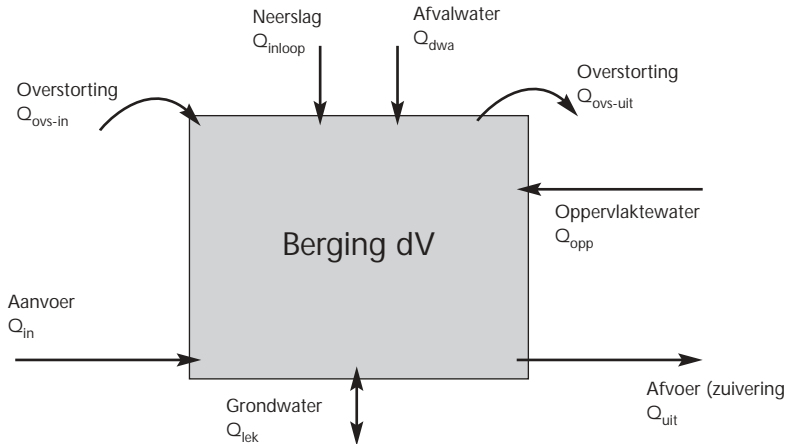
De waterbalans van het systeem wordt gebruikt om de relatie tussen het theoretisch functioneren van een rioolstelsel en de praktijk te analyseren. De waterbalans van een rioolstelsel kan worden opgesteld voor de volgende 3 verschillende belastingssituaties:

- 1 droog weer
- 2 neerslag, geen interne en/of externe overstorting
- 3 neerslag, wel interne en/of externe overstorting

Bij **droogweer** omstandigheden is de waterbalans samengesteld uit de 4 basistermen: belasting met afvalwater van huishoudens en bedrijven [ $Q_{dwa-in}$ ], aanvoer van rioolwater vanuit andere gebieden of bronningen [ $Q_{in}$ ], een mogelijke uitwisseling met grondwater en oppervlaktewater [ $Q_{lek}$ ,  $Q_{opp}$ ] en de afvoer van rioolwater naar elders [ $Q_{uit}$ ], meestal een zuivering.

Bij neerslag omstandigheden gaan de termen inloop van neerslag [ $Q_{inloop}$ ] en de berging in het rioolstelsel [ $dV$ ] daarbij een rol spelen.

Bij een **overstorting** is er sprake van een extra afvoerterm naar het oppervlaktewater [ $Q_{ovs-uit}$ ] of een andere bemalingsgebied en eventueel ook een interne lozing [ $Q_{ovs-in}$ ] vanuit een ander bemalingsgebied of oppervlaktewater.



Figuur 2.1 Waterbalans rioolstelsel

De grootte van de termen wordt enerzijds bepaald op basis van geregistreerde informatie (afvoerend oppervlak, droogweer belasting) en anderzijds op basis van gemeten grootheden (neerslaghoogte, aan- en afvoer van rioolwater, overstortingsvolume). Een schatting van de uitwisseling met grondwater kan mogelijk worden afgeleid uit een jaarregistratie van de droogweer balans. De inloop van neerslag wordt afgeleid aan de registratie van de neerslaghoogte en de grootte van het afvoerend oppervlak.

### 3.2 Werkmethode

Het project is gericht op het controleren van het functioneren van het rioolstelsel aan de hand van resultaten van modelberekeningen en praktijkmetingen. Het doel is om het rioolstelsel in een zo gedetailleerd mogelijk model (C2100) te toetsen aan de werkelijkheid. Voor meten van een stelsel wordt onderscheid gemaakt in 3 fasen:

- controle van de kenmerken van een systeem;
- minimum meetopzet gericht op de controle van het functioneren van de (belangrijkste) randen van een systeem (overstorten, gemalen);
- uitgebreide meetopzet gericht op de controle van alle randen en het (inwendige) functioneren van een systeem op sleutellocaties.

De controle van de kenmerken van een systeem is een belangrijke fase die vooraf gaat aan het opzetten en uitvoeren van een meetplan. Aan de hand van de beoordeling van kentallen, specifieke controles van gegevensbestanden, resultaten van verkennende hydraulische berekeningen, incidentele metingen, waarnemingen en klachten etc. wordt een beeld verkregen van de nauwkeurigheid van de basisgegevens. In de aangegeven werkwijze is uitgegaan van een volledig gedetailleerd model, conform de beschrijving van de Leidraad Riolering, module C2100, een zo goed mogelijke benadering van de werkelijkheid.

### *Systeemgrenzen*

Belangrijke randvoorwaarden van deze toetsing zijn de keuze van de systeemgrenzen en de (eventuele) ontwikkelingen aan het systeem in een gedefinieerde meetperiode. De systeemgrenzen dienen bij voorkeur zo te worden gekozen dat alle relevante (waterbalans) componenten van een systeem nauwkeurig in beeld gebracht (gemeten) kunnen worden. Er dient bijvoorbeeld rekening te worden gehouden met invoeren op een meetgebied vanuit andere gebieden. Ook de ontwikkeling van een systeem in de tijd kan een relevante factor zijn. In het NWRW meetgebied Loenen (Veluwe) is in de meetperiode een aantal woningen in het gebied bijgebouwd, waardoor het afvoerend oppervlak toenam. Indien er wordt getoetst op basis van metingen in een langere periode dan dient de ontwikkeling van het model in de tijd nauwkeurig worden afgestemd.

| 23

### *Stappen*

De werkmethode is opgebouwd uit de volgende 4 stappen, die elk kunnen bijdragen aan een verhoging van de betrouwbaarheid van het rekenmodel:

- 1 Controleren basisgegevens systeem
- 2 Uitvoeren van praktijkmetingen
- 3 Analyseren functioneren systeem
- 4 Kalibreren modelparameters

**Stap 1** (hoofdstuk 4) kan worden opgevat als een bureaustudie, waarbij eventueel aanvullende informatie wordt ingewonnen via een veldbezoek. Deze stap richt zich primair op de controle en verbetering van de nauwkeurigheid van de basisgegevens. Deze stap heeft tevens tot doel om een eerste inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van het rioleringsmodel, zoals bijvoorbeeld het in de praktijk optreden van wateroverlast die niet tot uitdrukking komt in de theoretische berekening. Deze stap is de basis voor een zinvolle uitvoering van eventuele vervolgstappen, zoals toetsen van modelberekeningen en kalibreren van modelparameters.

**Stap 2** (hoofdstuk 5) beschrijft de metingen: de locaties, de meetfrequentie, meetduur e.d. De bijlagen bieden een beknopt overzicht van bruikbare meettechnieken. Dit hoofdstuk beschrijft een meetplan bestaande uit diverse meetopzetten, waaruit gekozen kan worden, afhankelijk van het gewenste meetdoel en nauwkeurigheid. Uitgangspunt in dit onderzoek is het verrichten van kwantitatieve praktijkmetingen. De meest logische meetpunten vormen de neerslag, waterstand, debiet, verpompt volume en overstortingsvolume. De gewenste nauwkeurigheid en dichtheid van praktijkmetingen hangt nauw samen met het meetdoel. Soms kan worden volstaan met een schatting, in andere gevallen zijn nauwkeurige metingen vereist. Deze stap biedt handreikingen om te komen tot de juiste meetopzet. Voor het toepassen van de waterbalans wordt een minimum benodigde meetopzet beschreven.

24 |

**Stap 3** (hoofdstuk 6) beschrijft de wijze waarop praktijkmetingen en de theoretische gegevens worden gecontroleerd aan de hand van de waterbalans. Het doel is om inzicht te krijgen in de mogelijke oorzaak van afwijkingen tussen het theoretisch en feitelijk systeemgedrag en om boven- en ondergrenzen van modelparameters en gegevens in beeld te brengen. Uit deze stap kan bijvoorbeeld volgen dat de droogweerafvoer hoger of lager is dan in theorie wordt verondersteld. De keuze van de meetopzet en randvoorwaarden aan de meetgegevens bepalen in hoeverre bepaalde termen in de balans kunnen worden uitgeschakeld teneinde met meer zekerheid een uitspraak te kunnen doen omtrent eventuele afwijkingen van parameters. Onderscheid wordt gemaakt naar controle van totalen (statische waterbalans) en controle van tijdsafhankelijke processen (dynamische waterbalans). Voor de statische waterbalans is een beperkte meetopzet benodigd. Naarmate meer onzekerheden dienen te worden uitgesloten en/of de waterbalans complexer wordt, worden hogere eisen gesteld aan de nauwkeurigheid en dichtheid van de praktijkmetingen.

**Stap 4** (hoofdstuk 7) beschrijft technieken om specifieke modelparameters van het (inmiddels verbeterde) rioleringsmodel te kunnen ijken aan de praktijksituatie, om eventuele resterende ‘ruis’ uit te filteren om te komen tot meer praktijkgerichte modelparameters. In het minst gunstige geval zal uit de kalibratie blijken dat het modelconcept dient te worden aangepast of herinventarisatie van bepaalde gegevens dient plaats te vinden. In dat geval is er sprake van een cyclisch proces.

Met een rioleringsmodel dat in voldoende mate de werkelijke situatie beschrijft kunnen investeringen/maatregelen met meer zekerheid worden onderbouwd. Echter door tekortkomingen in modelbeschrijvingen, onvoldoende informatie of door bijzondere omstandigheden is het mogelijk dat een rekenmodel onvoldoende aansluit bij de feitelijke situatie en dat model en praktijk daarom niet op elkaar zijn af te stemmen.



## 4 Basisgegevens

Een eerste stap op weg naar een (meer) betrouwbaar rioleringsmodel is het controleren, opsporen en elimineren van fouten in de basisgegevens. Hiertoe staan een aantal technieken ter beschikking zoals handmatige en geautomatiseerde controle, visualisatietechnieken, berekeningen en landmeetkundige werkzaamheden. In dit hoofdstuk wordt stapsgewijs ingegaan op het verzamelen van de gegevens en de diverse controlemethoden.

De actualiteit van de basisgegevens dient te worden getoetst. Om een eerste indicatie van mogelijke afwijkingen te verkrijgen wordt, waar mogelijk, een vuistregel gegeven. Aan de hand van de vuistregels kan worden bepaald of bepaalde parameters al dan niet binnen een verwachtingsinterval liggen.

| 25

### 4.1 Definiëren meetgebied

Het definiëren van het meetgebied is een essentiële stap in het formuleren van een meetproject. In de methode van het controleren van een waterbalans voor een systeem verdient het aanbeveling het meetgebied zo te kiezen dat er heldere randen gedefinieerd kunnen worden. Componenten zoals uitwisseling met grondwater en oppervlaktewater, lozingen via interne overstorten of doorlaten vanuit andere gebieden dienen vermeden te worden.

De factor tijd speelt niet alleen in de meetregistraties een belangrijke rol maar kan ook naar voren komen in de registratie van de basisgegevens. Veranderingen aan het rioolstelsel of de belastingen op het systeem dienen te worden meegenomen in de modellering van het systeem. Een gemaal waar tussentijds een zwaardere pomp wordt ingebouwd dient te worden meegenomen in het rioleringsmodel.

---

#### Vuistregel

Het rioleringsmodel dient de situatie te beschrijven zoals deze is/was tijdens de meetperiode.

---

Dit rapport is geschreven vanuit de invalshoek dat er metingen uitgevoerd gaan worden aan een actueel systeem. Een belangrijk aspect daarvan is dat een aantal essentiële onderdelen van het meetplan nog controleerbaar zijn. Bij het analyseren van historische metingen is de voldoende nauwkeurige kennis van de toenmalige situatie een essentiële beperkende factor om tot sluitende conclusies te komen.

Het nauwgezet registreren van veranderingen in basisgegevens van het meetgebied gedurende de meetperiode is daarom een belangrijk fundament van een meetproject. Ook het aanbrengen van veranderingen in de meetopstellingen en de meetapparatuur dienen te worden vastgelegd.

#### 4.2 Kenmerken rioolstelsel

Het actualiseren van de gegevens vindt meestal plaats op het moment dat het basisrioleringsplan wordt geactualiseerd. Tijdige actualisatie is gewenst teneinde niet voor verrassingen komen te staan, zoals bijvoorbeeld juridische claims als gevolg van opgetreden wateroverlast. Bij het actualiseren van gegevens wordt in het algemeen onderscheid gemaakt in de volgende categorieën:

26 |

- geometrie en structuur;
- in- en uitbreidingen;
- bijzondere constructies.

##### *Geometrie en structuur*

Een rioleringsmodel wordt opgebouwd uit o.a. de volgende gegevens van de structuur en de geometrie:

- x, y, z coördinaten van elke put;
- vorm van de put als functie van de hoogte;
- wijze waarop de putten met elkaar zijn verbonden;
- hoogteligging begin en eind punt van elke leiding;
- buisdiameter/materiaal en het buisprofiel (b.v. rond of eivormig);
- lengte van riolen (voor zover niet uit coördinaten af te leiden);
- functie van een verbinding (pomp, overstort, doorlaat etc.);
- in- en uitslagpeil van elke pomp;
- drempelbreedte en drempelhoogte van elke overstortput;
- diameter en hoogte van doorlaten;
- terugslagvoorzieningen;
- het afvoerend verhard oppervlak.

Bepaalde fouten in de geometrie en structuur van het rioolstelsel kunnen grote gevolgen hebben voor het functioneren van het rioolstelsel in zowel theorie als praktijk. Om fouten in geometrie en structuur op te sporen is een aantal methoden voor handen, die veelal in samenhang met elkaar worden gebruikt. De volgende gangbare methoden worden uitgewerkt:

- analyse van de actualiteit van de gegevens;
- analyse van klachten;
- controle afvoerend verhard oppervlak;
- geautomatiseerde controle gegevensbestanden riolering;
- vervaardiging en controle van kaartmateriaal;
- controle hydraulisch functioneren;
- controle in het veld;
- navraag bij (voormalige) rioolbeheerders en direct betrokken personen.

Voordat eventuele wijzigingen worden doorgevoerd in de basisgegevens is het van belang te achterhalen wat de oorsprong is van de gegevens en van welk jaar deze dateren. Welke hoogten zijn bijvoorbeeld doorgevoerd, betreft het theoretische aanleghoogten, gerealiseerde aanleghoogten of in de tijd gereviseerde hoogten? Is het rekenbestand geschematiseerd of zijn alle inspectieputten in het bestand opgenomen? Afhankelijk van de lokale situatie en steekproefsgewijze controles kan worden overwogen bepaalde onderdelen opnieuw in te meten (herinventarisatie). De opgetreden wijzigingen in geometrie en structuur zijn in hoofdzaak te achterhalen via revisiegegevens, inspectieresultaten, veldwaarnemingen en landmeetkundige werkzaamheden. Wel dient men zich te realiseren dat er veel tijd kan zijn verstreken tussen de aanleg van de riolering en het doorvoeren van de bijbehorende revisiegegevens.

| 27

---

### **Vuistregel**

- De gegevens van het rekenbestand voor het rioleringsmodel dienen bij voorkeur te zijn ontleend aan praktijkwaarnemingen (revisiegegevens).
  - Vooral de gegevens van overstorten (drempel) en doorlaten dienen nauwkeurig te worden ingemeten.
- 

### **In- en uitbreidingen (toekomstige ontwikkelingen)**

Voorziene in- en uitbreidingen (planperiode 5-10 jaar) worden veelal opgenomen in het rekenbestand als injecties, uitleggers of compleet als plan. Ter bepaling en toetsing van de toekomstige situatie is dit noodzakelijk, maar voor de vergelijking van het feitelijk en theoretisch functioneren is dit niet gewenst. Om deze reden wordt geadviseerd onderscheid te maken en te houden in een rekenbestand dat de actuele situatie beschrijft en een rekenbestand dat de toekomstige plansituatie beschrijft.

### **Bijzondere constructies**

De hoogte van de overstortdrempels en capaciteit van de pompen oefenen invloed uit op de nauwkeurigheid van de modelberekening. De bereikbaarheid en toegankelijk-

heid van overstortdrempels leiden in veel gevallen noodgedwongen tot onvoldoende nauwkeurige hoogtemetingen. Aangezien dit wezenlijke objecten zijn in het functioneren van de riolering en analyse van praktijkmetingen, wordt gepleit om voorafgaand aan praktijkonderzoek de overstortdrempels nauwkeurig in te meten en eventueel op hoogte te brengen. Hetzelfde geldt voor de pompcapaciteiten. Vanwege slijtage, wijziging van de leidingweerstand e.d. kan niet worden volstaan met de theoretische pompcapaciteit, maar dient minimaal een pompproef te worden uitgevoerd (zie bijlage 3). Ook de in- en uitslagpeilen dienen te worden geactualiseerd. Een te hoog ingesteld inslagpeil leidt tot een extra volumebeslag in het rioolstelsel en belemmert de vrije uitstroom van het rioolstelsel in de pompput. Daardoor is er een verhoogde kans op slibafzettingen.

Ook bergings-, retentie-, rand- en afkoppelvoorzieningen dienen in het rioleringsmodel te worden opgenomen. Met name de overloop- en uitloopconstructies verdienen bijzondere aandacht.

---

#### **Vuistregel**

- inslagpeil minimaal gelijk of lager dan binnen onderkant aanvoerriool naar de pompput;
  - overstortdrempel zonder terugslagklep ligt minimaal 20 cm boven een maatgevende buitenwaterstand.
- 

### **4.3 Belastingen rioolstelsel**

De droogweer belasting op een rioolstelsel wordt bepaald door de volgende gegevens:

- inwoner- en woningaantallen
- bedrijfs- en industrielozingen

#### *Inwoner- en woningaantallen*

Het aantal op de riolering aangesloten inwoners wordt gehanteerd als een maat voor de grootte en fluctuatie van de droogweerafvoer. De afdeling burgerzaken van de gemeente heeft in zijn algemeenheid deze informatie, alleen niet per bemalingsgebied. Via omrekening per bemalingsgebied of het aantal op de riolering aangesloten woningen wordt de droogweerafvoer bepaald.

---

### **Vuistregel**

- gemiddelde droogweerafvoer bedraagt gemiddeld 120-140 l/inw.dag;
  - maximum droogweerafvoer bedraagt gemiddeld 10-12 l/inw.h;
  - gemiddelde woningbezetting bedraagt ca. 2,5 inw/woning.
- 

#### *Bedrijfs- en industrielozingen*

Bedrijfs- en industrielozingen kunnen een forse bijdrage leveren aan de grootte en fluctuatie van de droogweerafvoer.

Het onderscheid in bestaande en toekomstige bedrijfs- en industrielozingen is ook hier van belang in verband met de vergelijking met de *actuele* situatie. Met name de grote(re) industriële lozingen komen het eerst in aanmerking voor actualisatie. Veel industrieën zijn de afgelopen jaren overgegaan tot het in eigen beheer zuiveren en hergebruiken van afvalwater, waardoor het aanbod op de riolering aanzienlijk kan zijn teruggelopen. Gegevens over het waterverbruik of afkomstig van de vergunning voor grondwateronttrekking zijn nuttig voor het kwantificeren van de lozingen.

| 29

---

### **Vuistregel**

Droogweerafvoer bedrijfs- en industriële lozingen ligt in de orde van grootte van 0,5 tot 1,8 m<sup>3</sup>/h per bruto ha (afhankelijk van de mogelijke hoeveelheid proceswater).

---

#### **4.4 Afvoerend (verhard) oppervlak**

Het afvoerend oppervlak is een essentieel gegeven in de bepaling van de hoeveelheid neerslag waarmee een rioolstelsel wordt belast. Een correcte bepaling van de grootte van het oppervlak en de toedeling van het oppervlak aan een systeem is daarom van groot belang voor de nauwkeurigheid van hydraulische- en vuilemissie- berekeningen. Een nauwkeurige registratie van afvoerend oppervlak vormt ook een belangrijke basis voor het bepalen van de effecten van het afkoppelen van oppervlak.

Dit aspect van de informatieverzameling verdient dan ook veel aandacht. In de praktijk blijkt dat onnauwkeurigheden in het afvoerend oppervlak sterk doorwerken in de rekenresultaten, met name ten aanzien van de werking van overstorten. Om een inschatting te kunnen maken omtrent de bruikbaarheid van de gegevens dienen ten minste de volgende vragen te worden beantwoord:

- Welk basismateriaal ligt ten grondslag aan de gegevens over het afvoerend verhard oppervlak?

- Via welke methode is het verhard oppervlak berekend en toegeedeeld aan de putten/strengen?
- Welke oppervlakken zijn geïnventariseerd?

#### *Basismateriaal*

Er bestaan verschillende informatiebronnen die kunnen worden gebruikt ter bepaling van het afvoerend verhard oppervlak. In de praktijk wordt veelal gewerkt met combinaties van informatiebronnen. Voor de bepaling van het verhard oppervlak is het van belang dat wordt nagegaan welke informatiebronnen zijn gehanteerd. De volgende uitgangssituaties met betrekking tot het basismateriaal worden onderscheiden:

- analoge kadastrale tekeningen of plattegronden;
- luchtfoto's;
- digitale ondergronden;
- digitaal beheersysteem voor infrastructuur en bebouwing;
- kentallen;
- gedetailleerde veldopnames.

30 |

Op grond van kadastrale tekeningen alléén kan nauwelijks een goede bepaling van de omvang van het afvoerend verhard oppervlak plaatsvinden. In een dergelijk geval is een aanvulling met hetzij actuele luchtfoto's hetzij met een veldverkenning dan ook noodzakelijk.

Op basis van actuele luchtfoto's kan het type van het verhard oppervlak tot op zekere hoogte uitstekend worden bepaald, echter een exacte bepaling van de omvang is zonder digitale hulpmiddelen minder eenvoudig. Het is lastig alle verschillende typen verharding vanaf foto te kunnen onderscheiden, het onderscheid tussen platte en hellende daken en verhard versus onverhard is daarentegen goed te maken. Het onderscheid naar type wegverharding is minder goed mogelijk.

Verhard oppervlak dat (met behulp van GIS-technieken) op geautomatiseerde wijze is bepaald vanaf een digitale ondergrond (met gesloten vlakobjecten) heeft een hoge mate van betrouwbaarheid. De mate waarin de digitale ondergrond de werkelijke situatie beschrijft is hierin bepalend. Van belang is om te weten of particulier afvoerend verhard terrein (tuinverharding, schuurtjes e.d.) in de ondergrond is verwerkt. Voor verhard oppervlak, dat is ontleend aan een digitaal beheersysteem voor infrastructuur en bebouwing, geldt dezelfde mate van nauwkeurigheid. Wel bestaat hier het voordeel dat, bij een goed beheer, mutaties reeds zijn doorgevoerd.

Verhard oppervlak dat is ontleend aan kentallen is onbetrouwbaar. In een dergelijk geval is herinventarisatie gewenst.

Indien verhard oppervlak is ontleend aan gedetailleerde veldopnamen, dan is het goed te bedenken dat dit een zeer arbeidsintensief werk is geweest. Indien er nauwelijks wijzigingen zijn opgetreden vanaf het moment van bepaling, dan kan dit een goede basis zijn. Het uitvoeren van gedetailleerde veldopnamen wordt vooral gebruikt ter ondersteuning van andere methoden om onduidelijkheden op te heffen.

Hoewel er nog weinig ervaring bestaat met de werkelijk haalbare nauwkeurigheden met de verschillende technieken kunnen samenvattend de volgende indicatieve nauwkeurigheden in acht worden genomen (bron: Leidraad Riolering, C2100):

Basis materiaal	Indicatie nauwkeurigheid	Reproduceerbaarheid
gedetailleerde veldopname	++++	-
analoge tekening	++	-
luchtfoto's	+	-
digitale ondergronden	+++	++
kentallen	-	-

| 31

Ongeacht de methode geldt dat het resultaat reproduceerbaar dient te zijn. Bij aanpassingen en correctie van fouten aan het systeem dienen oppervlakken vaak opnieuw te worden toegeedeeld. De voorkeur gaat uit naar een digitale ondergrond met aanvullende lagen met gegevens uit veldopnames en correcties. De reproduceerbaarheid is bij het gebruik van digitale ondergronden het eenvoudigst, naar deze methode gaat dan ook de voorkeur uit.

De genoemde nauwkeurigheden zijn indicatief. In de praktijk kunnen afwijkingen in sommige gevallen duidelijk hoger uitvallen. Bij alle gebruikte technieken (met uitzondering van de gedetailleerde veldopname) blijft er onzekerheid bestaan over het al dan niet aangesloten zijn van verschillende oppervlakken. In de praktijk blijkt dat voor bepaalde wijktypen het al dan niet opnemen van -op en afritten naar percelen tot circa 10% afwijking kan veroorzaken. Het is dus van het grootste belang om voor de inventarisatie na te gaan of gegevens over het al dan niet aangesloten zijn van deze oppervlakken beschikbaar zijn.

#### *Berekeningsmethoden en toedeling*

De mate van detail waarin het verhard oppervlak is berekend en toegekend is noodgedwongen beperkt. Het is immers praktisch onmogelijk om van elk dak na te gaan of het aan de voorzijde of aan de achterzijde van het betreffende perceel loost. Iets soort-

gelijks geldt ook voor opritten e.d. Het gebruik van een net van Thiessen polygonen (waarbij elke vierkante meter wordt toegekend aan de dichtstbijzijnde put of streng) is voor rioleringsdoeleinden vaak voldoende nauwkeurig. Wel is het van belang om na te gaan of het noodzakelijk is om waterscheidingen aan te brengen en/of handmatige toewijzingen te verrichten (bijvoorbeeld bij doorsnijdingen als gevolg van sporen, vaarwegen e.d.).

Het toekennen van het gemiddeld verhard oppervlak per put of streng wordt omwille van de gewenste nauwkeurigheid afgeraden.

#### *Verhardingstypen*

Er wordt onderscheid gemaakt in drie mogelijkheden om het afvoerend verhard oppervlak te schematiseren. Het onderscheid berust op de mate van nauwkeurigheid:

- onderscheid in twaalf typen aangesloten verhard oppervlak;
- alleen verhard oppervlak;
- eenvoudige kengetallen.

In een bestaande situatie is het gebruik van eenvoudige kengetallen (mogelijkheid 3) niet toegestaan waardoor een herinventarisatie noodzakelijk is. Mogelijkheid 2 is vaak van oudsher toegepast, in hoeverre nog kan worden volstaan met deze mogelijkheid is afhankelijk van de noodzaak tot actualisatie (aantal knelpunten/klachten) en de beschikbaarheid van beheersystemen om de kostbare informatie actueel te houden. Extra aandacht is vereist voor de registratie van niet aangesloten of afgekoppeld verhard oppervlak. Dit vereist een nauwkeurige boekhouding en controle in het veld.

Als eerste indicatie voor mogelijke afwijkingen in het afvoerend verhard oppervlak kan van de waarden in de volgende tabel worden uitgegaan (bron: Leidraad Riolering, module C2100):

inrichting	verhardingspercentage
open bebouwing (nieuwbouwwijken)	ca. 40 - 50%
dichte bebouwing (inbreidingen, centra)	ca. 60 - 100%
industrieterreinen	ca. 80%

Verwacht mag worden dat in de toekomst via vastgoedregistratie en geografische informatiesystemen steeds een actueel beeld van de afvoerende oppervlakken kan worden geleverd. Hierbij is het van belang per oppervlak het lozingspunt te registreren.



## 4.5 Gegevensbestanden rioolstelsel

Via een geautomatiseerde controle van de rioleringsgegevens wordt een eerste selectie gemaakt van mogelijke fouten. Een aantal van deze fouten en/of ontbrekende gegevens zal via kaartmateriaal en/of controle in het veld nader moeten worden onderzocht. Duidelijke invoerfouten kunnen direct worden hersteld. Meer helderheid over onduidelijkheden of complexe constructies kan wellicht worden verkregen via het raadplegen van (voormalige) rioolbeheerders.

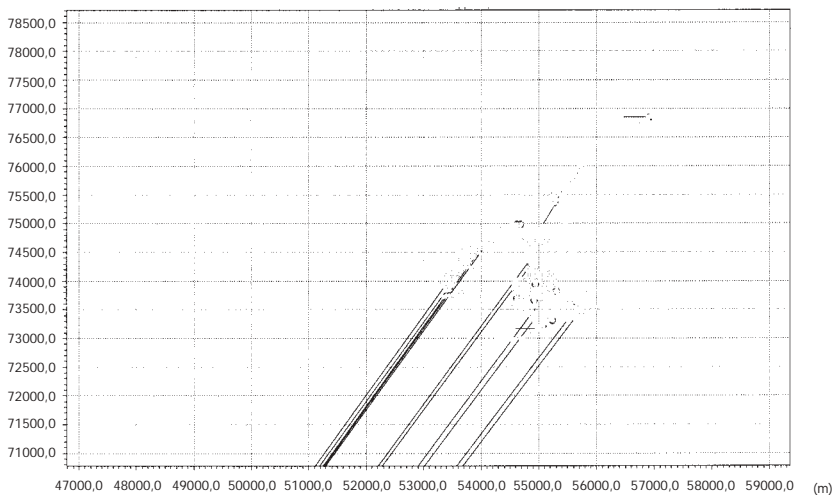
Voor het geautomatiseerd opsporen van mogelijke fouten is geen standaardsoftware voorhanden, de verschillende beheer- en rekenpakketten hebben meestal hun eigen (beperkte) controleroutines. Bij voorkeur dient de geautomatiseerde controle plaats te vinden in het beheerpakket van waaruit het rekenbestand wordt vervaardigd. Dit voorkomt dat 'reparaties' op twee plaatsen moeten worden doorgevoerd.

Een (niet uitputtend) overzicht van te automatiseren controleslagen wordt in het navolgende opgesomd.

| 33

### Controle putgegevens

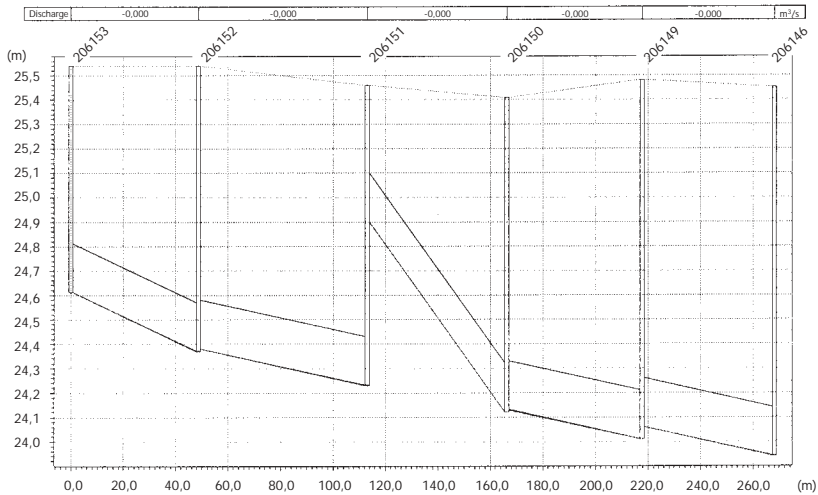
- dubbel putnummer;
- putdekselhoogte ontbreekt of ligt buiten verwachtingsinterval;
- putdiameter/putvorm ontbreekt of ligt buiten verwachtingsinterval;
- putdiameter niet in overeenstemming met buisdiameters aangesloten riolen;
- putbodem hoger dan hoogte aangesloten streng(en);
- x,y coördinaat ontbreekt of ligt buiten verwachtingsinterval (figuur 1);
- put heeft geen aangesloten strengen.



Figuur 1: Putcoördinaten buiten verwachtingsinterval.

### Controle strenggegevens

- putnummer komt niet voor bij putgegevens;
- buisdiameter ontbreekt of ligt buiten verwachtingsinterval;
- buisvorm ontbreekt of ligt buiten verwachtingsinterval;
- b.o.b. ontbreekt of ligt buiten verwachtingsinterval;
- streghelling  $< 0,01\%$  of  $> 1\%$  (figuur 2);
- strenglengte correspondeert niet met berekende strenglengte (coördinaten);
- (onbedoelde) knijpriolen zijn moeilijk te controleren, de mogelijkheid bestaat te controleren of de buisdiameter meer dan bijvoorbeeld 50% afwijkt van de boven- en benedenstreams op de put aangesloten strengen.



Figuur 2: Streghelling buiten verwachtingsinterval.

### Controle bijzondere constructies

- inslagpeil van de pomp ligt boven de b.o.b. van het aanvoerriool;
- uitslagpeil van de pomp ligt beneden de putbodem;
- ruimte tussen overstortdrempel en putdekselhoogte  $< 20$  cm;
- drempelbreedte  $>$  putdiameter.

### 4.6 Kaartmateriaal

Overzichtelijk kaartmateriaal is onontbeerlijk bij het opsporen van fouten. Door bij de vervaardiging van kaartmateriaal rekening te houden met visuele opsporingsmethoden kunnen snel en efficiënt fouten worden opgespoord. De volgende (niet uitputtende) lijst van visuele hulpmiddelen draagt positief bij aan een foutencontrole:

- (kleur)arcering van de stengen t.b.v. opsporen afwijkende/ontbrekende buisdiameters;
- aangeven van de vrijval stromingsrichting d.m.v. pijltjes;
- via symbolen aangeven locaties van de bijzondere constructies;
- rioolstructuur op topografische ondergrond t.b.v. opsporen afwijkende tracés, onjuiste coördinaten;
- (kleur)arcering van toegekend verhard oppervlak en soort verharding (figuur 3).



Figuur 3: Grafische weergave verdeling verhard oppervlak.

#### 4.7 Hydraulisch functioneren

Het uitvoeren van hydraulische controleberekeningen is nuttig om onvolkomenheden in het rekenbestand of in de praktijk aan het licht te brengen. Onderscheid kan worden gemaakt naar de droogweersituatie en regenweersituatie.

##### *Droogweersituatie*

Door de verloren berging van het rioolsysteem te berekenen wordt inzichtelijk gemaakt op welke locaties mogelijk verkeerde aansluithoogten, buishellingen of ontbrekende strengen aanwezig zijn.

Het principe van een verloren bergingsberekening is als volgt: indien het afvalwater niet onder vrij verval kan afstromen vult de streng zich tot een niveau waarboven dit wel onder vrij verval mogelijk is (figuur 4). De locaties waar het geborgen water niet onder vrij verval tot afstroming komt zijn derhalve punten voor een controle. Het is belangrijk om na te gaan of de afstroming wordt belemmerd door de werkelijke hoogteligging van het stelsel of dat de hoogtegegevens in de modelberekening onjuist zijn.

36 |

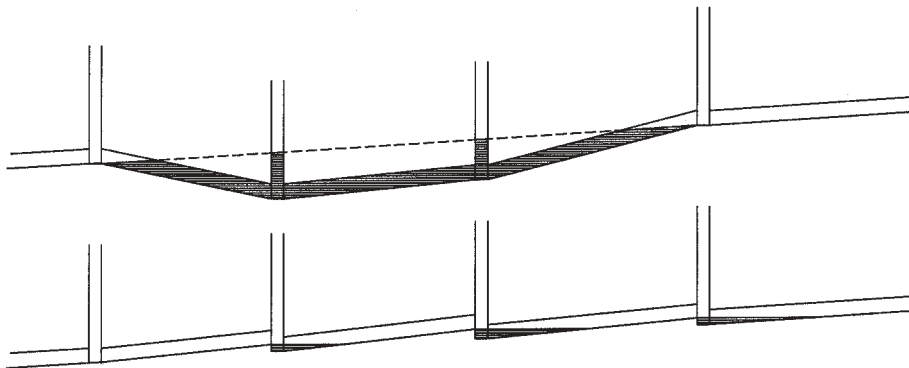
---

##### **Opmerking**

Punten die uit een modelsituatie naar voren komen met een afwijkend gedrag komen in aanmerking voor een controle in het veld. Van de andere kant blijven er in het werkelijke systeem nog veel punten over waar (essentiële) afwijkingen met de basisgegevens onzichtbaar kunnen blijven.

---

Indien geen specifieke software voorhanden is om de verloren berging uit te rekenen kan ook gebruik worden gemaakt van een hydraulische berekening. Voer een model-simulatie uit met een bui die tot een overstorting leidt (droogweerafvoer uitschakelen) en laat het stelsel leegpompen. Nadat het stelsel is leeggepompt resteert het water dat niet onder vrij verval tot afstroming komt.



Figuur 4: Verloren berging.

#### *Regenweersituatie*

Er wordt ingegaan op het doorrekenen van standaardbuizen en een meerjarige tijdreeks.

Door het resultaat van beide berekeningen te projecteren op de praktijksituatie (klachten omtrent water op straat/wateroverlast, werkende overstorten e.d.) wordt zichtbaar in hoeverre het rioleringsmodel de feitelijke situatie benadert.

Door de standaardbuizen (C2100) door te rekenen wordt naast hydraulische knelpunten (bui 5 t/m 8) ook inzicht verkregen in potentiële risicolocaties (bui 09 en 10).

Projectie van waarnemingen en klachten op de gesimuleerde water op straat situatie maakt inzichtelijk in hoeverre het theoretisch hydraulisch functioneren afwijkt van de praktijksituatie.

Indien meetgegevens voorhanden zijn van extreme neerslagsituaties en waarnemingen met betrekking tot opgetreden wateroverlast dan levert dit in combinatie met een computersimulatie waardevolle informatie omtrent de betrouwbaarheid van het rioleringsmodel.

Ook het doorrekenen van een (samengestelde) meerjarige tijdreeks is een zinvolle activiteit. Een dergelijke berekening geeft o.a. inzicht in mogelijke verschillen in de overstortingsfrequentie en de frequentie van optreden van water op straat.

In het geval er afwijkingen tussen de theorie en de praktijk worden geconstateerd dan blijft de vraag of dit het gevolg is van (onjuist) geïnventariseerd afvoerend verhard oppervlak en/of het model dat de werkelijkheid onvoldoende beschrijft (bijvoorbeeld

de aanwezigheid van een niet bekend zijnde overstortput). Met name lokale verschillen vormen aanleiding tot nader (veld)onderzoek. Zijn de verschillen meer globaal van aard (b.v. er wordt water op straat berekend en in praktijk is er geen wateroverlast of andersom) dan is het meer plausibel te veronderstellen dat de grootte van het afvoerende verhard oppervlak onjuist is.

#### **4.8 Knelpunten/klachten**

Knelpunten en klachten kunnen een serieuze aanleiding zijn om de betrouwbaarheid van het rioleringsmodel (locatiespecifiek) te verhogen. Hierbij valt te denken aan klachten over wateroverlast als gevolg van lokale depressies in het maaiveld, die niet in het model zijn opgenomen, wateroverlast optredend na reconstructies van wegen of pleinen, klachten die duiden op langdurige stilstand van afvalwater (verstoppingen), klachten over frequent werkende overstorten, knelpunten in de waterkwaliteit etc.

38 |

Verhoging van de betrouwbaarheid van het rioleringsmodel is met name wenselijk voor locaties waar overstorten de waterkwaliteit aantoonbaar negatief beïnvloeden, locaties met wateroverlast en voor locaties waar sprake is van klachten zoals geurhinder, opdrijvende putdeksels, borrelende toiletten etc.

De mate waarin klachten serieus dienen te worden genomen is mede afhankelijk van de frequentie en plaats in de tijd. Als gevolg van tijdelijke of reeds uitgevoerde maatregelen kunnen bepaalde klachten reeds zijn afgehandeld of tijdelijk van aard zijn. Rioolbeheerders zullen in de toekomst sneller aansprakelijk worden gesteld, klachten dienen daarom altijd serieus te worden genomen en dienen vooral de juiste plek binnen de organisatie te bereiken. Het structureel registreren en afhandelen van klachten wordt daarom steeds belangrijker.

#### **4.9 Veldonderzoek**

Ontbrekende of twijfelachtige informatie dient in het veld te worden gecontroleerd. Dit is mogelijk door het uitvoeren van een eenmalige inventarisatie van mogelijke fouten die uit de geautomatiseerde controle zijn voortgekomen of door parallel aan rioolinspecties de geometrische gegevens te controleren. Het nadeel van laatstgenoemde methode is dat de informatie fasegewijs vrijkomt en pas op de langere termijn een juist beeld ontstaat. Bovendien levert dit problemen op bij zettingsgevoelige stelsels (tijdsafhankelijke gegevens). Vraag aan inspectiebedrijven expliciet aandacht voor het vastleggen en terugmelden van afwijkingen van de feitelijke riolerings situatie ten opzichte van de bestaande beheertekening, met name in geval van onbedoelde/ onbekende nooduitlaten/overstorten en afwijkingen in de structuur van het stelsel. Aangezien de hoogten van overstortdrempels (met name in vlak gebied) van grote invloed zijn op de betrouwbaarheid van de rekenresultaten dienen deze, bij de minste

twijfel, opnieuw te worden gecontroleerd door inmeting (bijvoorbeeld ten opzichte van het putdekselniveau). In zettingsgevoelige gebieden dienen de drempelhoogten met een frequentie van eenmaal per 5-10 jaar te worden ingemeten ten opzichte van NAP. Leg tijdens een dergelijke controle ook de vorm van de overstortdrempel vast en de eventuele aanwezigheid en buisdiameter van een overstortleiding met een schatting van de afstand tot het oppervlaktewater. Neem ook de hoogte van de buitenwaterstand op ten opzichte van de drempelhoogte ter controle op de maatgevende buitenwaterstand.

#### **4.10 Historische informatie**

In het verleden bedachte creatieve constructies of technische oplossingen zijn, als uiteindelijk product, soms moeilijk te begrijpen voor nieuwe medewerkers. In dat geval biedt het raadplegen van bewaarde notities/tekeningen/schetsen wellicht uitkomst of kan informatie worden ingewonnen bij de voormalige rioolbeheerder of direct betrokkenen. Het wordt afgeraden om eventuele onduidelijkheden omwille van de tijd of gebrek aan kennis maar aan te passen aan hetgeen men goeddunkt.

## 5 Meetplan rioolstelsel

Het onderzoeken van het feitelijk systeemgedrag vindt plaats aan de hand van (praktijk)metingen (neerslag, waterpeilen, debieten) en de analyse van de hieruit verkregen gegevens. Het doel van deze metingen is gegevens te verzamelen om het inzicht in het functioneren van de riolering te verhogen en het verzamelen van informatie voor een eventueel benodigde kalibratie van de modelparameters. Bij het opzetten van een meetplan staan de volgende vragen centraal:

- Hoe wordt het meetgebied gedefinieerd?
- Welke parameters moeten worden gemeten?
- Hoeveel en welke meetlocaties zijn minimaal noodzakelijk?
- Welke meetfrequentie en –nauwkeurigheid zijn minimaal noodzakelijk?

40 |

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke meetopzet minimaal benodigd is en waarom om inzicht te krijgen in mogelijke afwijkingen tussen de theorie (rekenmode) en de praktijk. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de wijze waarop een relatie kan worden gelegd tussen het theoretisch functioneren van een rioolstelsel en de metingen in de praktijk.

Het meetplan start met een minimum meetopzet gericht op de controle van het functioneren van de (belangrijkste) randen van het systeem (overstorten, gemalen) met een groeipad naar een meer uitgebreide meetopzet gericht op de controle van alle randen en het (inwendige) functioneren van het systeem op sleutellocaties.

De minimum meetopzet is min of meer afgebakend en levert informatie voor het opstellen van een waterbalans. Met behulp van deze waterbalans (paragraaf 3.1) kan stapsgewijs, onder bepaalde randvoorwaarden, de DWA-productie en de aan- en afvoer worden gecontroleerd. Voor elke meetopzet, behorend bij een type waterbalans (DWA, RWA of RWA<sup>+</sup>) wordt ingegaan op de minimum meetopzet, de gewenste minimum meetperiode en meettechnieken.

Aanpassing/uitbreiding van de minimum meetopzet levert informatie op voor het kunnen controleren en analyseren van specifieke onderdelen of functionaliteiten van het rioolstelsel. Deze meetopzet bevindt zich als het ware op een glijdende schaal, waarbij de gewenste meetnauwkeurigheid en meetdichtheid toeneemt al naar gelang de behoefte aan informatie (van de gebruiker). Met behulp van de meer uitgebreide meetopzet kan meer inzicht worden verkregen in:



- verloop en volumebeslag van de droogweerafvoer;
- berging en opstuwing in het rioolstelsel;
- hydraulische afvoercapaciteit;
- afvoer van bijzondere constructies.

Onderdeel van het meetplan vormt ook het omgaan met meetgegevens. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de wijze waarop de meetgegevens dienen te worden vastgelegd teneinde zo min mogelijk informatie te verliezen. In de CIW-rapportages ‘Nadere uitwerking monitoring riooloverstorten’ wordt uitgebreid ingegaan op het gegevensbeheer en benodigde middelen, onderdelen die in dit hoofdstuk niet aan bod komen. In de CIW-rapportage worden richtlijnen en adviezen voor het stroomlijnen van de gegevensstromen en verwerking van ruwe meetgegevens tot bruikbare informatie gegeven. Zo is er bijvoorbeeld een eenduidig uitwisselingsformat gedefinieerd voor sensormetingen en is gedefinieerd op welke wijze bestanden en bestandsnamen kunnen worden opgebouwd voor een efficiënte verwerking. Ook wordt ingegaan op het samenstellen en bijhouden van een logboek. Voor wat betreft de middelen worden globale kostprijzen en indicatieve tijdsbestedingen genoemd voor o.a. voorbereidende activiteiten, leveren en installeren van meetapparatuur, uitlezen en onderhouden van meetapparatuur, verwerken en analyseren van de meetgegevens, rapportage en projectmanagement.

| 41

### 5.1 Uitgangspunten

Dit rapport is geschreven vanuit de invalshoek dat er metingen uitgevoerd gaan worden aan een actueel systeem. In het meetplan dient te worden verankerd dat eventuele wijzigingen die worden doorgevoerd gedurende de meetperiode worden gelogd zodat hier bij de interpretatie van de meetgegevens rekening mee kan worden gehouden.

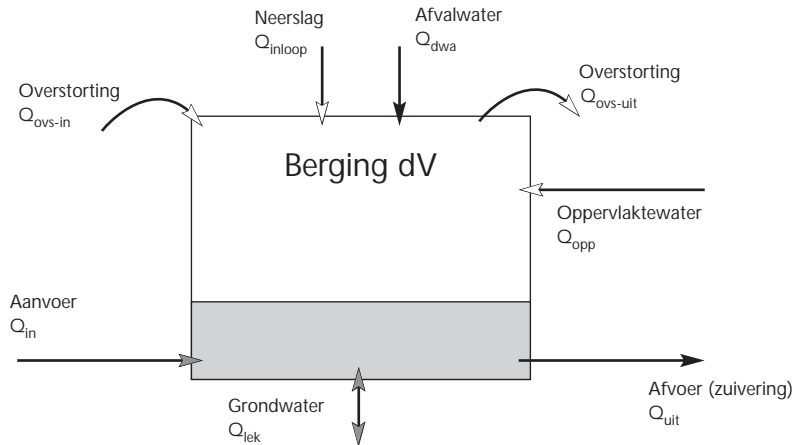
Verder wordt bij de minimum meetopzet uitgegaan van een systeem wat voldoet aan de volgende randvoorwaarden:

- gemengd rioolstelsel
- bij voorkeur 1 overstort
- geen injecties
- geen invloed grondwaterstanden
- geen invloed oppervlaktewaterstanden.

Bij de beschrijving van de minimum meetopzet wordt telkens aangegeven hoe kan worden omgegaan met een eventuele aanvoer vanuit andere gebieden en een eventuele interactie tussen het rioolstelsel en het grond- of oppervlaktewater.

## 5.2 Droogweer (DWA)

Bij droogweer omstandigheden is de waterbalans samengesteld uit minimaal 2 en maximaal 4 basistermen (de donkergekleurde pijlen in figuur 5):



Figuur 5: Waterbalans droogweer (DWA).

$Q_{dwa}$  productie (aanvoer) van afvalwater van huishoudens en bedrijven

$Q_{uit}$  afvoer van rioolwater naar een zuivering of ander gebied

$Q_{in}$  (injectie) van afvalwater vanuit andere gebieden en/of bronneringswater

$Q_{lek}$  een mogelijke uitwisseling met grondwater

In de meest eenvoudige denkbare situatie zijn de termen  $Q_{inj}$  en  $Q_{lek}$  gelijk aan nul en moet gelden  $Q_{dwa} = Q_{uit}$ . Omdat het praktisch niet haalbaar is om de droogweeraanvoer expliciet te meten dient de droogweerafvoer te worden gemeten. Uit het verschil tussen  $Q_{dwa}$  (theorie) en  $Q_{uit}$  (praktijk) kan de werkelijke aanvoer van rioolwater en/of de uitwisseling met het grondwater worden afgeleid.

### Meetopzet (minimum)

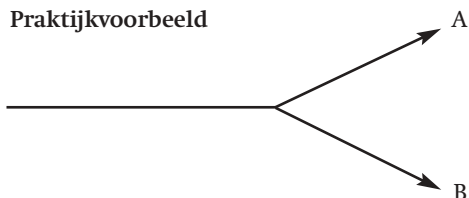
De minimum benodigde meetopzet bestaat uit een meting van neerslag en meting van de afvoer tijdens droogweersituaties. Voor het meten van de neerslag kan worden volstaan met een eenvoudige neerslagmeter voor dagsommen, die is geplaatst op een locatie binnen het onderzoeksgebied. De afvoer dient te worden gemeten ter plaatse van het eindgemaal of vrij-verval lozingspunt.

De afstroomstructuur van een gemengd rioelstelsel onder droogweersomstandigheden zal in veel systemen de vorm hebben van een boomstructuur. Een duidelijke boom-

structuur biedt de mogelijkheid om op sleutelposities in de stam of de takken de gemeten aanvoer van het bovenstroomse deel te reproduceren. Hiertoe dient een afvoerberekening te worden gemaakt, uitgaande van de afgeleide DWA-belasting. Het reproduceren van de DWA-stroom in een systeem kan relevante informatie opleveren over de modellering van de structuur (ontbrekende verbindingen) en de geometrie (hoogteligging) van het systeem.

---

### Praktijkvoorbeeld



*Volgens een theoretische berekening bedraagt de DWA in streng A 50 m<sup>3</sup>/h en in streng B eveneens 50 m<sup>3</sup>/h. Beide strengen hebben ongeveer hetzelfde theoretische afschot, maar uit praktijkwaarnemingen (handmatige meting waterstand) blijkt het waterpeil tijdens droogweer in streng A aanzienlijk hoger te zijn dan in streng B. Onder de aanname van eenparige stroming wijst omrekening van de waterstanden uit dat de verhouding A:B overeenkomt met 10:1 in plaats van 1:1. Nadere inspectie wijst uit dat de afvoer in streng B ernstig wordt belemmerd door de ingroei van boomwortels.*

---

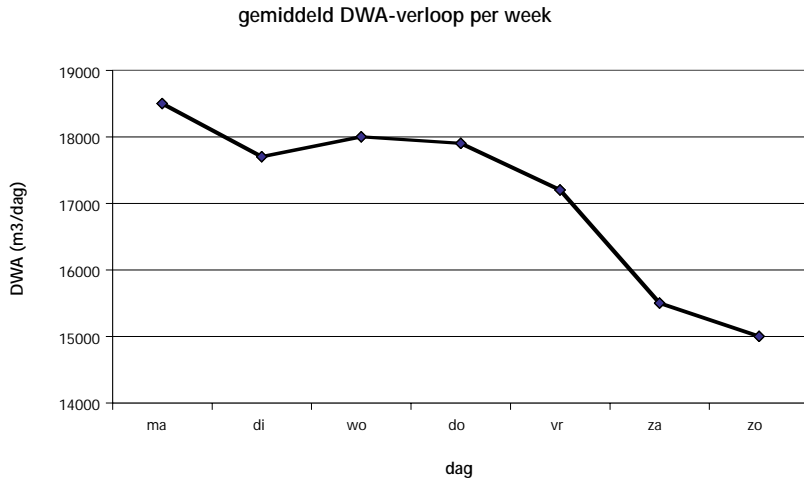
Het volumebeslag is een belangrijk te controleren aandachtspunt voor in hoofdzaak gescheiden gerioleerde gemeenten die sterk uitbreiden/zijn uitgebreid met (verbeterd) gescheiden riolering. Door het toenemende aanbod van afvalwater op het bestaande vuilwaterstelsel ontstaat steeds minder ruimte voor het opvangen van pieken. Door op strategische punten de waterstand (handmatig) te meten kan worden beoordeeld in hoeverre er sprake is van een afwijkend volumebeslag.

#### *Meetperiode*

De gemiddelde droogweerafvoer is te bepalen via de afgevoerde (verpompte) dagvolumen voor dagen waarop geen neerslag is gevallen. Voorwaarde hierbij is dat deze dagen zijn voorafgegaan door een droogweelperiode van ten minste 24 uur (afhankelijk van de ledigingstijd).

Een meetperiode van 2-3 maanden is voldoende om een droogweerafvoer van het onderzoeksgebied te meten. Indien er sprake is van uitwisseling met grondwater of seizoenseffecten dan verdient een meetperiode van 1 jaar de voorkeur.

Figuur 6 toont een praktijkvoorbeeld van de gemiddelde droogweerafvoer per dag, gebaseerd op een meetreeks van 1 jaar. Uit de figuur is duidelijk de spreiding in de DWA af te lezen. Het hanteren van een volledig uitgemiddelde DWA leidt in het geval van spreiding in DWA tot een onder- of overschatting van de overige balanstermen. Het verdisconteren van de gemeten spreiding in DWA geniet daarom sterk de voorkeur boven het hanteren van de gemiddelde gemeten DWA.



Figuur 6: Gemiddeld DWA-verloop per week.

### Meettechnieken

Voor het meten van de droogweerafvoer zijn de volgende meetmethoden beschikbaar:

- 1 debiet in de uitgaande persleiding
- 2 waterstandsverloop in de pompput
- 3 draaiuren
- 4 debiet in vrij-verval aanvoerleiding
- 5 waterstanden op 2 punten in vrij-verval aanvoerleiding.

De debietmeting in de uitgaande persleiding (1) geniet vanwege de hoge nauwkeurigheid sterk de voorkeur. Een dergelijke meting vergt aanzienlijk minder bewerking van de meetgegevens wat de relatief hoge oprichtingskosten compenseert. Het baseren van de droogweerafvoer op het waterstandsverloop in de pompput (2) is bewerkelijk en onderhevig aan specifieke randvoorwaarden. Draaiurenregistratie (3) is vanwege de hoge schakelfrequentie onvoldoende nauwkeurig ter bepaling van de DWA.

Meettechnieken ter bepaling van debieten in deels gevulde leidingen zijn volop in ontwikkeling. Een debietmeting in de vrij-verval aanvoerleiding is met name gevoelig

voor vervuiling van de sensor(en). De specifieke lokale condities zijn bepalend zijn voor het al dan niet kunnen toepassen van een meettechniek. Specifieke kennis en ervaring zijn vereist ter beoordeling van de haalbaarheid en betrouwbaarheid van een dergelijke meting.

In de bijlagen zijn de voor- en nadelen van de verschillende meettechnieken nader gespecificeerd.

#### *Aanvoer vanuit andere gebieden (uitbreiding meetopzet)*

De droogweeraanvoer van onderbemalingsgebieden dient bij voorkeur te worden gemeten. Indien de hiertoe benodigde inspanning niet in verhouding staat tot het gewenste meetdoel dan heeft het de voorkeur de het gebied waarvan de waterbalans wordt opgesteld te verruimen met de aangesloten onderbemalingsgebieden. Dit betekent dat de waterbalans wordt opgesteld voor de hoofd- plus onderbemalingsgebieden. Hierbij kan de aanvoer uit andere gebieden, afhankelijk van de grootte van de bijdrage in de belasting op het systeem, meer of minder nauwkeurig worden meegenomen.

Indien er aanleiding bestaat om ook de aanvoer van rioolwater vanuit andere gebieden te meten dan geldt dezelfde meetopzet voor het onderbemalingsgebied als voor het hoofdgebied.

#### *Uitwisseling met grondwater (uitbreiding meetopzet)*

De mogelijke uitwisseling met grondwater is niet expliciet via praktijkmetingen vast te stellen. Via een analyse van de waterbalans kan een gerichte poging worden gedaan om het inlopen van grondwater en/of het lekken van rioolwater naar de bodem te kwantificeren (zie paragraaf 6.1).

In situaties waar uitwisseling met grondwater een belangrijke bijdrage levert aan de belasting van een systeem dient een meetnet uitgebreid te worden met het meten van maatgevende grondwaterstanden. Een continue registratie van peilbuizen is vaak niet noodzakelijk. Het meten van een jaarverloop over de verschillende seizoenen en een gevoeligheid voor extreme neerslagbelastingen biedt de mogelijkheid om een relatie te leggen met de belasting van grondwater op het rioolstelsel. De verkregen Q-h relatie kan worden ingebouwd in het rioleringsmodel.

---

#### **Tip**

Via het meetnet van TNO kan informatie worden verkregen omtrent het verloop van de grondwaterstand in het meest nabijgelegen punt.

---

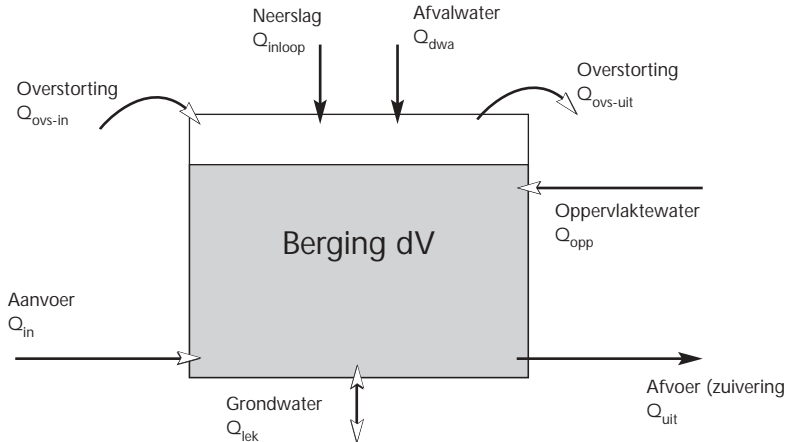
### *Uitwisseling met oppervlaktewater (uitbreiding meetopzet)*

Er zijn situaties waar doorvoer van oppervlaktewater plaatsvindt via het gemengde rioelstelsel. Evenals bij grondwater kan via een analyse van de waterbalans een gerichte poging worden gedaan om het inlopen van oppervlaktewater te kwantificeren (zie paragraaf 6.1). Een veldbezoek in combinatie met het opentrekken van putten op verdachte locaties biedt in dergelijke situaties veelal uitkomst.

### 5.3 Neerslag, geen overstorting (RWA)

Bij neerslag omstandigheden gaan naast de droogweerafvoer de termen inloop van neerslag en de berging in het rioelstelsel een rol spelen. Bij neerslagomstandigheden die niet tot een overstorting leiden is de waterbalans derhalve samengesteld uit minimaal 3 en maximaal 7 basistermen:

46 |



Figuur 7: Waterbalans regenweer (RWA).

- $Q_{inloop}$  belasting met instromend hemelwater
- $Q_{dwa}$  belasting met afvalwater van huishoudens en bedrijven
- $Q_{uit}$  afvoer van rioolwater naar een zuivering of ander gebied
- $dV$  berging van afvalwater
- $Q_{in}$  aanvoer van rioolwater vanuit andere gebieden en/of bronneringswater
- $Q_{lek}$  een mogelijke uitwisseling met grondwater
- $Q_{opp}$  een mogelijke uitwisseling met oppervlaktewater

Omdat het praktisch niet haalbaar is om de regenweeraanvoer expliciet te meten dient de regenweerafvoer en het geborgen volume aan afvalwater te worden gemeten. De minimum benodigde meetopzet bestaat uit het meten van de afvoer tijdens regen-

weersituaties, de neerslag en waterstand(en). Het verschil tussen  $Q_{\text{inloop}}$  (theorie: aanname inlooppparameters) en  $Q_{\text{dwa}} + Q_{\text{uit}}$  (praktijk) geeft inzicht in de mogelijke afwijking tussen de veronderstelde inloop van neerslag en de feitelijke inloop van neerslag en eventueel oppervlaktewater.

#### *Meetopzet (minimum)*

De meetopzet die benodigd is om eenduidig af te kunnen leiden hoeveel neerslag daadwerkelijk in het riool is ingestroomd komt in principe overeen met een meting van alle in- en uitgaande stromen. De hoeveelheid uitgetreden afvalwater minus de hoeveelheid ingestroomd water, zijnde geen hemelwater, is gelijk aan de ingelopen neerslag. In geval van kans op in-/uittreden van grondwater, kans op intreden van oppervlaktewater, de aanwezigheid van injecties van onderbemalingsgebieden e.d. en rekening houdend met de invloed van meetfouten vergt dit echter een zeer uitgebreide meetopzet.

| 47

Om toch een redelijke inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid neerslag die daadwerkelijk tot afstroming komt kan men zich bedienen van een meer pragmatische meetopzet bestaande uit een neerslagmeting, meting van de verpompte volumens en de waterstand ter plaatse van de laagst gelegen overstortdrempel en eventueel ter plaatse van één of meerdere controlepunten. Met een dergelijke meetopzet kan voor buien, die (net) niet tot een overstortingsgebeurtenis leiden, de inloop van neerslag worden afgeleid uit de verpompte volumens. Hierbij wordt aangenomen dat bij dergelijke gebeurtenissen geen intrede van oppervlaktewater plaatsvindt en de eventuele intrede van grondwater of lekkage reeds is verdisconteerd in de gemeten droogweerafvoer.

#### *Neerslag*

Voor het leggen van een relatie tussen de afgevoerde hoeveelheid neerslag en het afvoerend verhard oppervlak dient de meetopzet te worden uitgebreid met minimaal één neerslagmeter en bij voorkeur tenminste een dagsom-neerslagmeter ter controle. De meest geschikte locatie voor het meten van de neerslag is een centraal punt. De hoeveelheid benodigde neerslagmeters is afhankelijk van de aard en uitgestrektheid van het rioleringsgebied. Voor het relateren van de inloop aan de neerslag wordt aangeraden voor een gemiddelde situatie uit te gaan van één neerslagmeter per 1 à 2 vierkante kilometer. Om inzicht te krijgen in mogelijke verschillen en ter controle wordt bovendien aangeraden ten minste een dagsom-neerslagmeter te plaatsen. Bij de eventuele aanschaf van toch vaak kwetsbare neerslagmeetapparatuur dient te worden gerealiseerd dat er ontwikkelingen zijn op het vlak van neerslagmeting met behulp van radarbeelden. Nader onderzoek naar de bruikbaarheid van dergelijke radarbeelden is wenselijk, gezien het op landelijke schaal benodigde aantal neerslagmeters.

---

**Tip**

Weeramateurs zijn vaak bereid om (soms door apparatuur ter beschikking te stellen of tegen een geringe vergoeding) de neerslag continue te registreren en met een bepaalde frequentie aan te leveren. Let hierbij wel op de tijdsynchronisatie met andere meetapparatuur en de representativiteit van het neerslagmeetpunt.

---

**Opmerking**

Het indirect afleiden van de grootte van de inloop van neerslag uit praktijkmetingen is slechts onder bepaalde condities haalbaar. Het is daarbij van groot belang om zowel de grootte als de toedeling van het afvoerend verhard oppervlak zo nauwkeurig mogelijk te inventariseren.

---

*Waterstand*

Om te kunnen bepalen of een overstortingsgebeurtenis al dan niet is opgetreden dient op één of meerdere strategische locaties een waterstandmeter te worden geïnstalleerd. De overstortput met de laagst gelegen (ingemeten) drempel is op voorhand de meest geëigende locatie. Uit de hydraulische berekeningen kan echter blijken dat de overstortput met de laagst gelegen drempel niet altijd als eerste aanspringt. In dat geval is een aanvullende meting vereist.

*Berging van rioolwater*

Door de waterbalans op te stellen over een periode waarop de waterstand na een verhoging weer is teruggezakt tot hetzelfde niveau is hetgeen wat is verpompt gelijk aan de inloop gedurende deze periode, ofwel het geborgen volume  $dV = 0$ . Voor de bepaling van de bergingsterm is in dat geval geen extra meting vereist. Voor het via praktijkmetingen vaststellen van de bergingsinhoud wordt verwezen naar paragraaf 6.4.

---

**Praktijkvoorbeeld**

Om het vermoeden te bevestigen dat het aangesloten verhard oppervlak veel groter is dan in theorie wordt verondersteld, plaatst de rioolbeheerder vanwege beperkt budget alleen een continue neerslagmeter en een waterstandsmeter met een groot meetbereik in de pompput. Met behulp van een rioleringsmodel en gebruikmakend van de theoretische pompafvoer wordt de gemeten neerslag gesimuleerd en het gemeten en berekende waterstandsverloop met elkaar vergeleken. Uit de vergelijking blijkt dat de gemeten waterstand aanzienlijk sneller stijgt dan theoretisch berekend. Deze uitkomst sterkt de rioolbeheerder in zijn vermoeden waarop hij besluit het verhard oppervlak opnieuw te inventariseren.

---



### *Meetperiode*

Uitgaande van een gemiddeld neerslagpatroon is een meetperiode van ca. 6-12 maanden voldoende om via analyse van de opgetreden neerslaggebeurtenissen inzicht te krijgen in het daadwerkelijk afvoerend verhard oppervlak en de onderdrempelberging.

### *Meettechnieken*

Ter bepaling van de regenweerafvoer dient de afvoer ter plaatse van het afvoerpunt te worden gemeten. Hiervoor zijn de volgende meetmethoden beschikbaar:

- 1 debietmeting in de uitgaande persleiding
- 2 debietmeting via draaiurenregistratie en waterstandsverloop
- 3 directe meting van inloop
- 4 debietmeting in vrij-verval leiding.

| 49

De debietmeting in de uitgaande persleiding (1) geniet vanwege de hoge nauwkeurigheid sterk de voorkeur, evenals voor de meting van de DWA. Een dergelijke meting vergt aanzienlijk minder bewerking van de meetgegevens wat de relatief hoge oprichtingskosten compenseert. Het baseren van de regenweerafvoer op de draaiurenregistratie en het waterstandsverloop in de pompput (2) is bewerkelijk en onderhevig aan specifieke randvoorwaarden. Rekening dient te worden gehouden met samenloop van pompen bij het uitvoeren van de noodzakelijke pompproef. Deze methode is niet geschikt in combinatie met een geïnstalleerde frequentieomvormer. De directe meting van inloop (3) is ondoenlijk en slechts haalbaar voor kleine proefgebiedjes. Voor vrij-verval riolen kleiner dan ordegrootte 500 mm is een elektromagnetische of ultrasonische debietmeting (4) voldoende betrouwbaar. Specifieke kennis en ervaring zijn vereist ter beoordeling van de haalbaarheid en betrouwbaarheid van een dergelijke meting in riolen groter dan ordegrootte 500 mm. In de bijlagen zijn de voor- en nadelen van de verschillende meettechnieken nader uitgewerkt.

### *Aanvoer vanuit andere gebieden (uitbreiding meetopzet)*

De afvoer van afvalwater (DWA+RWA) afkomstig van onderbemalingsgebieden is verdisconteerd in de meting van de afvoer bij het hoofdgemaal. Bij de analyse van het functioneren dient hier rekening mee te worden gehouden (zie paragraaf 6.2). Indien er aanleiding bestaat om ook de aanvoer van rioolwater vanuit andere gebieden te meten dan geldt dezelfde meetopzet voor het onderbemalingsgebied als voor het hoofdgebied.

Voor het meten van rioolwater wat wordt aangevoerd via een onderdoorlaat (bijvoorbeeld in het geval van een stuwgebied) wordt verwezen naar paragraaf 6.6.

#### *Uitwisseling met grondwater (uitbreiding meetopzet)*

De mogelijke instroom van grondwater is niet expliciet te meten. Hiervoor dient gebruik te worden gemaakt van de eventuele relatie tussen de instroming van grondwater en de grondwaterstand volgens de meetopzet onder droogweeromstandigheden (zie paragraaf 5.2).

#### *Uitwisseling met oppervlaktewater (uitbreiding meetopzet)*

Indien er gerede kans bestaat dat de buitenwaterstand bij geringe neerslaghoeveelheden (die niet tot een overstortingsgebeurtenis leiden) frequent en langdurig boven de drempelhoogte kan uitstijgen dient een terugslagklep te worden aangebracht of een aanvullende continue waterstandsmeting te worden verricht in het oppervlaktewater.

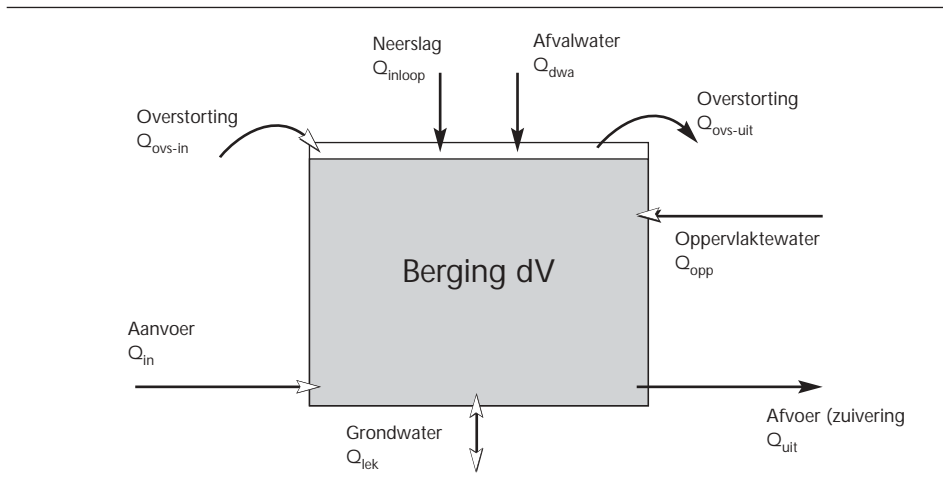
50 |

#### *Uitwisseling via water over straat (uitbreiding meetopzet)*

In sommige (meestal hellende) gebieden vindt onder bepaalde omstandigheden transport van water over straat plaats. Water stroomt op deze wijze van het ene in het andere stelsel. Dit is een aandachtspunt en kan door visuele waarneming worden vastgesteld.

### 5.4 Neerslag, wel overstorting (RWA+)

Bij een overstorting is er sprake van een extra afvoerterm naar het oppervlaktewater of een andere bemalingsgebied en eventueel ook een interne lozing vanuit een ander bemalingsgebied. Bij neerslagomstandigheden die wel tot een overstorting leiden is de waterbalans derhalve samengesteld uit minimaal 4 en maximaal 8 basistermen:



Figuur 8: Waterbalans tijdens overstorten (RWA+).

$Q_{\text{dwa}}$	belasting met afvalwater van huishoudens en bedrijven
$Q_{\text{uit}}$	afvoer van rioolwater naar een zuivering of ander gebied
$Q_{\text{ovs-uit}}$	afvoer van rioolwater via de overstorten
$Q_{\text{inloop}}$	belasting met hemelwater afkomstig van het afvoerend verhard oppervlak

$dV$  berging van rioolwater

$Q_{\text{in}}$  aanvoer van rioolwater vanuit andere gebieden en/of bronneringswater

$Q_{\text{ovs-in}}$  aanvoer van rioolwater via overstorten van andere gebieden

$Q_{\text{lek}}$  een mogelijke uitwisseling met grondwater

$Q_{\text{opp}}$  een mogelijke uitwisseling met oppervlaktewater

### Overstortingsvolume

Het meten van het overstortingsvolume is een theoretische mogelijkheid om de waterbalans sluitend te krijgen. Vanuit de waterbalans beredeneerd levert het meten van het overstortingsvolume een controle op van de inloop van hemelwater onder neerslagomstandigheden die wel tot een overstortingsgebeurtenis leiden. Indien het neerslagverlies afneemt naarmate de bui-intensiteit en/of -duur toeneemt, zal de inloop, gebaseerd op buien die niet tot een overstortingsgebeurtenis leiden, worden onderschat. De enige manier om hier achter te komen is door het overstortingsvolume voor een 10 tot 20-tal overstortingsgebeurtenissen te meten. Het zonder meer toepassen van de theoretische overstortformules ter bepaling van het overstortingsvolume wordt echter afgeraden. Dergelijke formules zijn afgeleid voor perfect uitgevoerde overstortdrempels die aan specifieke eisen moeten voldoen. Bovendien wijkt in veel gevallen de vorm van de drempel teveel af van een rechte overlaat (b.v. U-vormige constructies) of is de aanstroomrichting de overstortput niet recht en dus verre van ideaal. Omdat theoretische afvoerformules ten enen male ongeschikt zijn voor overstorten in de praktijk, resteert er niets anders dan het vinden van een specifieke formule (of specifieke overlaatcoëfficiënt) voor iedere niet ideaal vormgegeven overstortput (Veldkamp, 2001).

De bandbreedte waarbinnen de afwijkingen voor niet-gekalibreerde overlaten kunnen fluctueren ligt in de orde van grootte van 20-50%. Bovendien kan de verdeling van de overstortende volumens over de lozingspunten verschillen van de theoretische verdeling. In feite komt het er dus op neer dat voor een controle van de inloop van neerslag in principe alle overstorten met een voldoende nauwkeurigheid dienen te worden bemeten om hierover een zinnige uitspraak te kunnen doen. Dit betekent voor de meetopzet dat ter plaatse van alle overstorten een waterstandmeter dient te worden geïnstalleerd en de afvoercoëfficiënt van de overstortdrempel via een veldkalibratie dient te worden vastgesteld. Voor de uitvoering van een veldkalibratie wordt verwezen naar de bijlagen. Gezien de hoge kosten van een veldkalibratie (ca. € 5.000 tot € 10.000), limiterende condities waaronder een veldkalibratie mogelijk is en de toch

vaak talrijke overstortlocaties mag worden verondersteld dat dit in de praktijk een vrijwel onhaalbare kaart is, tenzij gebruik wordt gemaakt van (roulerende) geijkte debietmeters in de overstortleidingen.

Om de meetfout te reduceren dient in de bestaande situatie ten minste een scherpe horizontale rand aan de bovenstroomse zijde van de overstortdrempel te worden aangebracht en dient de waterstandmeter op een zo groot mogelijke afstand, bij voorkeur minimaal 4 maal de maximale straaldikte bovenstrooms van de overstortdrempel, te worden gesitueerd (RIONED, 2001). Interpretatie in absolute zin wordt echter afgeraden in verband met de beperkte onnauwkeurigheidsgraad. Wel bestaat de mogelijkheid om via kalibratie van het rioleringsmodel de afvoercoëfficiënten van de bemeten overstorten te berekenen, hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

52 |

---

### Tip

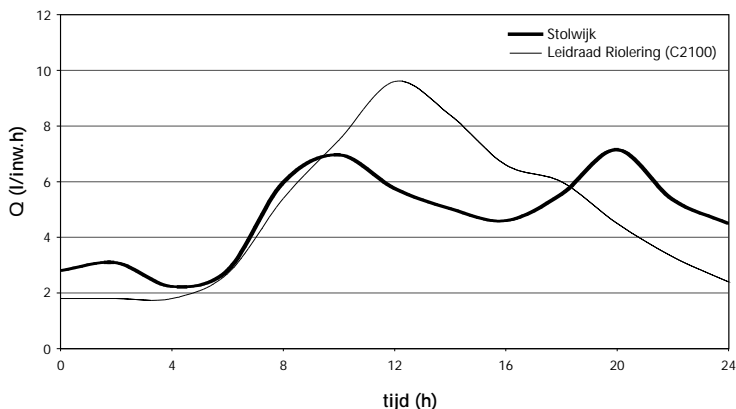
De aanwezigheid van een randvoorziening biedt de mogelijkheid om inzicht te krijgen in de mate waarin de Q-h relatie kan afwijken van de theoretische overlaatformule. Door tijdens de vullingsfase de waterstand te meten en in relatie te brengen met de bergings-hoogte relatie van de randvoorziening kan het intern overstortingsdebiet worden uitgerekend en vergeleken met het volgens de theoretische overlaatformule berekende overstortingsdebiet.

---

Voor nieuwbouwsituaties wordt geadviseerd een standaard overstortput aan te brengen die geschikt is voor het verrichten van praktijkmetingen (STORA, 1978)

### 5.5 Verloop en volumebeslag van de droogweerafvoer

De gemiddelde op praktijkgegevens gebaseerde fluctuatie in het verloop van de (Nederlandse) droogweerafvoer is beschreven in de Leidraad Riolering, module C2100. Hier wordt uitgegaan van de zogenaamde 'dromedaris'-grafiek met een piekafvoer van 10 l/inw/h. Voorbeelden uit de praktijk (Stolwijk, Capelle a/d IJssel, Deventer) tonen echter vaker de zogenaamde 'kameel'-grafiek, bestaande uit twee pieken, met een piekintensiteit kleiner dan 10 l/inw/h (figuur 9).



Figuur 9: Dagelijkse fluctuatie in de droogweeraanvoer.

Het volumebeslag van de droogweerafvoer is van invloed op de kwaliteit van het overstortende water, hoe groter het volumebeslag des te groter de potentiële bron van verontreinigingen. Het volume wat wordt ingenomen door de droogweerafvoer gaat bovendien ten koste van de bergingsinhoud, hoe kleiner de bergingsinhoud des te groter de kans op een overstorting en toename van de vuilemissie. Met name in rioolstelsels waar doorvoer van geïnjecteerd afvalwater plaatsvindt, of waar vermoedens bestaan dat het volumebeslag aanzienlijk is, is het zinvol naast de fluctuatie ook het volumebeslag te controleren. Hiertoe is wel een aanvullende niveaumeting vereist.

#### *Verloop droogweerafvoer*

Om het verloop van de droogweerafvoer te controleren dient de fluctuatie te worden gemeten. De fluctuatie van de droogweerafvoer kan worden afgeleid uit de praktijkmetingen aan de afvoer van het rioolstelsel. Door de geloosde hoeveelheden afvalwater met een frequentie van 5 minuten te registreren wordt het verloop in de tijd zichtbaar gemaakt. De benodigde meetopzet en meetduur is derhalve gelijk aan de meetopzet benodigd voor het bepalen van de droogweerafvoer.

#### *Volumebeslag droogweerafvoer*

Om het volumebeslag van de droogweerafvoer te controleren dient minimaal de waterstand te worden gemeten in het meest benedenstroomse ongestuwde traject (energieverhang is gelijk aan bodemverhang). Hiertoe dient de vullingsgraad van de rioolleiding te worden gemeten met behulp van een niveaumeter. De meetapparatuur dient geschikt te zijn voor het continue meten van waterstanden die variëren van 0 tot ca. 50 cm.

---

### Tip

Tijdens rioolinspecties wordt de vullingsgraad van de rioolleidingen genoteerd. Via een grafische weergave van het C7 (waterdiepte) kan extreem volumebeslag worden getraceerd.

---

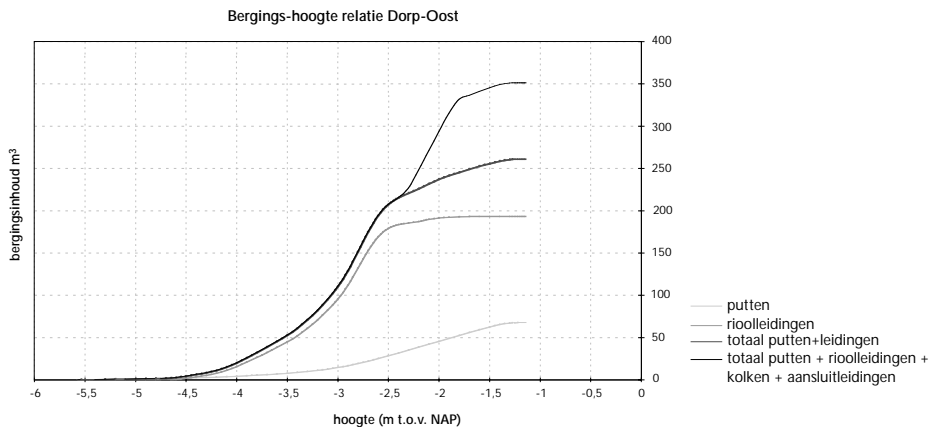
Het volumebeslag van de droogweerafvoer bedraagt onder normale condities (geen verloren berging, geen doorvoer uit andere stelsels, gemiddeld afschot) ca. 0,1 - 0,5 mm. Indien uit de analyse van de praktijkmetingen blijkt dat het gemeten vullingspercentage aanzienlijk afwijkt van deze waarden is het zinvol dit aspect nader te onderzoeken via aanvullende praktijkmetingen en/of rioolinspecties.

### 5.6 Berging en opstuwing in rioolstelsel

54 |

Met name in zeer vlakke gebieden met een hoge buitenwaterstand komt het voor dat een groot gedeelte van de aansluitleidingen onder de laagst gelegen drempel ligt en hierdoor bijdraagt aan de bergingsinhoud. In Stolwijk (West-Nederland) is bijvoorbeeld via praktijkmetingen bevestigd dat de bergingsinhoud met ca. 2 mm toeneemt als gevolg van de aansluitleidingen (figuur 10). In Deventer (Oost-Nederland) is een soortgelijke bevinding gedaan maar dan in de orde van grootte ca. 0,5 mm.

---



Figuur 10: Bergings-hoogte relatie gemengd rioolstelsel.

In hellende gebieden komt het voor dat een gedeelte van de bergingsinhoud boven de laagst gelegen drempel aanwezig is, de zogenaamde dynamische berging. De dynamische berging ligt veelal in de orde van grootte van 0,5 - 1 mm berging.

Voor het in beeld brengen van beide soorten van berging wordt in het navolgende de minimum benodigde meetopzet beschreven.

### *Controle van onderdrempelberging*

De statische berging in een rioelstelsel kan op twee manieren worden gemeten:

- 1 uit een stijgend waterstandsverloop en stilstaande pomp
- 2 uit een dalend waterstandsverloop en functionerende pomp

ad 1.

Indien de grootte en fluctuatie van de droogweerafvoer bekend is kan met een vrij hoge nauwkeurigheid de berging worden gecontroleerd. Hiertoe dient het verpompt volume te worden geregistreerd en de waterstand ter plaatse van de laagst gelegen drempel. In geval van een bewust uitgezette of stilstaande pomp (pompstoring) is er louter toevoer van (bekend veronderstelde) droogweerafvoer. De hoeveelheid geloosd DWA in de periode waarin de waterstand is gestegen tot aan de laagst gelegen drempel is gelijk aan de onderdrempelberging. Minimale vereisten zijn het vooruitzicht van droog weer en een tijdige inschakeling van de pomp teneinde de lozing van ruw afvalwater op oppervlaktewater te voorkomen! Van eventuele opgetreden pompstoringen tijdens droogweeperioden kan dankbaar gebruik worden gemaakt.

ad 2.

Om inzicht te krijgen in de bergingsinhoud van het rioelstelsel dient het verpompt volume en de neerslag te worden geregistreerd. De metingen dienen te worden verricht voor één of meerdere perioden waarbij de waterstand is gezakt van het niveau van de laagst gelegen drempel tot aan DWA-niveau. In deze leeglooperperiode mag geen neerslag vallen, want dit verstoort de balans. De bergingsinhoud kan worden bepaald door het verpompte volume over de leegperiode te cumuleren en te verminderen met de gemeten gemiddelde droogweerafvoer voor een soortgelijke periode.

Om te kunnen bepalen of een overstortingsgebeurtenis al dan niet is opgetreden dient op één of meerdere strategische locaties een waterstandmeter te worden geïnstalleerd. De overstortput met de laagst gelegen (ingemeten) drempel is op voorhand de meest geëigende locatie. Uit de hydraulische berekeningen kan echter blijken dat de overstortput met de laagst gelegen drempel niet als eerste aanspringt. In dat geval is een aanvullende meting vereist.

### **Controle bergings-hoogte relatie**

Indien er een significante afwijking bestaat tussen de theoretische onderdrempelberging en de praktijkwaarde is het van belang te weten in welk traject de afwijking voorkomt. Door de bergings-hoogte relatie uit de praktijkmetingen af te leiden wordt dit inzicht verkregen.

Voor de bergings-hoogte relatie van het rioelstelsel dient de waterstand te worden gemeten vanaf het laagste punt tot aan het maaiveld. Een waterstandsmeting met een groot meetbereik (ca. 4 meter) in de pompput geniet vanuit praktisch oogpunt hierbij

de voorkeur. Voor de afleiding van de bergings-hoogte relatie dient het waterstandsverloop te worden geregistreerd over één of meerdere perioden waarbij de waterstand is gezakt van het niveau van de laagst gelegen drempel tot aan DWA-niveau. In deze leeglooperperiode mag geen neerslag vallen, want dit verstoort de balans. Controleer tevens of eventuele andere bemeten overstorten niet lozen gedurende de leeglooperperiode.

Bepaal de bergings-hoogte relatie door het verpompte volume over de leegperiode te cumuleren en te verminderen met de gemeten gemiddelde droogweerafvoer voor een soortgelijke periode.

Om te kunnen bepalen of een overstortingsgebeurtenis al dan niet is opgetreden dient op één of meerdere strategische locaties een waterstandmeter te worden geïnstalleerd. De overstortput met de laagst gelegen (ingemeten) drempel is op voorhand de meest geëigende locatie. Uit de hydraulische berekeningen kan echter blijken dat de overstortput met de laagst gelegen drempel niet als eerste aanspringt. In dat geval is een aanvullende meting vereist.

### **Controle dynamische berging**

Het meten van de onderdrempelberging geeft inzicht in de totale hoeveelheid berging, immers al het water wat geborgen is wordt verpompt. Het verschil tussen statische en dynamische berging is met deze meetopzet echter niet af te leiden. Door het bijplaatsen van één of meerdere waterstandsmeters (afhankelijk van de rioolstructuur) zo ver mogelijk bovenstrooms van de laagst gelegen overstortdrempel bestaat inzicht in het hydraulisch verhang tussen de waterstand ter plaatse van de laagst gelegen drempel en de bovenstroomse waterstand. De dynamische berging kan vervolgens worden ingeschat via de theoretische bergings-hoogte relatie over het traject vanaf de laagst gelegen drempel tot aan maaiveld.

### **5.7 Hydraulische afvoercapaciteit**

Het verrichten van praktijkmetingen m.b.t. de hydraulische afvoercapaciteit is een activiteit die met name zal worden ingezet op het moment dat er sprake is van wateroverlast, die niet kan worden verklaard uit de geografische ligging, neerslagintensiteit, het rioolontwerp etc. Via de praktijkmetingen kan de mogelijke oorzaak van de wateroverlast worden achterhaald, waardoor gericht maatregelen kunnen worden genomen. Omdat wateroverlast gepaard kan gaan met emoties mag worden verwacht dat de verstrekte informatie op dat moment niet altijd objectief zal zijn. Om deze reden is het goed door de jaren heen een bestand op te bouwen met waarnemingen/klachten omtrent water op straat. Verder wordt in deze paragraaf beknopt weergegeven welke meetopzet minimaal benodigd is om inzicht te krijgen in de mogelijke oorzaak van de wateroverlast.



### *Waarnemen water op straat*

Het via meetapparatuur meten van water op straat is een vrijwel ondoenlijke zaak. Via waarnemingen kan een voldoende beeld worden verkregen van de locatie, duur en omvang van de wateroverlast. Waarnemingen/klachten dienen centraal te worden verzameld en te worden geregistreerd met datum, tijd, locatie, duur van water op straat, dikte van de waterschijf, omvang van de hoeveelheid water op straat, neerslaghoeveelheden en -duur en eventuele bijzonderheden.

### *Metten hydraulisch verhang*

In geval van bijzondere constructies, zoals zinkers onder het kanaal, doorlaatconstructies e.d. of een extreme hoeveelheid aangesloten verhard oppervlak mag worden verwacht dat er (tijdens regenweersituaties) op korte afstand van elkaar een merkbaar verschil in waterstand zal optreden als gevolg van optredende energieverliezen. Het plaatsen van minimaal twee waterstandsmeters, met een meetbereik van ca. 1-2 meter boven- en benedenstrooms van de constructie of in het afstromingstraject, geven inzicht in het verschil in waterstand en hiermee de opstuwing/energieverlies in het riool. Voor de analyse van het functioneren dient eveneens de neerslag te worden gemeten.

| 57

### *Metten (voor)vulling*

Het al dan niet optreden van voorvulling is van invloed op de buffercapaciteit van hoge neerslagintensiteiten. Afhankelijk van de voorvulling kan een bui al dan niet tot wateroverlast leiden.

In de trajecten tussen de DWA-meetpunten en de overstorten kunnen (eventueel tijdelijke) meetpunten met een groot meetbereik worden ingericht om het verloop van de vulling van een rioelstelsel te controleren.

Voor de keuze van de meetpunten dient een analyse van een aantal hydraulische berekeningen te worden gemaakt die zijn uitgevoerd met een aantal verschillende typen neerslaggebeurtenissen. Knooppunten waar de waterstand relatief sterk reageert op veranderingen in de belasting op het stelsel zijn in principe interessante meetpunten. Voor de analyse van het functioneren dient eveneens de neerslag te worden gemeten.

### *Buitenwaterstand*

Indien de buitenwaterstand in voldoende mate uitstijgt boven drempelniveau wordt de hydraulische afvoercapaciteit beperkt als gevolg van terugstuwning (onvolkomen overlaat). Indien er aanwijzingen zijn dat de buitenwaterstand een rol speelt (visuele waarnemingen, modelberekeningen, meetwaarden van nabijgelegen oppervlaktewater e.d.) bij wateroverlast dient bij de meetopzet rekening te worden gehouden met dit verschijnsel. Het bijplaatsen van een niveaumeter in het oppervlaktewater is voldoende om antwoord te krijgen op de vraag of er sprake is van een volkomen of onvolkomen werking van de overstortput.

### *Illegale lozingen*

Het in beeld brengen van de locatie en grootte van mogelijke grote illegale lozingen is mogelijk met behulp van een (mobiele) debietmeter. Meting van de droogweerafvoer en vergelijking met de theoretische droogweerafvoer brengt mogelijk significante afwijkingen aan het licht. Door benedenstrooms te starten en de meetopstelling vervolgens stroomopwaarts te verplaatsen naar strategische punten kan de verdachte locatie steeds verder worden ingeperkt. Het traceren van illegale lozingen, die alleen optreden gedurende regenweerstandigheden is vrijwel ondoenlijk.

### **5.8 Afvoer bijzondere constructies**

De weerstand van bijzondere constructies zoals wervelventielen, onderdoorlaten, overloopconstructies, knijpriolen, terugslagkleppen e.d. is vaak een bepalende factor voor de afvoercapaciteit van een systeem. Voor een nauwkeurige benadering van het functioneren van dergelijk voorzieningen dient derhalve de weerstandscoefficiënt of  $Q-\Delta H$  relatie in praktijk te worden vastgesteld.

58 |

De minimum benodigde meetopzet bestaat uit de installatie van één niveaumeter bovenstrooms de constructie en één niveaumeter benedenstrooms van de constructie. Deze meetopzet levert het optredend energieverlies voor verschillende soorten van neerslaggebeurtenissen (meetduur ca. 6-12 maanden). Op basis van de verkregen waarden kan op pragmatische wijze de weerstandscoefficiënt van de in het rioleringsmodel opgenomen bijzondere constructie zodanig worden bijgesteld dat de berekende en gemeten waterstanden beter overeenkomen.

Voor een nauwkeurige  $Q-\Delta H$  relatie dient ook de afvoer door/via de constructie te worden gemeten, dit is mogelijk met behulp van een veldkalibratie overeenkomstig de kalibratie van een overstortdrempel (zie bijlagen).

---

#### **Praktijkvoorbeeld**

In een gemengd rioolsysteem zijn op een aantal locaties zelf gemaakte wervelventielen geplaatst. De  $Q-h$  relaties van deze constructies zijn twijfelachtig, maar er zijn onvoldoende financiële middelen om de  $Q-h$  relaties op een gedegen wijze te bepalen. Besloten wordt om, naast de neerslag, roulerend over het meetnet het waterstandsverschil over de constructies te meten en niet de doorvoer. De gemeten neerslag wordt gesimuleerd met het rioleringsmodel en de gemeten en berekende  $\Delta H$  worden met elkaar vergeleken. Uit een analyse van de meetgegevens blijkt dat voor de meeste constructies de gemeten  $\Delta H$  aanzienlijk kleiner is dan de berekende  $\Delta H$ , wat zou kunnen duiden op een grotere doorvoer (of meer neerslagverlies etc.) Om het effect van de minder goed functionerende constructies door te rekenen wordt de diameter van de wervelventielen in het rioleringsmodel zodanig vergroot dat het gemeten waterstandsverloop beter wordt benaderd.

---

## 5.9 Meetgegevens- en logfrequentie

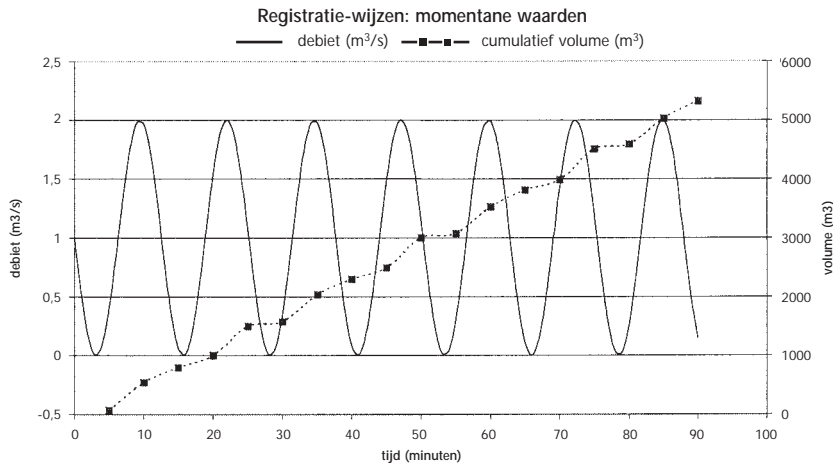
De wijze waarop meetgegevens worden vastgelegd bepaalt voor een belangrijk deel de informatie die de meetgegevens bevatten. Er zijn verschillende manieren waarop metingen kunnen worden uitgevoerd en vastgelegd:

- cumulatieve waarden;
- gemiddelde waarden per tijdsinterval;
- momentane waarden.

De gemiddelde en momentane waarden per tijdsinterval kunnen worden gebruikt voor het registreren van debieten en waterstanden. Het vastleggen van cumulatieve waarden is alleen geschikt voor het vastleggen van volumes die zijn afgeleid van debieten.

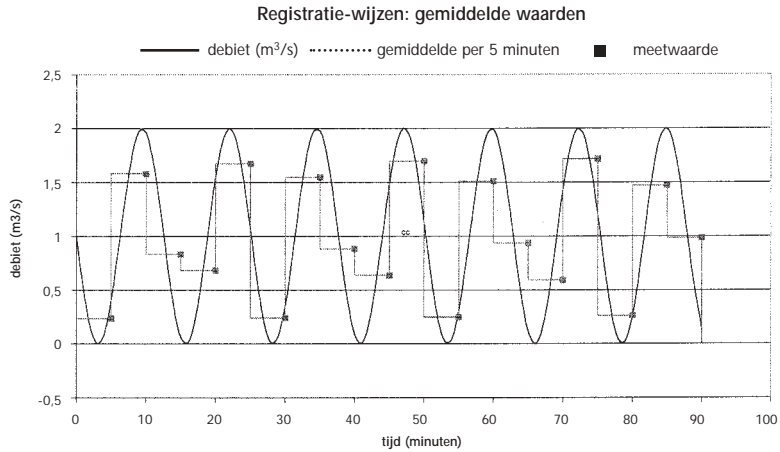
Uit figuur 11, figuur 12 en figuur 13 komt naar voren dat de wijze van registratie een aanzienlijke invloed kan hebben op de reproduceerbaarheid van het feitelijke verloop van een debiet of waterstand. Bij het beoordelen van meetgegevens is het dus van belang dat bekend is welke registratiewijze toegepast is (figuur 15) voor een indicatie van registratie-tijdstappen.

| 59



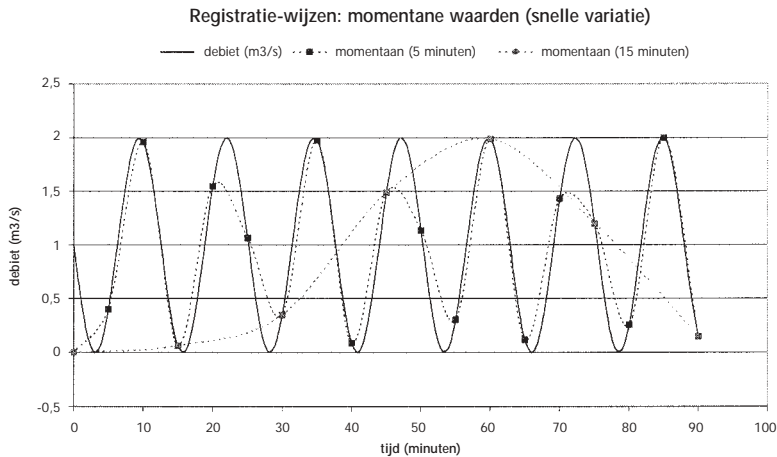
Figuur 11: Registratie van verpompte hoeveelheden.

Het verloop van het verpompte volume van een gemaal kan worden vastgelegd met (momentane) cumulatieve waarden. De methode geeft een minder nauwkeurig beeld van het tijdsafhankelijke verloop van het debiet (zie registreren gemiddelde waarden). Het voordeel van deze methode is dat het totale volume zo nauwkeurig mogelijk wordt vastgelegd. Voor het registreren van snel fluctuerende debieten gaat het daarom om de keuze tussen een relatief hoge log-frequentie of een cumulatief verloop.



Figuur 12: Registratie van gemiddelde debieten over de voorgaande 5 minuten.

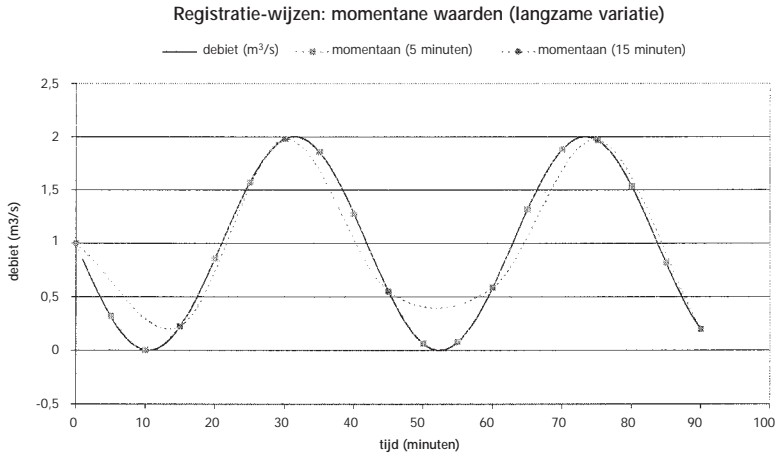
Het registreren van de gemiddelde debieten over het voorgaande tijdsinterval geeft in essentie het zelfde resultaat als het registreren van het cumulatieve verloop van het verpompte volume.



Figuur 13: Iedere 5 of 15 minuten registratie van momentane debieten (snelle variatie).

Bij het registreren van momentane waarden is de nauwkeurigheid van de weergave van het gemeten debiet sterk afhankelijk van de grootte van de registratie-tijdstap  $\Delta t$ . Uit figuur 13 komt naar voren dat de keuze van een grote tijdstap (10-15 minuten) bij een snelle variatie tot een aanzienlijk verlies van informatie kan leiden. De kans is

groot dat vooral de pieken in het debiet onvoldoende nauwkeurig worden vastgelegd. Voor langzame variatie is dit minder het geval (figuur 14).



Figuur 14: Iedere 5 of 15 minuten registratie van momentane debieten (langzame variatie).

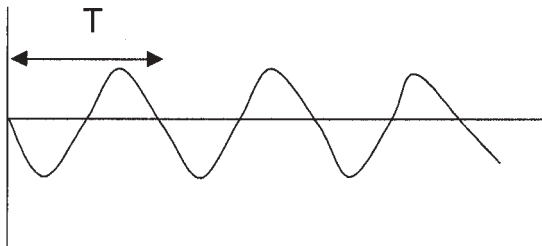
Bij de opslag van momentane meetwaarden is de (log)frequentie van gegevensopslag belangrijk. Het liefst is deze zo hoog mogelijk om zo dicht mogelijk bij het feitelijk opgetreden patroon te blijven. Onderstaande formule geeft een indicatie van de benodigde tijdstap waarmee de metingen kunnen worden geregistreerd teneinde het informatieverlies beperkt te houden.

$$\Delta t < \frac{T}{10}$$

waarbij:

$\Delta t$  = tijdstap waarmee metingen worden geregistreerd;

$T$  = periode van het te meten proces (figuur 15).



Figuur 15: Periode van het te meten proces.

Daarnaast is de registratiewijze van invloed op het gemak waarmee de gegevens verwerkt kunnen worden. Zo kunnen meetgegevens worden aangeleverd in ASCII of in gecomprimeerde bestanden. Bij het aanleveren van de gegevens in ASCII zijn minder bewerkingen nodig om de meetgegevens inzichtelijk te krijgen.

In tabel 1 zijn indicatieve waarden voor de registratie-tijdstep  $\Delta t$  gegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt naar DWA (droogweerafvoer per dag), DWA-fluctuatie (verloop van de droogweerafvoer) en RWA (hydraulisch functioneren tijdens regenweersomstandigheden).

Tabel 1: Indicatieve waarden voor registratie-tijdstep.

	te registreren parameter	wijze van opslag	DWA	DWA-fluctuatie	RWA
verpompt volume	debiet	cumulatief	dag	5 min.	5min.
overstortingsvolume	niveau	momentaan	nvt	nvt	1-3 min.
neerslag	neerslag	cumulatief	dag	dag	5 min.
rioolwaterstand	niveau	momentaan	nvt	5 min.	5 min.
oppervlaktewaterstand	niveau	momentaan	dag	dag	15-60 min
grondwaterstand	niveau	momentaan	dag	dag	dag

### Praktijkvoorbeeld

Een rioolbeheerder besluit tot het opstellen van een volumebalans teneinde de droogweerafvoer te bepalen en een schatting te maken van het neerslagverlies. Hiertoe betreft hij de neerslaggegevens van een weeramateur, laat de draaiuren registreren en installeert twee waterstandsmeters met een klein meetbereik (meting vanaf drempelpeil) in de twee aanwezige overstortputten.

Na 2 maanden ontvangt hij de meetgegevens en worstelt met het aan elkaar knopen van de meetgegevens. Doordat hij geen afspraken heeft gemaakt over het tijdsinterval krijgt hij van de weeramateur uurneerslaggegevens, ontvangt hij de cumulatieve draaitijden per maand en de waterstanden per minuut.

Bovendien zijn de meetgegevens niet uniform datum-tijd gerelateerd....

## 6 Functioneren rioolstelsel

De relatie tussen het theoretisch functioneren van een rioolstelsel en de metingen in de praktijk wordt geanalyseerd aan de hand van de waterbalans van het systeem. Hierbij is onderscheid gemaakt in droogweer en neerslag omstandigheden. Bij droogweer is de aandacht gericht op de bepaling van de belasting van afvalwater en het eventueel in- en uittreden van grondwater. Bij neerslag omstandigheden gaat het vooral om de belasting van neerslag, het afvoerend oppervlak, de inlooeffecten en de berging in het stelsel etc.

Bij deze analyse wordt uitgegaan van een statische en een dynamische benadering. De statische waterbalans geeft een beeld van het totaal van in- en uitgaande stromen over een gekozen periode van uren of dagen. De dynamische waterbalans gaat in op het tijdsafhankelijke verloop van belastingen van afvalwater en neerslag, stromingen in stelsel, vulling- en leegloopgedrag van het stelsel.

| 63

De volgende vragen komen in dit hoofdstuk aan de orde:

- hoe leg je de resultaten van metingen en berekeningen naast elkaar;
- waar zitten de mogelijke verschillen tussen theorie en praktijk.

### 6.1 Droogweerafvoer (DWA)

Het modelleren van de droogweerafvoer in een rioolstelsel is een belangrijke en vaak onderschatte component in het functioneren van een rioolstelsel. De afstromingstoestand van een systeem is o.a. van invloed op het ontstaan/voorkomen van afzettingen in de leidingen. Het dichtslibben van leidingen en de aanwezigheid van obstakels is een mogelijke oorzaak van het optreden van water op straat en het voortijdig aanspringen van overstorten. Afhankelijk van de omvang en structuur van een systeem kan het wenselijk zijn om de DWA belasting op een systeem fijnzinniger te modelleren en te meten.

Het aanbod van huishoudelijk afvalwater is theoretisch te bepalen op basis van een productie per inwoner, waarbij er gerekend kan worden met een dagcyclus (C2100). Het aanbod van bedrijven is aanzienlijk minder duidelijk te bepalen. De productie van drinkwater is een bron om de afvalwaterbelasting van inwoners en bedrijven op een rioolstelsel te genereren, zowel in kwantitatieve als ruimtelijke zin. Met name voor bedrijven geldt dat deze ook water kunnen lozen dat uit (eigen) bronnen is onttrokken.

Bij het meten van de droogweerafvoer kan de waterbalans voor droogweer worden toegepast:

$$Q_{\text{dwa}} + Q_{\text{in}} - Q_{\text{lek}} - Q_{\text{uit}} = \text{sluitfout}$$

In principe wordt de geproduceerde hoeveelheid afvalwater  $Q_{\text{dwa}}$  afgevoerd door het rioolgemaal  $Q_{\text{uit}}$ . In deze balans zitten twee termen die bijzondere aandacht verdienen: de aanvoer van afvalwater uit andere gebieden en/of bronneringswater  $Q_{\text{in}}$  en de uitwisseling van rioolwater met het grondwater. De aanvoer uit andere gebieden kan goed worden gemeten, het vraagt om een extra inspanning en is een extra bron voor mogelijke afwijkingen in de waterbalans. De uitwisseling met het grondwater  $Q_{\text{lek}}$  is een zeer onzekere term.

64 |

Om de hoeveelheid geproduceerd rioolwater van het onderzoeksgebied uit de praktijkmetingen af te leiden dienen eerst de perioden waarin neerslag is gevallen te worden geëlimineerd uit de gegevensset. Door ook de eerste droge dag voorafgaand aan elke resterende droogweerperiode te elimineren wordt voorkomen dat dagen waarop geborgen regenwater wordt verpompt worden meegeteld in de berekening.

De hoeveelheid verpompt rioolwater gedeeld door het aantal dagen levert de gemiddelde droogweerafvoer per dag.

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{n} = \bar{Q}$$

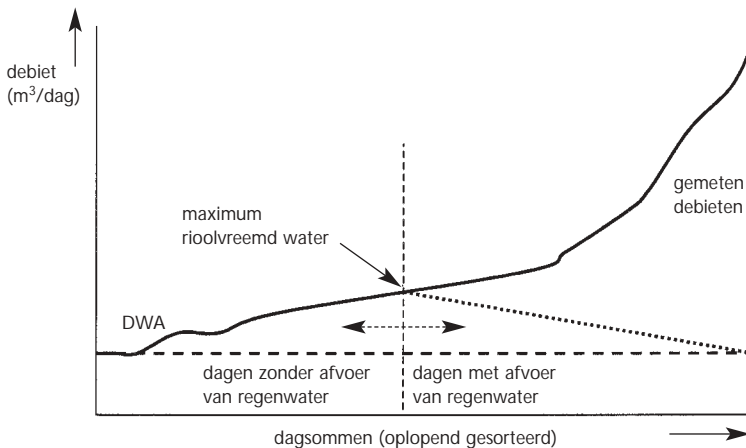
$q$  = gemeten afvoer op een droge dag voorafgegaan door een droge dag ( $\text{m}^3/\text{dag}$ )

$n$  = aantal dagen waarover de droogweerafvoer wordt bepaald

$Q$  = gemiddelde droogweerafvoer ( $\text{m}^3/\text{dag}$ )

Om een indicatie te krijgen van de hoeveelheid 'rioolvreemd water' (infiltratie, exfiltratie, permanente bronnering, drainagelozingen, illegale lozingen e.d.) kan de methode van Weiss-Brombach worden toegepast. Deze methode is toepasbaar voor dagsommen en bestaat uit het op grootte rangschikken van de gemeten inkomende debieten. De verwachte theoretische DWA wordt aangegeven als een horizontale lijn. Het punt op de kromme met gemeten debieten, dat gelegen is bij het aantal dagen dat met hemelwaterafvoer (van rechtsaf) gerekend wordt, wordt verbonden met het meest rechtse punt van de DWA-lijn (figuur 16).





Figuur 16: Methode Weiss-Brombach.

Volgens deze methode geeft het volume tussen de zo ontstane driehoek een indicatie van de hoeveelheid riolvreemd water. De afstand tussen de DWA-lijn en de lijn van de debieten (de hoogte van de driehoek) geeft een indicatie van het maximum debiet aan riolvreemd water. De methode heeft als aanname dat run off pas optreedt bij een neerslagsom groter dan 0,5 mm/dag, wat overeenkomt met de in de Leidraad Riolering aangenomen oppervlakteberging voor vlakke verhardingen, die niet tot afstroming komt.

Bij de toepassing van de methode Weiss-Brombach dient rekening te worden gehouden met de afvoer van geborgen riolwater op droge dagen. Dit is mogelijk door eliminatie van bepaalde dagen uit de gegevensset.

### Afwijkingen

Indien de gemeten droogweerafvoer significant afwijkt van de theoretische dan zijn er drie mogelijke (combinaties van) oorzaken:

- afvalwaterproductie van woningen en/of bedrijven in het onderzoeksgebied wijkt af;
- afvalwaterproductie van woningen en/of bedrijven in onderbemalingsgebieden wijkt af;
- riolering is lek, waardoor er afvalwater weglekt naar de bodem of grondwater infiltreert in de riolering.

In hoeverre de afwijking toelaatbaar is hangt af van de mogelijke invloed op het gedrag van het totale systeem. Zo zal men in grondwaterbeschermingsgebieden meer alert zijn op eventueel weglekkend rioolwater en in industrieel gebied meer alert op het intreden van 'rioolvreemd' water. Verder geldt dat voor de analyse van het rioolstelsel voor regenweerstandigheden de grootte van de droogweerafvoer en eventuele afhankelijkheden daarin, in voldoende mate bekend moet zijn!

#### *Aanvoer uit onderbemalingsgebieden*

Indien de aanvoer uit onderbemalingsgebieden niet is gemeten verdient het aanbeveling om de invoerende systemen minimaal te modelleren als een bak met: DWA belasting, afvoerend oppervlak, gemaal met pompregime en transportleiding. Ook in de onderbemalingsgebieden dient rekening te worden gehouden met de uitwisseling met het grondwater.

66 |

Bij het bepalen van de droogweerafvoer dient er rekening mee te worden gehouden dat de droogweerafvoer afkomstig van onderbemalingsgebieden is verdisconteerd in de meting van de afvoer bij het hoofdgemaal. Ter bepaling van de droogweerafvoer van het hoofdbemalingsgebied dient derhalve de gemeten of berekende droogweeraanvoer van de onderbemalingsgebieden ervan te worden afgetrokken.

#### *Uitwisseling met grondwater*

In veel gevallen is er sprake van 'lekkende' riolering waardoor hetzij grondwater het riool instroomt, hetzij afvalwater vanuit de riolering in het grondwater terechtkomt. Hoofdoorzaak van dergelijke lekkages is gelegen in veroudering van voegmateriaal, verzakkingen of fouten gemaakt tijdens de aanleg. Indien er een vermoeden bestaat dat er sprake is van lekkage dan staan de volgende vragen centraal:

- Om welke hoeveelheden gaat het?
- Op welke locaties treedt dit op?

Het is echter erg lastig om deze vragen expliciet via metingen vast te stellen, dit geldt met name voor lekkage vanuit de riolering.

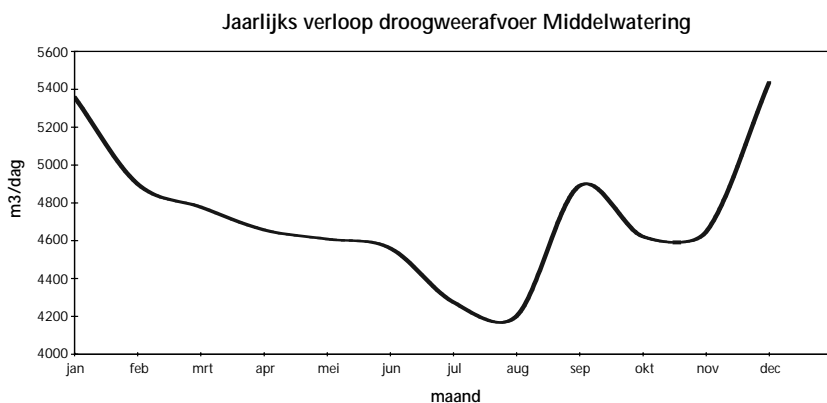
Daar waar het gaat om intredend grondwater kan, naast een gerichte meetcampagne waarin met een speciaal hiervoor ingericht grondwatermeetnet wordt gewerkt, gebruik worden gemaakt van vaak direct ter beschikking staande gegevens. Hierbij wordt bedoeld op registratie van het functioneren van de gemalen, neerslagwaarnemingen en gegevens uit het reguliere grondwatermeetnet.

In hoeverre er een reële kans bestaat op het weglekken van afvalwater of het intreden van grondwater is mogelijk te achterhalen via de beoordeling van rioolinspecties. In geval van weglekkend afvalwater kan de hoeveelheid alleen worden ingeschat ten opzichte van het theoretisch aanbod van droogweerafvoer.

In een rioleringsmodel kan het modelleren van een grondwatersysteem (in een eenvoudige vorm) een aanknopingspunt bieden om een uitwisseling met het grondwater mee te nemen. Voor de modellering van het grondwater kan gedacht worden aan een grondwaterreservoir waarin een neerslag- en seizoensafhankelijke variatie van de grondwaterstand wordt berekend. De seizoensafhankelijke aan- en afvoer van grondwater is daarbij mogelijk te koppelen aan de optredende waterstanden in het grondwaterreservoir.

De aanvoer uit drainagesystemen en grondwateronttrekkingen zullen moeten worden geïnventariseerd om de bijdrage aan de DWA te kunnen bepalen. Vaak zullen deze systemen via een pomp lozen waardoor een debiet in principe bekend is.

Figuur 17 toont het jaarlijks gemeten verloop van de droogweerafvoer in het bemalingsgebied Middelwatering (gemeente Capelle a/d IJssel). Afgezien van de piek in september is er een duidelijk waarneembare verhoging van de droogweerafvoer in de wintermaanden december en januari, vermoedelijk als gevolg van de intrede van grondwater.



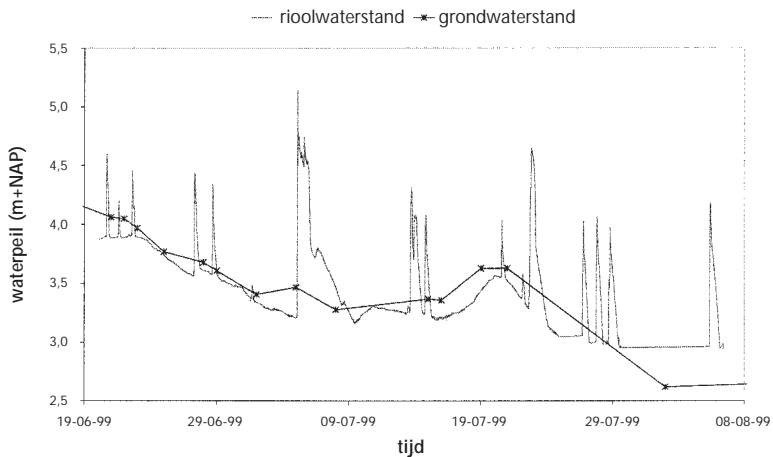
Figuur 17: Meting droogweeraanvoer Middelwatering, gedurende een jaar.

Opvallend is de gemeten DWA-piek die optreedt in september. Van deze meetperiode is bekend dat er op verscheidene locaties in West-Nederland wateroverlast is geweest als gevolg van een onvoldoende afwateringscapaciteit. Vermoedelijk is het singelpeil dermate hoog gestegen dat dit het grondwaterpeil heeft beïnvloed en vanwege de extra grondwaterdruk (meer) grondwater is ingestroomd. Door op deze locatie ook de grondwaterstand te meten had hier meer zekerheid over kunnen worden verkregen.

Overeenkomstig de eventuele spreiding in DWA is het zinvol om een seizoenskarakter met betrekking tot uitwisseling van grondwater mee te nemen in reeksberekeningen.

Uiteraard heeft het analyseren van grondwaterinstroming alleen maar zin als een deel van het rioolstelsel gedurende (een deel van) de meetperiode beneden de grondwater-spiegel is gelegen. Indien er over een langere periode (orde van grootte maanden tot enkele jaren) een duidelijke samenhang is tussen het optreden van hoge grondwaterstanden en hoge afvoer op droge dagen dan is het zeer waarschijnlijk dat er sprake is van intredend grondwater. Figuur 18 toont voor een relatief korte meetperiode een duidelijke relatie tussen de droogweerafvoer (volumebeslag) en de fluctuatie in grondwaterstand.

68 |



Figuur 18: Relatie grondwaterstand-rioolwaterstand, duidelijk is te zien dat er een relatie bestaat. Na 29-07 daalt de grondwaterstand beneden de BOK en verdwijnt de relatie.

Het vaststellen van de hoeveelheden kan alleen worden gedaan op basis van een volledige waterbalans.

Voor het bepalen van de locaties waar lekkage optreedt staan primair de volgende gegevensbronnen beschikbaar:

- registratie van wegverzakkingen (gegevens wegbeheerder);
- resultaten van rioolinspecties (met name de aanwezigheid van scheuren, problemen met voegafdichting of de aanwezigheid van verzakkingen is naast de waarneming van intredend water een belangrijke aanwijzing voor lekkage problemen);
- gegevens t.a.v. geometrie en structuur van het rioolstelsel;
- meetresultaten grondwatermeetnet of de resultaten van een grondwatermodel.

Aan de hand van de twee eerstgenoemde bronnen kan, afhankelijk van de volledigheid van de gegevensverzameling, zeer expliciet worden aangegeven welke strengen t.g.v. welke oorzaak te kampen hebben met lekkage. In gevallen waarin inspectiegegevens schaars zijn kan door het combineren van gegevens t.a.v. diepteligging van de strengen en de gemeten of berekende grondwaterstand ter plekke worden aangegeven welke strengen in een gegevens gebied verantwoordelijk kunnen zijn. In veel gevallen in Nederland ligt vrijwel het volledige rioolstelsel beneden de grondwaterspiegel waardoor de hiervoor beschreven methode geen nadere informatie geeft.

In deze gevallen en als er geen of onvoldoende inspectiegegevens beschikbaar zijn, dan kan aan de hand van de volgende selectiecriteria een eerste indicatie van potentiële lekke strengen worden verkregen:

- Zettinggevoeligheid van de bodem.
- Buislengte (hoe korter de buislengte, hoe meer voeglengte per strekkende meter riool).
- Voegmateriaal, eventueel in combinatie met aanlegjaar (met name in de jaren '50 en '60 is druk geëxperimenteerd met verschillende rubber en kunststofsoorten als voegafdichting waarbij niet altijd direct optimale oplossingen zijn gevonden).

| 69

Indien alle drie de factoren ongunstig zijn, dus slappe bodem, meterse buizen, voegafdichting rubber, aanlegperiode jaren '50, dan is de kans groot dat er sprake is van lekkage.

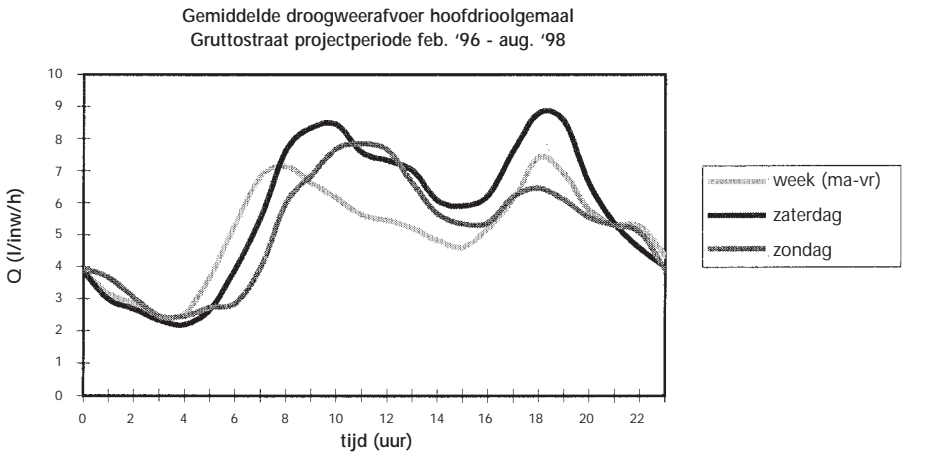
Aan de hand van een geautomatiseerde inventarisatie kan relatief snel een beeld worden verkregen van de potentiële omvang (in termen van aantallen risicolocaties).

#### *Fluctuatie van de droogweerafvoer*

Het belangrijkste meetpunt is het gemaal op het laagste punt van het stelsel. De droogweerbelaasting op een systeem komt daar met vertraging aan, afhankelijk van de transportafstanden door het systeem. De vertraging in het systeem heeft als effect dat de 'pieken' in de aanvoer zijn afgevlakt en in de tijd naar achteren geschoven. Bij de interpretatie van de meetresultaten, dient men zich dat te realiseren. De interpretatie van de fluctuatie in de droogweerafvoer kan op verschillende tijdschalen plaatsvinden, per dag, per week en per seizoen. Het verloop van een belasting in de tijd kan voor specifieke typen belastingen aanzienlijk afwijken van gemiddelde patronen. Voorbeelden zijn de lozingen van spoelwater van bedrijven, die zorgen voor kort durende piekbelastingen, bezoekers van grote evenementen, of lozingen van bedrijven met een 24-uur cyclus gedurende 7 dagen per week.

De fluctuatie per dag geeft inzicht in de piekbelasting die belangrijk is voor de dimensionering van vuilwater riolen. De fluctuatie per week geeft inzicht in het verschil in de DWA belasting van werk- en weekenddagen, met name van belang voor het meer

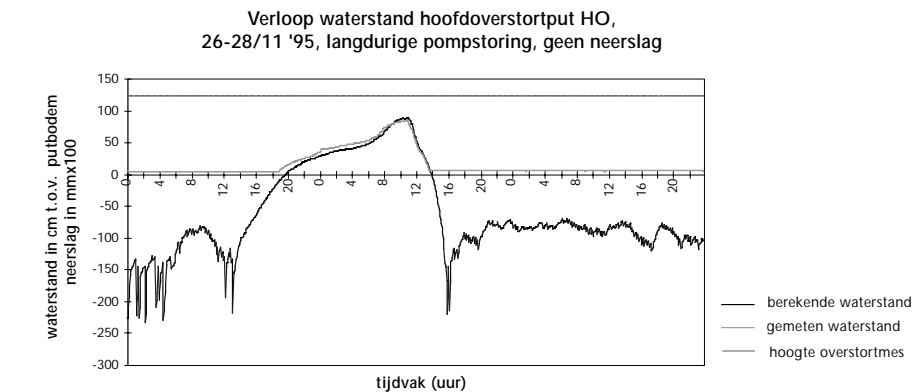
nauwkeurig kunnen modelleren van de droogweerafvoer in meerjarige reeksberekeningen.



70 |

Figuur 19: Meting dagverloop droogweeraanvoer Gruttostraat.

Figuur 19 toont de gemeten fluctuatie van de droogweerafvoer in een kleine woonwijk. Er is duidelijk sprake van twee afvoerpieken ('s ochtend en 's avonds), waarbij er op zaterdag duidelijk meer afvalwater wordt geproduceerd met een hogere piekbelasting. Op zondag wordt er waarschijnlijk uitgeslapen en minder fanatiek gekookt. Door de spreiding in Dwa-belasting is de piek gemiddeld lager dan de gebruikelijke 10-12 l/inw/h. Voor industrie- en bedrijventerreinen zal het effect precies andersom zijn, door de week een hogere afvalwaterproductie dan in het weekend.



Figuur 20: Waterstandsverhoging als gevolg van pompstoring gemaal Stolwijk.

Figuur 20 geeft een voorbeeld van een langdurige pompstoring waarbij de gemeten waterstand pas goed kon worden gesimuleerd nadat de fluctuatie van de droogweerafvoer (de zogenaamde kameel-grafiek) in het rekenmodel was doorgevoerd.

De uitstulping op de bult is duidelijk gerelateerd aan een verhoogde DWA-belasting rond 8-10 uur. Met de DWA-fluctuatie volgens de Leidraad Module C2100 (dromedaris-grafiek) bleek het niet mogelijk de lijnen op elkaar te krijgen. Dit is een voorbeeld waarbij een theoretisch uitgangspunt dient te worden gecorrigeerd door een praktische waarneming.

Indien er sprake is van recreatie dan zou er rekening kunnen worden gehouden met een seizoenscyclus. Uit waarnemingen in Zandvoort is echter gebleken dat de zomerpiek minder groot is dan je in eerste instantie zou verwachten. Recreatie is kennelijk steeds minder gebonden aan specifieke seizoenen.

| 71

#### *Volumebeslag*

Eventuele afwijkingen in het volumebeslag kunnen worden opgespoord door de gemeten waterstanden tijdens droogweerafvoer te vergelijken met de berekende waterstanden. Door meer of minder inloop (per gebied/lozingspunt) te genereren in het rekenmodel kan per meetpunt een schatting worden gemaakt van het extra of tekort aan inloop. Hiertoe dient van bovenstrooms richting benedenstrooms in het rioolstelsel te worden gewerkt. De oorzaak van het tekort of surplus aan volumebeslag kan van velerlei aard zijn (instroom grondwater, illegale aansluitingen, ontbrekende verbindingen, extra verbindingen, slibafzettingen etc.).

#### **6.2 Neerslag, geen interne/externe overstorting (RWA)**

Het meten van de effecten van neerslaggebeurtenissen die niet tot een overstorting leiden kunnen informatie verschaffen over:

- de totale waterbalans van het systeem, waarbij een redelijke schatting kan worden gemaakt van de betrouwbaarheid van het inloopmodel en/of de inventarisatie van het afvoerend oppervlak;
- het verloop van de vulling van het stelsel waarbij een indruk wordt verkregen over het mogelijke knelpunten in het systeem in de vorm van obstakels, dichtgeslibde leidingen etc.

Om meer inzicht te krijgen in de grootte van het afvoerend oppervlak en invloed van inloopeffecten kan de waterbalans voor neerslag worden toegepast, voor gebeurtenissen die niet tot een interne/externe overstorting hebben geleid. De balans kan worden toegepast op een enkele of een serie opeenvolgende neerslaggebeurtenissen. De waterbalans voor droogweer dient hiertoe te worden uitgebreid met de termen  $Q_{\text{uit}}$ ,  $N$  en  $Q_{\text{opp}}$ .

$$Q_{\text{inloop}} + Q_{\text{dwa}} + Q_{\text{in}} \pm Q_{\text{lek}} + Q_{\text{opp}} - Q_{\text{uit}} = \text{sluitfout}$$

Voor de toepassing van deze waterbalans gelden de volgende uitgangspunten:

- a Over de te analyseren periode wordt geen afvalwater geborgen ( $dV=0$ ). Dit betekent dat de waterstand bij de start van de te beschouwen periode gelijk moet zijn aan de waterstand op het einde van de te beschouwen periode. Op deze wijze wordt een eventuele fout als gevolg van een afwijking in de berging uitgesloten.
- b De termen  $Q_{\text{dwa}}$ ,  $Q_{\text{in}}$  en  $Q_{\text{lek}}$  dienen voldoende nauwkeurig bekend zijn. De eventuele afwijking hierin werkt namelijk door in de waterbalans, waardoor de kans bestaat dat er verkeerde conclusies worden getrokken. Tijdens regenweeromstandigheden is het immers niet duidelijk of een ogenschijnlijk tekort of surplus aan water gerelateerd is aan de neerslag, grondwater of afvalwater.
- c Het intreden van oppervlaktewater dient te zijn uitgesloten. Langdurige instroom van oppervlaktewater (bijvoorbeeld als gevolg van een gat in de overstortmuur of beekdoorvoer via het rioolstelsel) kan worden herleid via analyse van de droogweerbilans.

72 |

#### *Afvoerend oppervlak*

Stel ter schatting van het gemiddeld afvoerend verhard oppervlak de waterbalans op voor de gehele meetreeks met uitzondering van de dagen waarop een overstortingsgebeurtenis heeft plaatsgevonden. Hanteer hiervoor de meetgegevens van neerslag, de waterstand(en), verpompte volumens en eventuele injecties.

Juist die buien die niet tot een overstorting leiden zijn interessant voor het bepalen van de afvloeiingscoëfficiënt tijdens significante neerslagperiodes. De eventuele (meet)onnauwkeurigheid in het totaal overstortingsvolume wordt dan namelijk uitgeschakeld.

Stel de balans op over de neerslagperiode, waarin (net) geen overstortingsgebeurtenis is opgetreden, waarin de waterstand na een verhoging weer is teruggezakkt tot DWA-niveau. Voor deze periode geldt dat de hoeveelheid verpompt water gelijk is aan de inloop gedurende deze periode, ofwel het geborgen volume  $\Delta V = 0$ .

Ga voor de theoretische regenweerafvoer van de onderbemalingsgebieden uit van de theoretische pompowercapaciteit, tenzij meetgegevens bekend zijn. Trek bij het gebruik van meetgegevens, ter voorkoming van dubbel telling, de theoretische droogweerafvoer van het onderbemalingsgebied af van het gemeten debiet. Deze droogweerafvoer is immers al verdisconteerd in de gemeten droogweerafvoer van het hoofdbemalingsgebied.



In tabel 2 is een voorbeeld gegeven van de waterbalans voor neerslag, waarbij de perioden met kans op een overstorting zijn verwijderd. De droogweerbelaasting is hierbij ontleend aan de gemeten maandelijkse droogweerafvoer, zoals deze is afgeleid uit de droogweerbalaans.

Tabel 2: Voorbeeld resultaat waterbalans per maand.

	juni	juli	augustus	september	oktober
neerslag (m <sup>3</sup> )	+ 114.600	+ 60.900	+ 62.000	+ 116.400	+ 183.700
droogweerbelaasting (m <sup>3</sup> )	+ 136.700	+ 132.500	+ 130.100	+ 147.000	+ 138.600
verpompt volume (m <sup>3</sup> )	- 184.000	- 153.500	- 153.500	- 240.400	- 219.200
verschil (m <sup>3</sup> )	- 67.300	- 41.000	- 38.500	- 23.500	- 103.100
verschil (%)	59%	67%	62%	20%	56%

Uit tabel 2 kan worden afgeleid dat de sluitpost van de balans relatief groot is. Ca. 50-60% van de inloop is niet terug te vinden in het verpompt volume. Dit kan bijvoorbeeld duiden op afwijkingen in het afvoerend verhard oppervlak, de inloopp parameters of meetfouten. Bij een dergelijk resultaat is er dus voldoende aanleiding om de inventarisatie van het verhard oppervlak te herzien en vraagtekens te plaatsen bij de op basis van het rioleringsmodel voorgenomen verbeteringsmaatregelen. Opvallend is het relatief kleine verschil in de maand september. Van deze periode is bekend dat er op verscheidene locaties wateroverlast is geweest als gevolg van een onvoldoende afvoercapaciteit (van het rioelstelsel).

Vermoedelijk is het singelpeil dermate hoog gestegen dat er via één of meerdere overstorten oppervlaktewater is ingestroomd. Door op 'verdachte' locaties ook de buitenwaterstand te meten had hier meer zekerheid over kunnen worden verkregen. Een andere mogelijkheid is dat door de aanhoudende regenval onverhard oppervlak tot afstroming is gekomen.

Via het opstellen van een waterbalans op maandbasis wordt een eerste globale indruk gekregen van eventuele afwijkingen in de inloop c.q. het afvoerend oppervlak. Echter buien met geringe neerslag en/of een lage neerslagintensiteit hebben normaal gesproken een relatief hoog neerslagverlies als gevolg van berging op straat e.d. Aangezien dergelijke buien vaker voorkomen dan kortdurende hevige buien beïnvloeden deze het resultaat van de maandbalans. Om deze reden is het opstellen van een waterbalans voor neerslaggebeurtenissen, die net niet tot een overstorting leiden wenselijk.

Het principe van de balans blijft hetzelfde, alleen het tijdvak is korter en specifieke aandacht is vereist voor het begin- en eindtijdstip van de periode. De waterstand moet aan het einde van de in beschouwing te nemen periode namelijk weer zijn teruggezakt tot eenzelfde hoogte als bij het begin teneinde te voorkomen dat geborgen water de balans beïnvloedt. Omdat het praktisch slecht haalbaar is het afvoerend oppervlak af

te leiden voor neerslaggebeurtenissen die wel tot een overstortingsgebeurtenis leiden, zijn de buien waarbij de waterstand is gestegen tot nabij het drempelpeil het meest representatief. Het is te verdedigen dat het afgeleid afvoerend (verhard) oppervlak voor deze gebeurtenissen nadert tot het afvoerend oppervlak wat zou worden afgeleid voor gebeurtenissen die net wel tot een overstortingsgebeurtenis leiden.

#### *Inloop*

De modellering van de inloop van neerslag in een rioolstelsel is volgens de huidige methoden gerelateerd aan de typering en helling van het afvoerend (verhard) oppervlak dat via een net van Thiessen polygonen wordt toegedeeld aan de knooppunten van een stelsel. Deze automatische toedeling van oppervlakken is niet in alle gevallen voldoende nauwkeurig. Met name de afvoerpunten van parkeerterreinen en grotere gebouwen (kerken, bedrijven e.d.) moeten soms handmatig worden bijgesteld.

74 |

Er is discussie over de bruikbaarheid van het C2100 inloopmodel. De mogelijkheden van het model zijn aanzienlijk ruimer dan de traditionele benadering met afvloeingscoëfficiënten (waarde tussen 0 en 1) voor verhard en onverhard oppervlak. *Het opmerkelijke van deze discussie is dat de beoordeling van het inloopmodel vaak nog ver vooruit loopt op een degelijke inventarisatie van het afvoerend oppervlak.* Ervaring op doen in meerdere projecten is nodig om de waarde van het inloopmodel goed te kunnen beoordelen.

In C2100 zijn default-waarden gegeven voor de verschillende processen van het inloopmodel. Aan de hand van metingen kan een poging worden gedaan om de inloopparameters nauwkeuriger te schatten. Daarbij is het belangrijk dat het aangesloten oppervlak en de bijbehorende kenmerken nauwkeurig zijn geïnventariseerd.

De inloop van een rioolstelsel kan in de praktijk niet rechtstreeks worden gemeten. Er is altijd een vertaalslag nodig via de registratie van de vulling van het stelsel. Ook in dit verband is een nauwkeurig beeld van de DWA-belastingen noodzakelijk om (het verloop van) de inloop van neerslag als sluitpost in een waterbalans te kunnen schatten.

Het is waarschijnlijk dat het C2100 model tekortkomingen heeft, waardoor het proces van neerslag tot rioolinloop onvoldoende nauwkeurig wordt beschreven. Dit kan een beperking zijn, waardoor bij het schatten van inloopparameters niet de gewenste nauwkeurigheid wordt bereikt. Het C2100 model zal dan uiteindelijk moeten worden bijgesteld. Daarbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat een verfijning van in het inloopmodel dan gepaard zal gaan met de noodzaak van inventariseren van aanvullende basisgegevens van het afvoerend oppervlak.

### *Intreden van oppervlaktewater*

Aangezien de dynamiek in een rioolstelsel groter is dan in het oppervlaktewater, mag worden verondersteld dat bij het niet in werking treden van de overstorten de buitenwaterstand nog zodanig laag is dat deze niet leidt tot instroom van oppervlaktewater in het rioolstelsel.

### **6.3 Neerslag, wel overstorting (RWA+)**

Het meten van overstortingen kan informatie leveren met betrekking tot:

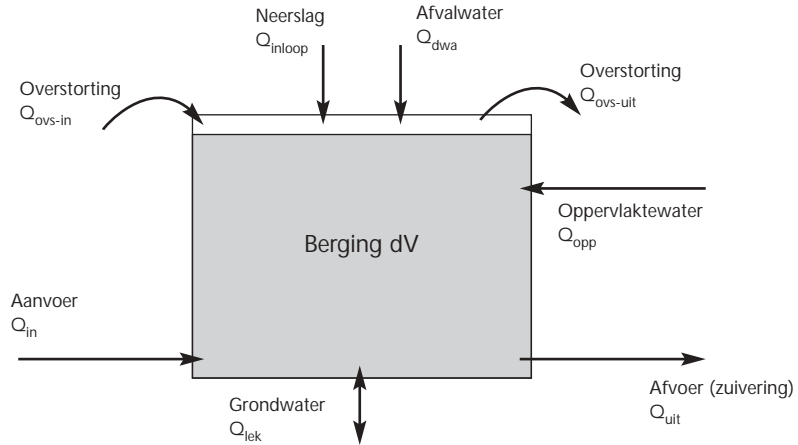
- het hydraulisch functioneren van het volledige systeem omdat de structuur van het stelsel en de capaciteit van het leidingensysteem significant worden belast;
- de inloop van neerslag in meer extreme neerslagomstandigheden, waarbij bijvoorbeeld de afstroming van neerslag van onverhard oppervlak een relevante rol kan gaan spelen.

| 75

Na de inloop van neerslag in het systeem is het functioneren van overstorten de op 1 na belangrijkste factor in de waterbalans. Een nauwkeurige meting van het functioneren van de overstorten is daarom belangrijk. In een systeem met meerdere drempels op meerdere niveau's kan het meten van de werking van alle overstorten een belangrijk inzicht geven in het totale functioneren van het stelsel. Het reproduceren van de werking van de overstorten in een dergelijk systeem kan worden beschouwd als een belangrijk gegeven in de beoordeling van de nauwkeurigheid van het rekenmodel. Overstortingsgebeurtenissen waarbij geen water op straat voorkomt hebben hierbij de voorkeur omdat anders een extra ruisterm wordt geïntroduceerd.

De modelparameters van de overstorten in een rekenmodel kunnen worden bijgesteld op basis van de resultaten van een kalibratieproef. Het bijstellen van deze parameters is niet de belangrijkste reden voor het kalibreren van een overstort. Een overstort wordt primair gekalibreerd om een relatie te kunnen leggen tussen het overstortende debiet en de overeenkomstige waterhoogte boven de overstortdrempel.

Bijzondere aandacht dient ook te zijn gericht op buitenwaterstanden boven het peil van de overstortdrempels. Vaak reageert een oppervlaktewatersysteem trager dan een rioolsysteem. Om de werking van de overstorten voldoende nauwkeurig te benaderen is het toch vaak raadzaam om het oppervlaktewatersysteem mee te nemen in de modellering van het rioolsysteem.



Figuur 21: Waterbalans tijdens overstorten (RWA+).

In het geval van een overstortingsgebeurtenis wordt de waterbalans uitgebreid met een extra termen: berging in het rioolstelsel  $dV$  en overstortingsvolume  $Q_{\text{ovs-uit}}$  en  $Q_{\text{ovs-in}}$ .

$$Q_{\text{inloop}} + Q_{\text{dwa-in}} + Q_{\text{in}} \pm Q_{\text{lek}} + Q_{\text{opp}} - Q_{\text{ovs-uit}} + Q_{\text{ovs-in}} - Q_{\text{uit}} = \text{sluitfout}$$

Voor het gebruik van de waterbalans geldt dat het overstortingsvolume van elke overstortput met een voldoende nauwkeurigheid moet worden gemeten om zinnige uitspraken te kunnen doen omtrent het afvoerend oppervlak en de inloop van neerslag. Voor de analyse van overstortingsfrequentie en -duur, de verdeling van de overstortende volumens per locatie en de tijdstippen waarop de verschillende overstorten aanspringen is een nauwkeurige meting van het overstortingsdebiet minder relevant.

### Overstortingsfrequentie en overstortingsduur

Bij de interpretatie van de meetgegevens dient er rekening mee te worden gehouden dat de theoretisch gemiddelde overstortingsfrequentie en overstortingsduur veelal wordt bepaald uit een meerjarige tijdreeks van 10 of 25 jaar. Het in absolute zin vergelijken van de over een beperkte periode (2-5 jaar) gemeten overstortingsfrequentie en overstortingsduur met het theoretisch gemiddelde is derhalve het vergelijken van appels met peren. De overstortingsfrequentie kan namelijk van jaar tot jaar aanzienlijk verschillen, afhankelijk van het neerslagpatroon. Uiteraard kan na 2 jaar wel worden vastgesteld of er forse afwijkingen optreden en nader onderzoek gewenst is. De meer zuivere vergelijking is de theoretische overstortingsfrequentie en overstortingsduur te ontleen aan een modelberekening met als input de over dezelfde periode gemeten neerslag. Voor een vergelijking in relatieve zin kan worden volstaan

met de meetopzet en een korte meetduur (ca. 2-5 jaar). Afwijkende werking van overstorten dient in dit geval te worden beschouwd ten opzichte van de gemiddelde afwijking van alle bemeten overstorten.

Een treffend praktijkvoorbeeld van het nut van eenvoudige metingen is de opgetreden situatie waarin in een vlak gebied, bestaande uit twee, via een zinkerconstructie, met elkaar verbonden rioleringsdistricten de gemeten overstortingsfrequentie aanzienlijk verschilde. Ondanks het feit dat alle externe overstortdrempels op dezelfde hoogte waren gebracht, bedroeg de overstortingsfrequentie in het ene gebied 1x per jaar en in het andere gebied 5x per jaar. Het vermoeden dat de verbindende zinker dichtgeslibt was, werd hiermee bevestigd. Nadat de zinker was schoongemaakt functioneerde het systeem weer als twee communicerende vaten en bedroeg de overstortingsfrequentie voor beide delen slechts eenmaal per jaar.

| 77

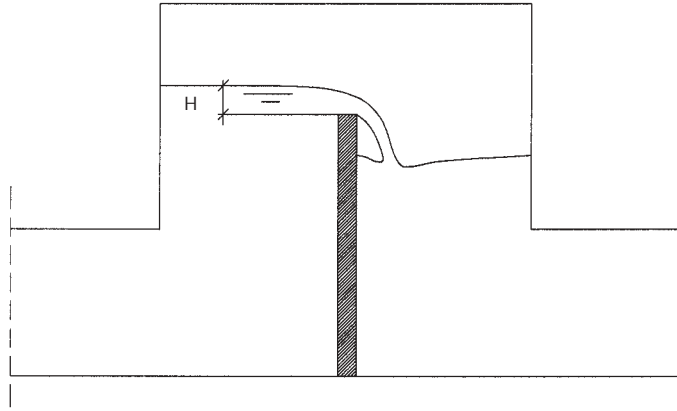
### Verdeling van overstortende volumens per locatie

Vanuit praktische en financiële overwegingen wordt het kalibreren van overstortdrempels veelal achterwege gelaten. Dit betekent dat dient te worden volstaan met een ruwe schatting van het overstortingsvolume op basis van de formule voor korte overlaten:

$$Q = m \cdot 1,7 \cdot b \cdot h^{1,5} \quad (1)$$

waarin

m = 0,8	afvoercoëfficiënt (waarde afhankelijk van de uitvoering van de drempel) (-)
b	drempelbreedte (m)
H	energiehoogte boven drempel (m) (waterstand ca. 4xH bovenstrooms drempel)
Q	overstortingsdebiet (m <sup>3</sup> /s)



Figuur 22: Volkomen overlaat.

De energiehoogte  $H$  is gelijk aan de dikte van de overstortende straal + de snelheidshoogte  $v^2/2g$ . Op een kleine afstand ( $4 \times H$ ) bovenstrooms van de drempel in de overstortput, is de snelheid en daarmee de snelheidshoogte sterk gereduceerd. Hier nadert de waterstand de energiehoogte. Dit is de maatgevende waterstand in de overstortput (RIONED, 2002).

In de praktijk komt het vaak voor dat waterstandmeters, omwille van de beperkte beschikbare ruimte en toegankelijkheid, worden bevestigd aan de overstortmuur. Voor een dergelijke meetopzet geldt dat wel de waterstand wordt gemeten, maar niet de snelheidshoogte. Het zondermeer hanteren van de formule voor korte overlaten leidt dan tot een onderschatting van het overstortingsdebiet, waarop dient te worden gecorrigeerd.

In het geval van een volkomen overlaat geldt ter plaatse van het overstortmes  $h = 2/3H$ , ofwel  $H = 3/2h$ , waarbij  $h$  de dikte is van de overstortende straal en  $H$  de waterstand ca.  $4 \times H$  bovenstrooms van de overstortdrempel. Substitutie van  $h$  in formule 1 leidt tot formule 2.

$$Q = m \cdot 1,7 \cdot b \cdot (1,5h)^{1,5} \quad (2)$$

ofwel  $Q = m \cdot 3,1 \cdot b \cdot (h)^{1,5} (\text{m}^3/\text{s})$

waarin  $h$  de waterstand is gemeten ter plaatse van de overstortdrempel.

De invloed van de maximum mogelijke fout is geïllustreerd in tabel 3. In deze tabel is het overstortingsvolume berekend op basis van de gemeten waterstand ter plaatse van de overstortdrempel (overstortende straal h) met gebruikmaking van de in dit geval onjuiste formule 1 en formule 2, die beter overeenkomt met gemeten situatie. De breedte van de overstortdrempel bedraagt 5 meter en de afvoercoëfficiënt wordt aangenomen op 0,8.

Tabel 3: Voorbeeld mogelijke fout in berekening overstortingsvolume uit meetgegevens.

h (m)	tijd interval (min)	Q1 volgens formule1 (m <sup>3</sup> /s)	Q2 volgens formule2 (m <sup>3</sup> /s)	V1 volgens formule1 (m <sup>3</sup> )	V2 volgens formule2 (m <sup>3</sup> )	Volume verschil (m <sup>3</sup> )
0,03	15	0,035	0,064	32	58	26
0,10	5	0,215	0,392	64	118	54
0,20	10	0,608	1,109	365	665	300
0,30	3	1,117	2,038	201	367	166
0,40	2	1,720	3,137	206	376	170
totaal	20			868	1584	716

Tabel 3 illustreert dat de onderschatting maximaal 45% bedraagt (afhankelijk van de kromming van de overstortende straal) indien ten onrechte gebruik wordt gemaakt van formule 1. In de meeste waterstandmeters is formule 1 ingebouwd. Indien dergelijke meetapparatuur rechtstreeks wordt aangebracht ter plaatse van de overstortdrempel en niet in een stijgbuis waarin de snelheidshoogte wordt omgezet in drukhoogte, dient het berekende overstortingsvolume te worden berekend volgens formule 2.

Uit voorafgaand voorbeeld komt duidelijk naar voren dat het meten van overstortende volumens met niet gekalibreerde overlaten al snel tot aanzienlijk fouten kan leiden, enerzijds vanwege de locatie van de sensor en anderzijds vanwege de onbekende overlaatcoëfficiënt. Bij de analyse van het functioneren dient hiermee rekening te worden gehouden.

De verdeling van het overstortende volumen per locatie geeft een indruk van de wijze waarop een rioolstelsel reageert op verschillende neerslagbelastingen. Uit tabel 4 blijkt dat de verdeling van het overstortingsvolume per locatie sterk kan variëren, afhankelijk van de opbouw van de neerslaggebeurtenis.

Tabel 4: Voorbeeld verdeling overstortingsvolumes per locatie, simulatie met bui06, bui08 en bui08 met voorvulling (vv).

Gebied	Bui 06	%	Bui 08	%	Bui 08 vv	%
Vijversysteem	1592	80	3051	35	7700	28
Haven	0	0	4991	58	14801	54
Zuid	0	0	0	0	708	3
Noord	0	0	0	0	3247	12
Onderbemalen	399	20	562	6	891	3

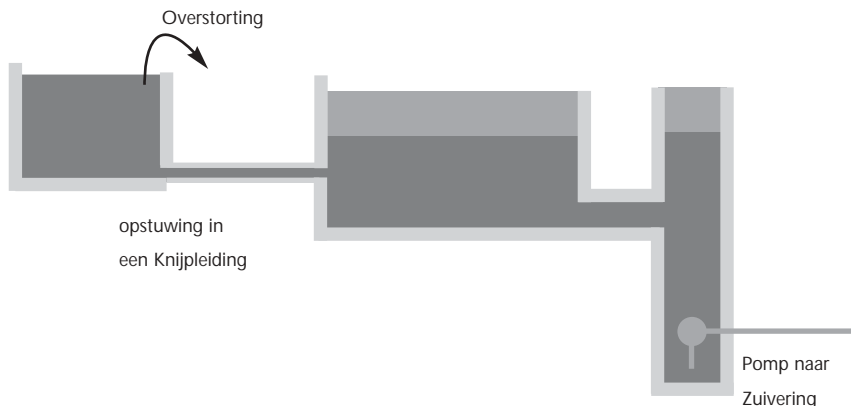
Door de gemeten neerslagreeks door te rekenen wordt inzicht verkregen in de verdeling van het overstortingsvolume per locatie. Indien de berekende verdeling significant afwijkt van de 'gemeten' verdeling dan levert dit informatie op omtrent het functioneren van de riolering en de potentiële locaties van eventuele randvoorzieningen. Als mogelijke oorzaken van de geconstateerde afwijking(en) kan worden gedacht aan: (deels) verstopte zinkerconstructies, onbekende knijpconstructies, ontbrekende verbindingen, verkeerde buisdiameters, omvangrijke injecties, afwijkingen in het afvoerend verhard oppervlak etc. Uiteraard spelen ook mogelijke meetfouten een rol, een gevouwen overstortdrempel heeft bijvoorbeeld een andere overlaatcoëfficiënt dan een rechte overlaat. Enkele onjuist gemeten centimeters hoogteverschil in overstortdrempels kunnen in vlakke gebieden aanzienlijk doorwerken in het resultaat.

Net als bij de overstortingsfrequentie en overstortingsduur geldt dat, gezien de betrekkelijk korte meetduur, het vergelijken van meetresultaten met de theoretische uitkomst van de standaard neerslagreeks van 10 of 25 jaar feitelijk onjuist is. Het doorrekenen van de gemeten neerslagreeks geniet sterk de voorkeur.

#### *Tijdstip waarop de overstorten aanspringen*

Het tijdstip waarop de verschillende overstorten aanspringen is waardevolle informatie, die met een hoge nauwkeurigheid kan worden vastgelegd. Overstorten die eerder aanspringen dan in theorie wordt berekend duiden o.a. op een onvoldoende afvoercapaciteit en/of een niet evenwichtige balans in het afvalwatersysteem. Zo leidt een onderbemalingsgebied met een fors lager dan in theorie veronderstelde capaciteit tot het eerder aanspringen van overstorten in het eigen gebied en met als mogelijk gevolg het later aanspringen van overstorten in het hoofdbemalingsgebied.





Figuur 23: Verschil in tijdstip aansprngen van overstortputten door opstuwung.

#### *Intreden van oppervlaktewater*

De invloed van de buitenwaterstand op het functioneren van het rioolstelsel is alleen te achterhalen indien de gemeten buitenwaterstand(en) worden opgenomen in het rioleringsmodel en de betreffende neerslaggebeurtenis wordt doorgerekend. Het verschil in bijvoorbeeld het optreden van water op straat met en zonder invloed van de buitenwaterstand in vergelijking met de waargenomen water op straat situaties geeft een indruk van de mogelijk invloed. Om ook andere situaties te kunnen doorrekenen dient het rioleringsmodel te worden uitgebreid met (een gedeelte van) het oppervlaktewatersysteem.

#### **6.4 Berging en opstuwung in rioolstelsel**

Door de bergings-hoogte relatie af te leiden uit de meetgegevens kan worden herleid of er een tekort of surplus aan bergingsinhoud aanwezig is en in welk segment zich dit eventueel bevindt.

In het geval er over de gehele verticaal een afwijking is kan dit bijvoorbeeld zijn gereleateld aan de onnauwkeurigheid van de debietmeting en/of onjuiste putafmetingen (bijvoorbeeld rond i.p.v. vierkant).

Indien in een vlak gebied de afwijking zich met name in het bovenste verticale traject bevindt is een mogelijke verklaring de bijdrage van berging in huis- en kolkaansluitingen.

Uitgaande van een gemiddelde buisdiameter en hoogteligging voor huis-, kolk- en regenpijp- aansluitleidingen kunnen deze worden geschematiseerd tot één of meerdere riolen, die eenvoudig in het rekenmodel kunnen worden opgenomen. Een eerste ver-

gelijking van de gemiddelde aansluithoogte van de aansluitleidingen in relatie tot de drempelhoogte is voldoende om in te schatten in hoeverre er sprake kan zijn van dergelijke extra bergingsinhoud.

In Tabel 5 is een voorbeeld gegeven van een kleine woonwijk, waarbij een globale inventarisatie is uitgevoerd naar de hoogteligging en dimensionering van de (particuliere) aansluitleidingen. De aansluitleidingen en een gedeelte van de kolken en putten zijn gelegen beneden de drempelhoogte en dragen derhalve bij aan de bergingsinhoud.

Tabel 5: globale berekening extra berging in aansluitleidingen en kolken (vlak gebied).

Bemalingsgebied Dorp-Oost					
verhard oppervlak	3,6	ha	drempelhoogte	0,5	m-mv
aantal woningen	182		maaiveldhoogte	-1,4	m NAP
aantal schuurtjes/garages	95		diepte kolk	0,65	m-mv
aantal kolken	172		aansluithoogte leiding	0,6	m-mv
			aansluithoogte op riool	1	m-mv
				diameter	
regenwaterleiding per woning	15	m	1x achterkant	125	mm
huisaansluitleiding per woning	5	m	1x voorkant	160	mm
regenwaterleiding per schuurtje	15	m	1x	125	mm
kolkaansluitleiding per kolk	3	m	1x	125	mm
diameter kolk	315	mm			
putbodem t.o.v. drempelniveau	0,15	m			
putberging in kolk	0,01	m <sup>3</sup>	subtotaal	2	m <sup>3</sup>
leidingberging per woning	0,28	m <sup>3</sup>	subtotaal	52	m <sup>3</sup>
leidingberging per schuurtje	0,18	m <sup>3</sup>	subtotaal	17	m <sup>3</sup>
leidingberging per kolk	0,04	m <sup>3</sup>	subtotaal	6	m <sup>3</sup>
			Totaal extra berging	78	m <sup>3</sup>
				2,2	mm

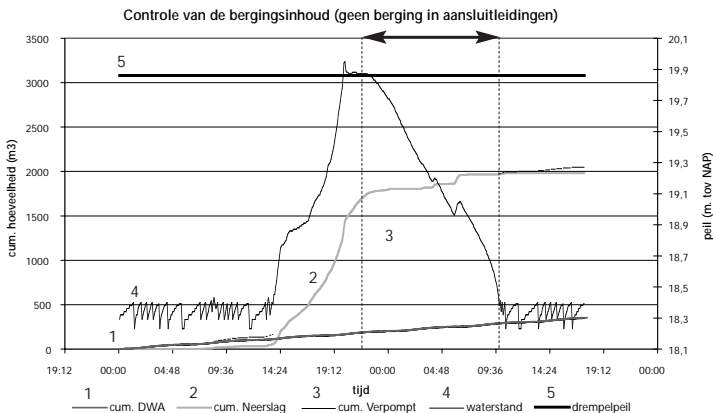
Voor de bepaling van de bergingsinhoud zijn er in principe twee mogelijkheden:

- 1 meting vulling van het stelsel door de DWA-productie (pomp uit)
- 2 meting lediging van het stelsel uit de verpompte hoeveelheden (pomp aan).

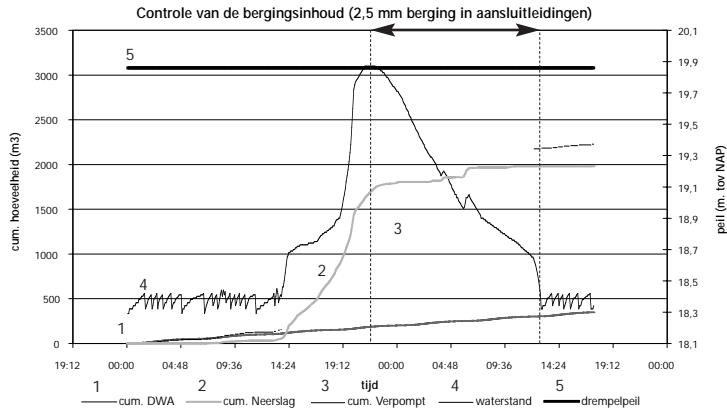
Tijdens droogweer kan de berging berekend worden door het gemaal af te zetten en het waterstandsverloop in het stelsel te registreren. Bij het bereiken van een waterstand tot aan de overstortdrempel dient het gemaal weer in werking te worden gesteld. Indien de afvalwaterproductie uit historische registraties bekend is kan de werkelijke berging teruggerekend worden. Hierbij dient overigens wel rekening te worden gehouden met verschillen in aanvulling tijdens de verschillende momenten op een dag. Wel dient vóór dit type metingen overeenstemming te worden bereikt met de waterbeheerder.

Een andere methode ter bepaling van de bergingsinhoud bestaat uit het berekenen van de verpompte hoeveelheid afvalwater (na een bui) over een periode waarbij de waterstand zakt van de laagstgelegen overstortdrempel tot aan DWA-niveau en er geen neerslag (meer) valt. Indien de afvalwaterproductie uit historische registraties bekend is kan de werkelijke berging teruggerekend worden uit het verpompte volume minus de DWA-productie en injecties van onderbemaalingsgebieden. Zoek hiertoe uit de gemeten reeks van waterstanden en neerslag één of meerdere korte intensieve buien (bijvoorbeeld onweersbuien) die tot een flinke verhoging van de waterstand in het rioelstelsel hebben geleid danwel tot een overstortingsgebeurtenis hebben geleid.

Figuren 24 en 25 tonen een voorbeeld waarbij de bergingsinhoud is afgeleid uit het waterstandsverloop na afloop van een intensieve bui. In figuur 24 is er sprake van een rioelstelsel met 8 mm leidingberging, terwijl in figuur 25 hier 2,5 mm leidingberging aan is toegevoegd in de bovenste verticaal van 20 cm onder het drempelpeil. Het geïnventariseerd afvoerend verhard oppervlak bedraagt 9,3 ha.



Figuur 24: Controle van de bergingsinhoud rioelstelsel met 8 mm berging.



Figuur 25: Controle van de bergingsinhoud rioolsysteem met 2,5 mm berging extra in aansluitleidingen.

Tabel 6: Afleiding van de totale bergingsinhoud op basis van de waterbalans.

	berging = 8 mm			berging = 8 + 2,5 mm		
	begin	eind	verschil	begin	eind	verschil
neerslag	1800	2000	+ 200	1800	2000	+ 200
verpompt volume	900	2000	- 1100	900	2200	-1300
DWA	200	300	+ 100	200	300	+ 100
verschil in m3			- 800			- 1000
verschil in mm			8,6			10,8

Omdat er gedurende de daling van de waterstand nog enige neerslag is gevallen is deze als extra post in de balans verdisconteerd. De eventuele inloopverliezen die zijn opgetreden gedurende de periode waarover de balans is opgesteld introduceren een geringe extra onzekerheid. Uit tabel 6 kan worden opgemaakt dat het verschil in bergingsinhoud tot uiting komt in de balans, met dien verstande dat voor beide situaties de bergingsinhoud groter is dan de theoretische bergingsinhoud. Dit is het gevolg van de berging in putten, die doorgaans niet wordt meegeteld in de bergingsterm.

Een goede manier om na te gaan of de berging in huis- en kolkaansluitingen significant aanwezig is, is om na te gaan over welk gedeelte van de berging-hoogte relatie van het rioolstelsel er een systematische afwijking aanwezig is tussen gemeten leegpompsnelheid en gemodelleerde leegpompsnelheid (gemeten als snelheid van de daling van het waterpeil). Als in een vlak stelsel de leegpompsnelheid alleen in een traject tussen maaiveld en circa 1 m onder maaiveld afwijkt dan is de aanwezigheid van extra berging in dit traject waarschijnlijk.

Naarmate de onzekerheid in aanvoer van injecterende gebieden groter is neemt de nauwkeurigheid van een dergelijke bepaling af. De berekeningsmethode is daarom met name geschikt voor rioleringsgebieden zonder onderbemaling.

#### *Stuwring*

De hoeveelheid opgestuwd afvalwater in een rioolstelsel kan worden geschat uit de optredende verhanglijn tussen de bovenstrooms op strategische locaties gemeten waterstanden en de waterstand ter plaatse van de laagstgelegen overstortdrempel. De meest eenvoudige methode is uit de bergings-hoogte relatie de bergingsinhoud te bepalen tussen de bovenstroomse waterstand (op het moment dat de laagste overstortdrempel niet meer loost) en de laagste drempelhoogte.

### **6.5 Hydraulische afvoercapaciteit**

Het meten van 'water op straat' zal in de praktijk vaak gebaseerd zijn op waarnemingen van bewoners. De profilering van het maaiveld is een belangrijke factor omtrent de mate waarin overlast als hinderlijk of schadelijk wordt ervaren.

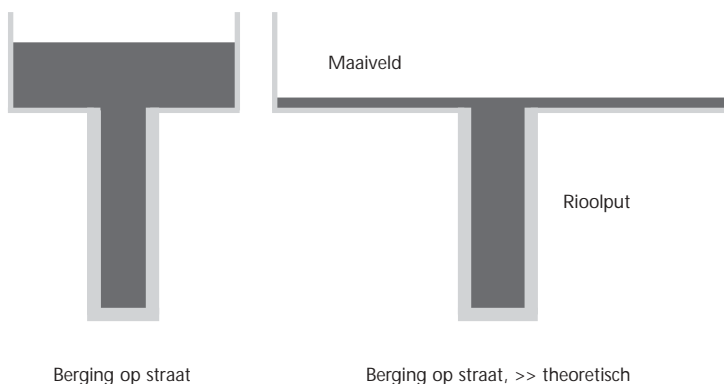
| 85

In de gangbare rekenmodellen zijn mogelijkheden voor de modellering van 'water op straat' beperkt. In principe wordt onderscheid gemaakt in:

- vasthouden van water in een bergingsreservoir op straat, waarbij het geborgen water terugstroomt naar de riolering;
- uittreden van water op straat als lozingspunt uit het systeem;
- opbouwen van een waterdruk, vooral toegepast bij geknevelde putdeksels.

Een toegesneden modellering van afstroming van water via het straatoppervlak ontbreekt nog in de meeste modellen. De nauwkeurigheid van simulaties waarin water op straat wordt berekend is daarom relatief klein. Ook hier geldt dat er situaties kunnen zijn dat de afstemming tussen model en werkelijkheid niet kan worden bereikt zonder aanpassingen aan het model.

Bij het rekenen met berging van water op straat wordt (ook door ervaren rekenaars) vaak een aanname gedaan voor het bergend straat oppervlak, gerelateerd aan de grootte van het afvoerend oppervlak. In systemen die gevoelig zijn voor water op straat kunnen dan waterstanden tot 50 cm boven maaiveld worden berekend, afhankelijk van het oppervlak dat toevallig op een dergelijk knooppunt is aangesloten.



Figuur 26: Berging op straat (vasthouden).

Het is een misverstand dat een dergelijke benadering van het bergend straatoppervlak een bijdrage zal leveren aan de nauwkeurigheid van een simulatie. Het verdient aanbeveling dit oppervlak onevenredig groot te kiezen omdat een opbouw van water op straat van meer dan een paar cm doorgaans onwaarschijnlijk is.

#### *Water op straat*

Het meten van waterstanden in gebieden die gevoelig zijn voor 'water op straat' is een voor de hand liggende optie die toch niet zinvol is. Een goede klachtenregistratie is goedkoper en effectiever.

Water op straat wordt in principe veroorzaakt door een beperkte afvoercapaciteit van leidingen naar de overstorten van het systeem maar kan ook worden veroorzaakt door verstopte kolken. Het water zoekt daarbij de weg van de minste weerstand. In de afvoertrajecten tussen de water op straat locaties en de relevante overstorten kunnen (tijdelijke) meetpunten worden geplaatst om de afvoercapaciteit van het systeem te controleren. Daarbij is het ook nog mogelijk dat 'water op straat' wordt veroorzaakt door obstakels of vuilophoping in belangrijke afvoerleidingen.

In de praktijk komt het vaak voor dat water op straat wordt berekend op plaatsen waar dit voor de gemeente niet bekend is. Het is ook bekend dat 'water op straat' in vlakke gebieden een aanzienlijk kleiner probleem is dan in hellende gebieden. Bij het waarnemen van 'water op straat' is inzicht in het bergen en afstromen van neerslag via het maaiveld noodzakelijk. In lokale laagten in het gebied zal de overlast groter zijn en aanzienlijk sneller optreden dan in vlakkere gebieden.

Voor het controleren van de capaciteit van het rioelstelsel dient de aandacht te worden gericht op de gebeurtenissen die wel tot overstorting komen en nog (net) geen 'water

op straat' geven. De waterbalans van het systeem wordt dan overheerst door de bijdrage van de overstorten die daarom ook voldoende nauwkeurig moeten worden gemeten.

#### *Hydraulisch verhang*

Uit de op strategische locaties gemeten waterstanden kan voorafgaand aan het optreden van water op straat de hydraulische verhanglijn worden geanalyseerd. Indien deze in de praktijk een duidelijke knik vertoont dan is dit een aanwijzing voor de mogelijke aanwezigheid van een obstructie.

#### *Voorvulling*

Het effect van voorvulling is te berekenen door de gemeten neerslaggebeurtenis te simuleren met en zonder voorvulling. De overeenstemming tussen de theoretisch berekende water op straat locaties en de in praktijk waargenomen knelpunten geeft uitsluitsel over het mogelijk effect van voorvulling. In het geval van frequent optredende wateroverlast, die een sterke relatie heeft met voorvulling is het zinvol te analyseren in hoeverre het rioolstelsel voldoende snel wordt geledigd. Dit is eenvoudig mogelijk door de ledigingstijd uit te rekenen na het einde van een neerslaggebeurtenis.

| 87

#### *Buitenwaterstand*

In de meer extreme situaties (zeer langdurige neerslag) of bij lozing van overstorten met sterk fluctuerende waterstanden (bijvoorbeeld een rivier) of retentievijvers zonder overlaat, kan de buitenwaterstand de mogelijke oorzaak zijn van het optreden van water op straat. Als gevolg van opstuwing voeren de overstorten minder water af dan in theorie wordt verondersteld (volkomen werking) waardoor de hydraulische afvoercapaciteit wordt beperkt. Opname van de gemeten buitenwaterstand of het simuleren van een hoge buitenwaterstand in het rekenmodel geeft een indruk van de mogelijke invloed van opstuwing op de duur en omvang van water op straat. Afhankelijk van het resultaat van de simulatie kan worden overwogen het rioleringsmodel uit te breiden met een gedeelte van het oppervlaktewatersysteem.

#### *Illegale lozingen*

Het traceren van illegale lozingen gedurende neerslagomstandigheden is vrijwel ondoenlijk. Analyse van (mobiel) gemeten debieten levert wellicht voldoende aanknopingspunten om de locatie en omvang te herleiden richting een verdachte locatie.

### **6.6 Afvoer bijzondere constructies**

Bijzondere constructies zoals wervelventielen, knijpriolen, terugslagkleppen e.d. worden niet altijd in voldoende mate van detail gemodelleerd. In geval van in praktijk optredende wateroverlast zijn dit juist belangrijke punten waar mogelijk winst valt te behalen ten opzichte van de vaak voorgestelde diameterverruiming.

Door de gemeten  $Q-\Delta H$  relatie te vergelijken met de theoretische opgegeven of gesimuleerde  $Q-\Delta H$  relatie blijkt of de bijzondere constructie mogelijk afwijkend opstuwt. Selecteer uit de meetreeks de perioden waarin de waterstand heeft gefluctueerd tussen maaiveld en de onderkant van de constructie. De vergelijking van het gemeten en berekende waterstandsverloop geeft inzicht in de mogelijke afwijking. Elimineer versturende invloeden zoals voorvulling en vertraging door de momenten waarop de waterstand de eerste keer de onderkant van de constructie raakt (zowel in theorie als praktijk) op tijdstip 0 te stellen.

### 6.7 Schatten Inlooppparameters

In deze paragraaf wordt een pragmatische methode beschreven om een eerste schatting te maken van inlooppparameters, gebaseerd op een minimum meetopzet en een vereenvoudigd rioleringsmodel. Met behulp van deze methode wordt een eerste indruk verkregen van de mate waarin de inlooppparameters kunnen afwijken van de standaardwaarden uit Leidraad Riolerings, module C2100.

#### *Meet- en rekenopzet*

Om een indruk te krijgen van de mogelijke variatie in inlooppparameters wordt de inloop gesimuleerd en het berekende waterstandsverloop vergeleken met het gemeten waterstandsverloop. Hiertoe dient op minimaal één locatie de waterstand te worden gemeten in het rioolstelsel, bij voorkeur met een groot meetbereik (bijvoorbeeld 0-4 meter). Daarnaast dient de neerslag te worden gemeten en bij voorkeur ook het verpompte (of onder vrij verval afgevoerde) volume.

De methode is gebaseerd op het doorrekenen van een rioleringsmodel voor alle zinvolle combinaties van inlooppparameters. Omdat dit voor een rioleringsmodel op strengniveau tot zeer lange reketijden kan leiden wordt uitgegaan van een aangepast (vereenvoudigd) model in de vorm van een bakmodel.

Het bakmodel bestaat uit een gedefinieerde bergings-hoogte relatie met daaraan gekoppeld de stelselkenmerken zoals pompcapaciteit, (verdeling van) het verhard oppervlak, injecties, droogweerafvoer en het inloopmodel conform de Leidraad Riolerings, module C2100. Vulling van het bakmodel leidt tot een bepaalde vullingsgraad die via de bergings-hoogte relatie kan worden omgerekend naar de bijbehorende waterstand. Een voorwaarde die hierbij geldt is dat het stelsel als een bak functioneert. Dit betekent dat het verloop van de waterstand op een bepaald meetpunt representatief is voor de rest van het systeem (geen dynamische berging).

In hoeverre het bakmodel in voldoende mate het systeemgedrag van een ongeschematiseerd rioolstelsel beschrijft wordt buiten beschouwing gelaten. Uitgangspunt voor de methode is dat het aangepaste rioleringsmodel voldoet aan de richtlijnen van de Lei-



draad Riolering, module C2100. Dit betekent dat de gesimuleerde waterstand op bak-niveau binnen acceptabele grenzen overeenstemt met de gesimuleerde waterstand op strengniveau voor de standaardbuien.

Als eerste schatter voor de inlooppparameters gelden de default waarden van het inloopmodel uit de Leidraad Riolering, module C2100. Het verschil in gemeten en berekende waterstand met het vereenvoudigde rioleringsmodel geeft een eerste indruk van de mate waarin het gedrag van het rioleringsmodel afwijkt van de praktijk. Let op: de invloed van meetfouten, mogelijke afwijkingen/beperkingen in het rioleringsmodel en de fluctuatie in de droogweerafvoer op het waterstandsverloop wordt buiten beschouwing gelaten.

#### *Schattingsmethode*

De schattingsmethode is gebaseerd op de kleinste kwadratenmethode. Per tijdstap wordt het verschil tussen de gemeten en gesimuleerde waterstand berekend, gekwadeerdeerd en gecumuleerd.

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{n} = \bar{K}$$

*K gemiddeld kleinste kwadraat (m<sup>2</sup>)*

*n = aantal waarnemingen*

*x = gemeten waterstand (m. t.o.v. NAP)*

*y = gesimuleerde waterstand (m. t.o.v. NAP)*

Het totaal verschil is een absolute waarde voor de afwijking tussen de theorie en de praktijk.

---

#### **Opmerking**

Voordat de kleinste kwadratenmethode wordt toegepast is het van belang te corrigeren op een eventuele tijdsverschuiving en niet vergelijkbare koppels te verwijderen. Niet vergelijkbare koppels zijn bijvoorbeeld storingsen en waarnemingen buiten het detectie-interval.

---

De schattingsmethode wordt toegepast op buien, die zijn gedefinieerd als het moment van overschrijding van het DWA-niveau tot het moment van onderschrijding van het DWA-niveau. Per bui wordt voor alle mogelijke combinaties van inlooppparameters de waterstand berekend en vergeleken met de gemeten waterstand. Op deze wijze worden alle mogelijke combinaties van parameters (binnen de fysische grenzen) doorgerekend.

Een voorstel voor de door te rekenen range en stapgrootte is opgenomen in tabel 7. De vetgedrukte inloopparameters zijn naar verwachting het meest bepalend voor de inloop. Met name de afname van de infiltratiecapaciteit speelt een grote rol. In het default inloopmodel zorgt deze er namelijk voor dat de maximum infiltratiecapaciteit vrij snel terugvalt naar de minimum waarde. Zelfs bij zeer hoge opgegeven maximum infiltratiecapaciteiten zorgt de afnamesnelheid voor een relatief gering effect als gevolg van de korte periode waarover de hoge infiltratiecapaciteit beschikbaar is.

Tabel 7: Indicatie range en stapgrootte inloopparameters.

Inloop parameter	Omschrijving	eenheid	default	range	stap
$F_b$	maximum infiltratiecapaciteit	mm/h	0 – 5	0 – 50	1
$F_e$	minimum infiltratiecapaciteit	mm/h	0 – 1	0 – 10	1
$K_a$	afname infiltratiecapaciteit	$h^{-1}$	0 – 3	0 – 30	1
$K_h$	herstel infiltratiecapaciteit	$h^{-1}$	0 – 0,1	0 – 1	0,1
$B_h$	berging op hellend terrein	mm	0 – 2	0 – 10	1
$B_{vu}$	berging op vlak uitgestrekt terrein	mm	0 – 6	0 – 20	1
$B_v$	berging op vlak terrein	mm	0 – 4	0 – 50	1
$A_h$	afstromingsvertraging hellend terrein	$min^{-1}$	0,5	0 – 1	0,1
$A_v$	afstromingsvertraging vlak terrein	$min^{-1}$	0,2	0 – 1	0,1
$A_{vu}$	afstromingsvertraging vlak uitgestrekt terrein	$min^{-1}$	0,1	0 – 1	0,1

Voor het doorrekenen van de mogelijke combinaties neemt het aantal berekeningen drastisch toe naarmate het aantal inloopparameters wat in de berekening wordt betrokken toeneemt. Voor het cyclusgewijs doorrekenen van de vetgedrukte inloopparameters bedraagt het aantal berekeningen ca. 0,5 miljoen. In geval van het doorrekenen van alle inloopparameters bedraagt het aantal berekeningen al gauw 1 biljard! Zelfs bij het gebruik van een eenvoudig bakmodel kunnen rekentijden behoorlijk oplopen, zeker als het aantal te berekenen buien groter wordt.

Toepassing van de kleinste kwadraten-methode per bui levert vervolgens de combinatie van inloopparameters die leidt tot het kleinste kwadraat en hiermee de meest plausible waarden voor de inloop. Door dezelfde exercitie te herhalen voor alle buien wordt een gemiddelde set aan ‘inloopparameters’ verkregen. Het gaat hierbij nadrukkelijk om een schatting van de inloopparameters omdat geen rekening wordt gehouden met afwijkingen in het verhard oppervlak, externe invloeden zoals de eventuele instroom van oppervlaktewater, lekkage, (onbedoelde) uitwisseling van afvalwater met andere gebieden etc.

### *Benodigde software*

Om de schattingsmethode te kunnen toepassen is een minimum vereiste een rioleringsmodel dat in staat is meetwaarden in te lezen en cyclusgewijs diverse combinaties van inlooppparameters door te rekenen en de gesimuleerde waterstand weg te schrijven. Door de gemeten en gesimuleerde waterstand in (bijvoorbeeld) een database te importeren en de kleinste-kwadraten-methode te definiëren bestaat de mogelijkheid uit te rekenen welke set van inlooppparameters leidt tot het kleinste kwadraat.

Een voorbeeld van de toepassing van de schattingsmethode is in de bijlagen opgenomen.

## 7 Kalibreren modelparameters

In dit hoofdstuk wordt een methode beschreven om onderdelen van het rioleringsmodel te kalibreren en valideren aan de hand van praktijkmetingen. Deze methode vereist een minimum meetopzet, meetdichtheid en meetfrequentie teneinde onzekerheden te kunnen terugbrengen tot een acceptabel niveau. De benodigde hoeveelheid arbeid, tijd en kosten om het rioleringsmodel te kunnen kalibreren kan echter, afhankelijk van de situatie, behoorlijk oplopen. Om deze reden is het wenselijk vooraf een inschatting te kunnen maken van het nut en noodzaak van een dergelijke exercitie.

Kalibratie van het rioleringsmodel leidt tot de meest vergaande reductie van onzekerheden in het modelresultaat. Het kalibreren geeft een beter inzicht in de volgende aspecten van een rioleringsmodel:

92 |

- Een zo nauwkeurig mogelijke schatting van de meest relevante modelparameters.
- De kwaliteit van de onderliggende gegevens (zowel 'vaste database' als de kwaliteit van de meetgegevens).
- De overblijvende zwakke plekken in de modellering, waarbij vooral ontbrekende processen in het model een belangrijke oorzaak kunnen zijn van verschillen tussen theorie en praktijk.

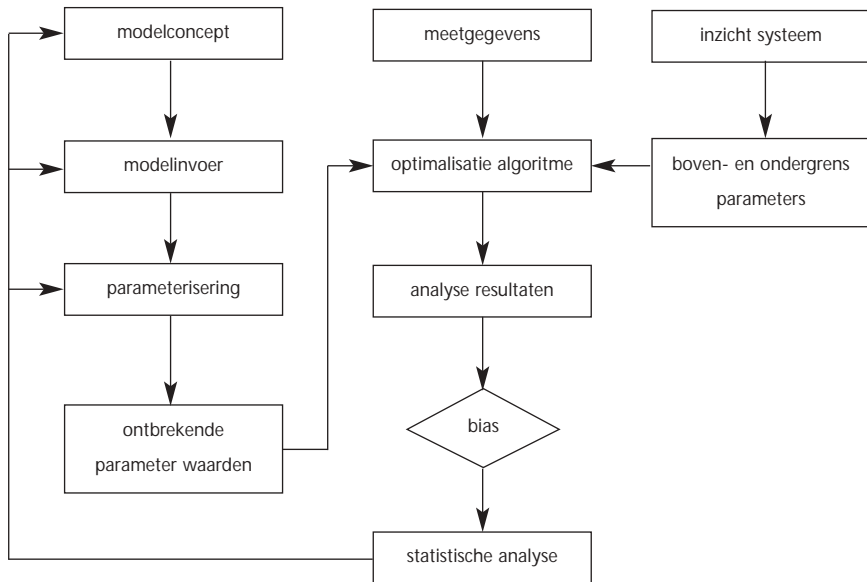
Voor de uitvoering van een zinvolle kalibratie procedure worden hoge eisen gesteld aan de volgende componenten:

- Het model, zowel qua gemodelleerde processen als de robuustheid van de software.
- De basisgegevens zoals de structuur en geometrie van het rioelstelsel en het afvoerend oppervlak.
- De meetgegevens.

Het verdient aanbeveling om een kalibratie procedure te starten vanuit een gedegen inzicht in het functioneren van het rioelstelsel, gebaseerd op zowel de resultaten van modelberekeningen als de informatie vanuit een volwaardig meetproject.

### 7.1 Kalibratieproces

De kalibratie van een model is een cyclisch proces waarin op verschillende momenten keuzen gemaakt worden aan de hand van beschikbare en beschikbaar komende informatie.



**De eerste** keuze betreft het modelconcept. Hierbij wordt een keuze gemaakt welke processen in beschouwing worden genomen. Deze keuze heeft een grote invloed op het vervolgtraject. Als bijvoorbeeld wordt gekozen om uit te gaan van een zogenaamd ‘bakkenmodel’ dan wordt a-priori de stromingsdynamica buiten beschouwing gelaten. Voor betrekkelijk kleine, vlakke stelsels is dat soms verdedigbaar. In elk geval moet de gebruiker bij het maken deze keuze een vrij diepgaand inzicht hebben in de mogelijkheden en de beperkingen die de keuze voor een modelconcept impliceert. Wel zij opgemerkt dat elk type model kan worden gekalibreerd aan metingen.

**De tweede** keuze is die van de modelinvoer. Uiteraard geldt dat de keuze voor een modelconcept in belangrijke mate de noodzakelijke invoer bepaalt. Ook hier wordt uitgegaan van de Leidraad Module C2100. De invoer bestaat uit de structuur en de geometrie van het rioolstelsel, het afvoerend oppervlak, gegevens t.a.v. gemalen en overige bijzondere constructies. Om de uniformiteit en uitwisselbaarheid van gegevens te bevorderen, wordt aanbevolen uit te gaan het Standaard UitwisselingsFormaat Hydraulische gegevens (SUF-HYD 1.10).

**De derde** keuze omvat de parameterisering. Er dient een keuze te worden gemaakt van de modelparameters die in de kalibratie worden meegenomen. Deze initiële keuze kan worden gemaakt op basis van ‘ervaring’ of op basis van een gevoeligheidsanalyse. Essentieel bij de keuze van de parameters die in de kalibratie worden betrokken is dat

het procesparameters betreft: *dus niet gegevens die als modelinvoer zijn gedefinieerd* (b.v. de grootte van het afvoerend oppervlak).

Nadat de genoemde keuzen zijn gemaakt kan worden gestart met het bepalen van de waarden van de *gekozen* parameters. Hierbij wordt getracht de waarde van de verschillende parameters zo te kiezen dat het verschil tussen het modelresultaat en beschikbare meetgegevens (de zogenaamde bias) zo klein mogelijk is (ofwel een optimale overeenstemming tussen model en meetresultaat).

Het bepalen van de combinatie van parameterwaarden kan op vele manieren worden gedaan. In de huidige praktijk wordt hierbij nogal eens gebruik gemaakt van ‘probeer en faal’ methoden (trial and error), die op zichzelf wel tot een resultaat kunnen leiden maar als nadelen hebben:

- niet of slechts moeizaam reproduceerbaar;
- arbeidsintensief (en dus duur);
- nauwelijks kwantitatieve informatie geven t.a.v. de gevoeligheid van het modelresultaat voor bepaalde modelparameters.

Welke methode men ook kiest, het eindresultaat van de kalibratie moet worden getoetst. Hierbij moet worden beseft dat, indien het bepalen van de parameterwaarden optimaal is gedaan, het verkregen eindresultaat het beste is dat haalbaar is gegeven het gebruikte model, gegeven de modelinvoer en gegeven de meetresultaten. Een verbetering van het resultaat, indien noodzakelijk geacht, kan dan ook alleen worden bereikt indien in een van de drie genoemde onderdelen een aanpassing c.q. correctie wordt aangebracht.

Daarnaast moet worden beoordeeld of er wel voldoende informatie aanwezig is om bepaalde parameters te schatten, indien dit voor bepaalde parameters niet zo is dan zal de parameterisering moeten worden aangepast.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de parameterisering, de minimum eisen die worden gesteld aan de meetgegevens en de beoordeling van het resultaat van een kalibratie.

## **7.2 Parameterisering**

De te kiezen parameters die worden ‘meegenomen’ in een kalibratieprocedure hangen af van:

- het gebruikte model;
- de beschikbare meetgegevens;
- de gevoeligheid van het model voor variatie in de parameters.

Er is geen eenduidige objectieve maat waaraan de juistheid van de gekozen set parameters kan worden opgehangen, er is altijd een stuk ervaring en inzicht nodig t.a.v. modellen en het functioneren van een rioolstelsel. Wel kan aan de hand van de volgende stappen worden nagegaan of bepaalde parameters significant zijn in een specifieke situatie:

- 1 Ga na welke processen zijn opgetreden, bijvoorbeeld of er een overstorting is opgetreden, of dat er mogelijk afvoer van onverharde oppervlakken is opgetreden
- 2 Inventariseer de parameters die binnen het gehanteerde model bepalend zijn voor de beschrijving van de processen die zijn opgetreden. Een triviaal voorbeeld is dat als er geen overstortingsgebeurtenis is opgetreden het zinloos is om de overlaatcoëfficiënt te willen bepalen
- 3 Maak enkele berekeningen waarin systematisch de geïdentificeerde parameters worden gevarieerd en bepaal per parameter de invloed op het rekenresultaat
- 4 Voer een kalibratie uit met de volledige parameterset
- 5 Voer kalibraties uit met een gereduceerde parameterset waarin steeds de minst relevante parameters (zie stap 3) worden weggelaten. Hiermee ontstaan kalibratie resultaten met een stapsgewijs gereduceerde omvang van het aantal parameters
- 6 Vergelijk de resultaten van de kalibraties en kies het resultaat dat met de minste parameters voldoet aan de te stellen eisen in termen van kwaliteit.

| 95

Op deze wijze kan op een systematische manier een keuze in de parameters worden gemaakt. In de praktijk blijkt dat de volgende parameters als regel het meest relevant zijn:

- DWA hoeveelheid
- DWA patroon
- Overlaatcoëfficiënt
- Infiltratiecapaciteit van open verharding
- Initiële verliezen en oppervlakteberging.

Ga er vooralsnog van uit dat de parameterisering per individuele bui moet worden bepaald. Wel is het zo dat een eerder bepaalde parameterisering voor een gegeven rioolstelsel als uitgangspunt kan worden gebruikt bij een volgende bui.

### 7.3 Meetgegevens

In de praktijk blijkt dat lang niet alle beschikbare meetgegevens geschikt zijn om een kalibratie mee uit te voeren. De meetgegevens moeten aan de volgende criteria voldoen:

- De meetgegevens dienen voldoende informatie te bevatten, dit wordt bepaald door de meetperiode, meetfrequentie, meetnauwkeurigheid en de meetlocaties.
- De systematische fouten, dienen zoveel als praktisch mogelijk, afwezig te zijn.

- De meetgegevens dienen zo volledig mogelijk zijn (ontbrekende meetpunten, falen apparatuur).
- De meetgegevens dienen een zo breed mogelijk spectrum aan 'buitypen' te bevatten (zowel buien met grote neerslagintensiteiten als langdurige en minder hevige buien).

#### *Controle metingen*

Tijdens de uitvoering van metingen dient regelmatig (bijvoorbeeld eens per 14 dagen) een (eerste/globale) controle van de meetresultaten plaats te vinden. Hierbij dient met name te worden gelet op:

- Nulpuntdrift, dit kan b.v. worden herkend door een trendmatige verandering in de dagelijks optredende maximale en minimale waterstanden op de verschillende meetlocaties, of een trend in het verschil tussen maximale en minimale waarde per etmaal.
- Tijdverschuivingen. Met name in meetopstellingen waarin niet met een centrale post wordt gewerkt maar met lokale dataloggers ontstaat het gevaar van niet-synchroniteit. Bij een kalibratie is een systematische fout in de tijd van enkele minuten reeds voldoende om te leiden tot een volstrekt waardeloos resultaat. Een goede mogelijkheid voor het controleren van synchroniteit is het koppelen van tijdstippen van 'bijzondere' gebeurtenissen. Bijvoorbeeld het in werking treden van een overstort of een gemaal is vaak over meerdere verschillende meetpunten direct zichtbaar.
- Er dient een classificatie van de meetresultaten plaats te vinden om de kwaliteit van de metingen ('onbetrouwbaar', 'nader te bekijken' of 'betrouwbaar') per meetlocatie te kunnen vastleggen. Op deze wijze ontstaat een beeld van de perioden waarin voldoende meetgegevens van voldoende kwaliteit beschikbaar zijn.
- De weersgesteldheid anders dan neerslag, denk hierbij met name aan het onderkennen van vorst, sneeuw, ijzel etc. Het optreden van dergelijke omstandigheden kan een zeer groot verstrend effect op de meetresultaten hebben zonder dat dit uit de 'kale' gegevens blijkt.

#### *Bijdrage modelparameters*

Bij het bestuderen van de verkregen meetresultaten kan al deels worden bepaald welke parameters met de verkregen informatie mogelijk kunnen worden bepaald. Een triviaal voorbeeld hiervan is dat het onmogelijk is de Q-h relatie van een overstort te bepalen als er geen overstorting in de verzamelde gegevens aanwezig is.

Registreert men een bui met een betrekkelijk klein neerslagvolume en relatief lage neerslagintensiteiten toch inloop, dan is het zeer waarschijnlijk dat alleen de snel afvoerende oppervlakken hieraan hebben bijgedragen. In dergelijke gevallen is er geen informatie verkregen ten aanzien van bijvoorbeeld de berging op straat.



#### 7.4 Beoordelen resultaat

Indien een kalibratie perfect is uitgevoerd wordt aan de volgende eisen voldaan:

- de verschillen tussen modelresultaat en meetresultaat zijn gemiddeld nul;
- hebben een normale verdelingsfunctie die te beschrijven is met een standaardafwijking;
- de verschillen tussen model en meetresultaat hebben geen relatie met elkaar in plaats of tijd.

In wiskundige termen: de residuen (verschillen tussen model en meetresultaat) zijn normaal verdeeld met gemiddelde nul en een standaardafwijking en zijn in tijd en plaats te beschrijven als 'witte ruis'. In de praktijk zal vrijwel nooit volledig aan deze eisen kunnen worden voldaan. Wel kunnen de genoemde eisen als richtlijn worden gebruikt bij de beoordeling van het gepresenteerde resultaat.

| 97

#### *Residu*

Een residu is het verschil tussen een gemeten waarde en de daarmee corresponderende berekende waarde. Dat houdt dus in dat de verzameling residuen bestaat uit **alle** individuele verschillen tussen meting en model.

Uitgegaan wordt van de kentallen gemiddelde en standaardafwijking:

Gemiddelde: 
$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} r_i$$

Standaardafwijking: 
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (r_i - \bar{r})^2}{n - 1}}$$

waarin

N totaal aantal residuen

$r_i$  residu

#### *Normale verdeling*

Om te komen tot een vergelijking van de verdeling van de residuen met de Normale verdeling (ook wel Gauss-verdeling genoemd) wordt de volgende procedure doorlopen. Voor de relatieve bijdrage van elke klasse volgens de Normale verdeling geldt:

$$f_{i, \text{theoretisch}} = \frac{\Delta c_i}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\bar{c}_i - \bar{r}}{s} \right)^2}$$

waarin

$c_i$  klassebreedte van de klasse  $i$

$\bar{c}_i$  klassemidden

$s$  standaardafwijking

$\bar{r}$  overall gemiddelde van de residuen

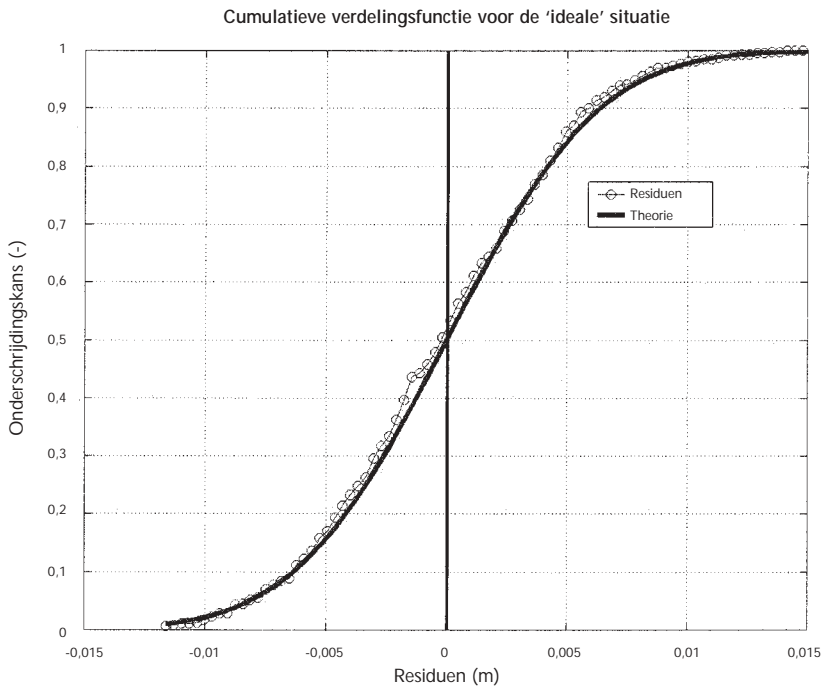
De vorm van de verdelingsfunctie is af te lezen uit figuur 27 (dikke zwarte lijn).

De klasseverdeling van de residuen wordt bepaald aan de hand van het aantal residuen. Gemiddeld wordt uitgegaan van 5 tot 10 residuen (meetpunten) per klasse.

Door van de residuen het gemiddelde en de standaardafwijking te bepalen en een grafiek te maken van de (cumulatieve) verdelingsfunctie en deze te vergelijken met de theoretisch juiste is snel een beeld van de afwijkingen te verkrijgen.

98 |

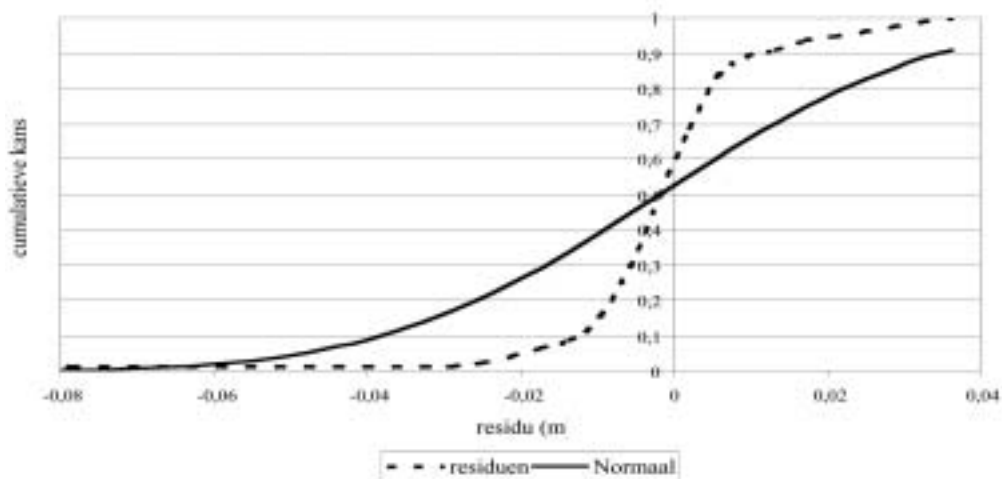
Als voorbeeld is in figuur 27 de cumulatieve verdelingsfunctie getoond van een vrijwel perfecte kalibratie, de cumulatieve verdeling van de residuen sluit nagenoeg perfect aan bij de normale verdeling met het berekende gemiddelde en de standaardafwijking.



Figuur 27: Cumulatieve verdelingsfunctie gemeten en theoretische waterstand.

Op de horizontale as is het residu (verschil tussen gemeten en berekende waterstand) uitgezet tegen de cumulatieve onderschrijdingskans. Uit deze figuur kan worden afgelezen dat een verschil tussen meting en berekening van + 5 mm in 85% van de gevallen wordt onderschreden.

Cumulatieve verdelingsfunctie bij een tijdverschuiving van 2 minuten.

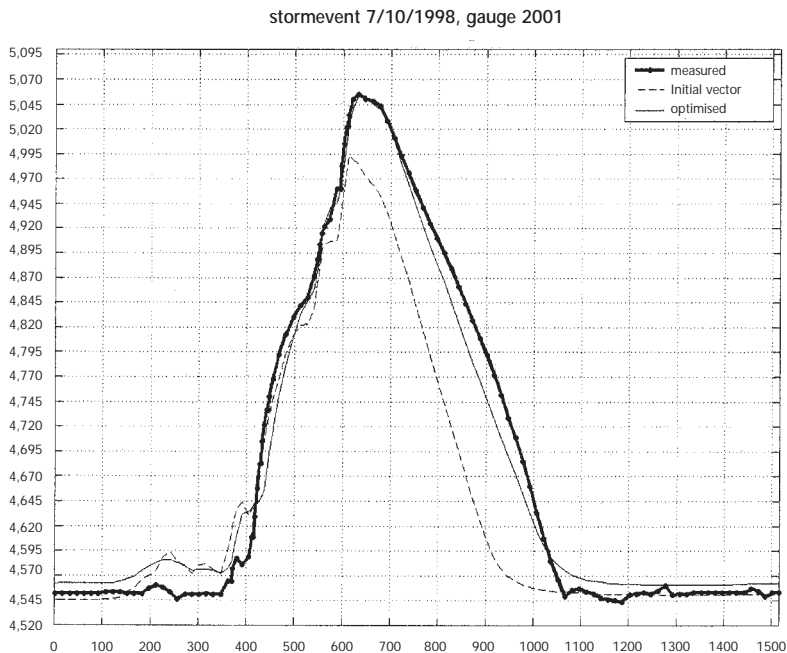


Figuur 28: Cumulatieve verdelingsfunctie bij een tijdverschuiving van 2 minuten.

In figuur 28 is de verdelingsfunctie van de residuen getoond voor exact dezelfde situatie met alleen dit verschil dat er een (systematische) fout is geïntroduceerd: een tijdverschuiving van 2 minuten (op een beschouwde periode van 80 minuten). Dit leidt tot een sterke afwijking van de grafiek. Een soortgelijk beeld wordt verkregen als er een andere soort systematische fout aanwezig is, denk bijvoorbeeld aan een fout referentieniveau van een niveausensor, een foute waarde voor een drempelpeil in de database of een systematische afwijking in een debietmeting.

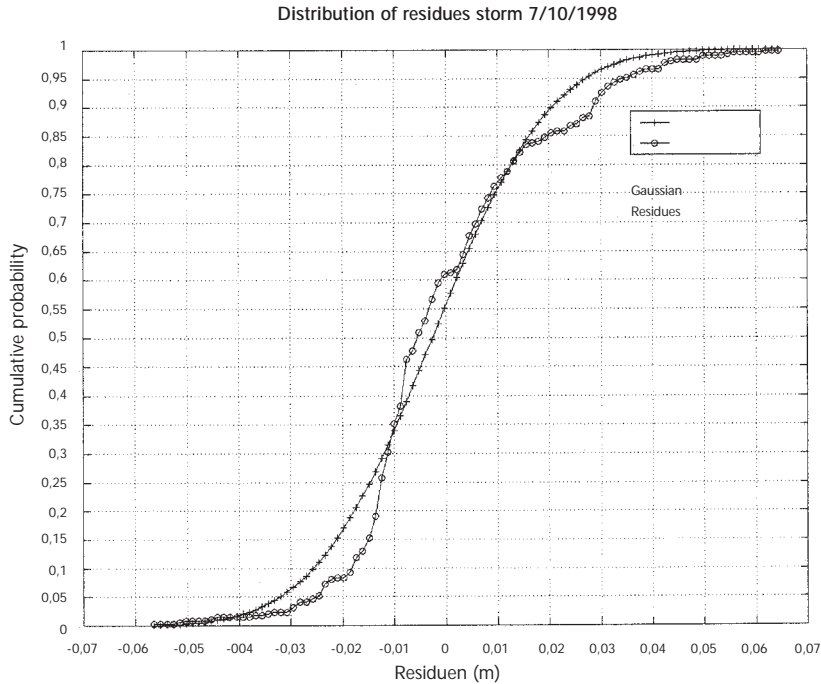
Als de cumulatieve verdelingsfunctie een afwijkend beeld laat zien, dan is het de kunst om te achterhalen waar deze gezocht moeten worden. Hier zijn nauwelijks algemene regels voor te geven. Alleen door na te gaan waar en wanneer de afwijkingen optreden kunnen aanwijzingen worden verkregen.

- Als regel wordt de berging in huis- en kolkaansluitingen niet in de modellering meegenomen. In een aantal gevallen (met name bij vlakke rioolstelsels) is geconstateerd dat het weglaten hiervan in een bepaald gedeelte van het waterstandsverloop (samenvallend met het traject tussen bovenkandleiding en maaiveld) leidt tot systematische fouten. Het volume aanwezig in deze aansluitleidingen kan ten opzichte van een stelsel met kleine diameter leidingen significant zijn.
- Als wordt gekalibreerd aan de hand van waterstandsmetingen dan kunnen er systematische fouten ontstaan bij zogenaamde kleine waterdiepten. Dit kan een aantal oorzaken hebben zoals de beperkte nauwkeurigheid van de meetapparatuur bij kleine waterdiepten en kleine afwijkingen in b.o.k. of referentiepeil van de sensor.
- Als tijdens het leegpompen van een systeem afwijkingen ontstaan tussen model en meting dan kan dat bijvoorbeeld te maken met het dwa-lozingen patroon niet klopt, of dat de gemaalcapaciteit niet constant is (zoals meestal wordt aangenomen).



Figuur 29: Gemeten en gemodelleerd verloop van de waterstand m NAP (tijd).

Figuur 29 toont een voorbeeld van het resultaat van een kalibratie gegeven, na 150 minuten start een neerslag periode met een duur van 610 minuten. In de intervallen  $t=0$  tot  $t=300$  min. en tussen  $t=1000$  en  $t=1500$  min. is te zien dat er in de dwa een systematische fout zit tussen model en meting (slechts enkele millimeters overigens). Deze fout wordt veroorzaakt doordat er een systematische fout optreedt in de leegpompfase (tussen de 800 en 1000 minuten). In deze periode wordt in het model het waterpeil ten opzichte van de metingen onderschat.



Figuur 30: Cumulatieve verdelingsfunctie residuen.

In figuur 30 is de verdelingsfunctie van de residuen hiervoor aangegeven. Ook hier is te zien dat er een afwijking met de theoretisch gewenste verdeling aanwezig is (de verdelingsfunctie van de residuen wijkt af van de theoretisch juiste).

De enige manier om de genoemde systematische fouten te elimineren is om de modellering van het leegpompgedrag te verbeteren.

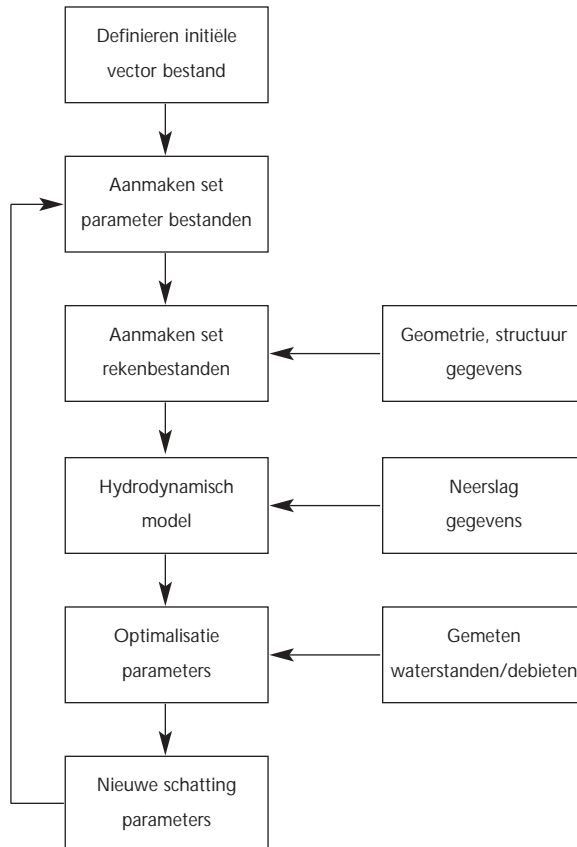
#### Afwijkingen op verschillende meetlocaties

Indien wordt gekeken naar relaties die afwijkingen hebben in plaats of tijd dan kan duidelijk worden of een systematische fout (meet)locatiespecifiek is of dat deze op

meerdere plaatsen voorkomt. Dit kan een belangrijke aanwijzing zijn voor het vinden van de oorzaak. Als een systematische fout **op verschillende locaties** in hetzelfde tijdsinterval voorkomt, dan behoeft de oorzaak niet te worden gezocht in de meetapparatuur, maar veeleer in de modelinvoer of in het model zelf.

### 7.5 Praktische uitvoering

Het rekenproces voor de optimalisatie van parameterwaarden is vaak zeer intensief. Het is mogelijk dit cyclische proces te automatiseren waarbij het optimalisatieprogramma en het hydrodynamisch model afwisselend worden gedraaid. Hierbij dient een master-slave verhouding tussen een rekenmodel en een optimalisatieprogramma te worden gemaakt. Het resultaat van de ene bewerking dient daarbij als input in de andere bewerking. (Let wel: op detail niveau is een dergelijke uitvoering sterk afhankelijk van de gebruikte software en daarin gehanteerde dataformaten, de beschrijving zal dus op proces- en resultaatniveau blijven).



In het processchema is uitgegaan van een optimalisatiemethode die is gebaseerd op een gradiënt zoekmethode. Dat wil zeggen dat afhankelijk van de gevoeligheid van de residuen voor variatie in de afzonderlijke modelparameters een nieuwe parameter set wordt bepaald. Voor details wordt verwezen naar de literatuur (Clemens, 2001).

#### *Optimalisatie proces*

Gestart wordt met de keuze van de te variëren parameters (een 'N'-tal), de modelleur kiest een set parameter waarden, met behulp van een computerprogramma wordt een N+1-tal parameterfiles aangemaakt. In de eerste file staan gewoon de oorspronkelijke waarden in elke volgende file is steeds een parameter iets in waarde vergroot. (Dit om in staat te zijn om het effect van de verandering van elke parameter afzonderlijk te kunnen kwantificeren).

| 103

Vervolgens wordt een N+1 tal rekenbestanden geconstrueerd (samengesteld uit de geometrische en structuur informatie en de parameterfiles). Met elk van deze rekenbestanden wordt dan een hydrodynamische berekening gemaakt. De resultaten van deze berekeningen (alleen op de punten waar ook gemeten is) wordt dan samen met de gemeten resultaten in de optimalisatiesoftware verwerkt tot een volgende schatting van de parameter waarden, waarna het proces opnieuw start. Het proces wordt afgebroken als er geen verdere verandering van de parameter waarden plaatsvindt.

Het is niet meer zinvol om verder te gaan met kalibreren als je met je residuen de meetnauwkeurigheid van je meetsensoren bereikt. Theoretisch is een kalibratie pas beëindigd als je aan de volgende voorwaarden voldoet:

- De residuen hebben een kruiscorrelatie in plaats en tijd van 0 (ofwel de verschillen tussen model en metingen zijn volledig willekeurig en zonder samenhang, en
- de mate van afwijking (lees standaardafwijking van de residuen) ligt beneden een vooraf vast gestelde waarde.

In de praktijk zal dit echter haast nooit lukken. Een praktische grens is een standaardafwijking van de residuen die binnen circa 5 cm (waterstand) ligt en eventuele systematische afwijkingen die verklaard kunnen worden. Vervolgens hangt het af van de mogelijkheden om afwijkingen op het heffen. In bepaalde gevallen loop je aan tegen de grenzen van je software (bijvoorbeeld het kleine waterdiepte probleem). Het is dan aan de modelgebruiker te beoordelen of de geconstateerde afwijking een probleem vormt bij de toepassing van de modelresultaten. De hoofdlijn is dat afwijkingen zoveel als mogelijk is worden weggewerkt en dat er ten minste een plausibele verklaring is voor de resterende afwijkingen.

Het optimalisatieproces is vaak gericht op het kalibreren van waterstanden. Het is ook mogelijk te kalibreren op debieten of stroomsnelheden, het is zelfs goed mogelijk om op een mix van verschillende parameters te werken; bijvoorbeeld waterpeilmetingen bij de overstort, debietmeting ergens in een leiding en de stroomsnelheid in de persleiding. Een meetfrequentie van eens per twee à drie minuten verdient de voorkeur. Een meetduur van een volledig jaar is noodzakelijk om een beeld te krijgen van de seizoenseffecten.

### **7.6 Validatie**

Om het resultaat van de modelkalibratie te kunnen verifiëren dient de set meetgegevens te worden gesplitst in twee delen. Eén deel wordt gebruikt voor het kalibreren van de modelparameters, het andere deel wordt gebruikt voor het valideren van het gekalibreerde rekenmodel. De kalibratie is pas succesvol indien uit de validatieronde blijkt dat met het gekalibreerde rekenmodel de nog niet gebruikte meetresultaten eveneens binnen acceptabele grenzen kunnen worden benaderd.



## 8 Geraadpleegde literatuur

ARCADIS (2001), Monitoring riooloverstorten

ARCADIS (1999), Praktijkonderzoek naar de vuilemissie van een verbeterd gemengd rioolstelsel, meetlocatie Tilburg-Oost, rapportnummer 632/ZF99/2342/05716

Brouwer, W., Maessen, M. (2002), Waterkwaliteitsspoor Arnhem, lezing RIONED-dag 7-2-2002

Clemens, F. (2001), Hydrodynamic models in urban drainage: application and calibration, ISBN 90-407-2163-7

Hemker, C. (1996), Modelkalibratie: het automatisch ijken van grondwatermodellen, NHV, speciale uitgave nr. 2, 1996, bladzijde 39-51.

Janse, T., Baars, E. (2001), Afvalwaterwetenschap jaargang 1, nr. 1, augustus 2001

Katholieke Universiteit Leuven (1995), Controle snelheids- en waterhoogtemeting van DETEC-3510 Surveyloggers

Luyckx, G., Berlamont, J., Vereenvoudigde methode om neerslagmetingen van kantelbakpluviografen te corrigeren, Rioleringswetenschap jaargang 1, nr. 4, december 2001

Moens, M., (2001), On-line meettechnieken in afvalwatersystemen, Rioleringswetenschap nr. 1, 2001

Stichting RIONED (1995), Standaard Uitwisselings Formaat HYDraulische berekeningen, gegevens, versie 1.10.

Stichting RIONED (1999), Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren, Module C2100

Stichting RIONED (2001), Functioneel ontwerp, Module B2000

Stichting RIONED (1997), Meten, Module C2300

Stichting RIONED, STOWA (1999), WRW, Onderzoek naar de effecten van een verbeterd stelselontwerp op de vuilemissie en waterkwaliteit, rapportnummer

632/ZF99/1728/07506

Stichting Wateropleidingen (2001), Meten aan de (afval)waterketen, cursusmateriaal

STORA rapport 78-01, Meten en bemonsteren van afvalwaterstromen afvoerrelatie in meetputten met Thompsom meetschotten.

STOWA (1996), Metingen aan rioolstelsels en oppervlaktewater, Leidraad voor metingen en meetprogramma's, rapport 96-09, ISBN 90 74476 48 1

STOWA (1996), Metingen aan rioolstelsels en oppervlaktewater, Eenvoudige metingen en waarnemingen, rapport 96-10, ISBN 90 74476 49 X

106 |

Veldkamp, R., en Clemens F.H.L.R. (2001), Het kalibreren van overstorten, Rioleringswetenschap nr. 2, 2001, ISSN 1568 3788, bladzijde 51-76

## Bijlage 1 Meten neerslag

De meting van neerslag is een belangrijke term in de waterbalans van een rioelstelsel. Vanwege de diversiteit in verhardingssoorten, terreintypen e.d. is het expliciet meten van de inloop echter vrijwel ondoenlijk. Alleen voor zeer kleine gebieden (proeflocaties) bestaat de mogelijkheid om de inloop van neerslag te meten via het aanbrengen van meetschotten in de putten en/of installatie van debietmeters. Voor een dergelijke meetopzet wordt verwezen naar het proefschrift van Dr ir F.H.M. van de Ven ('Van neerslag tot rioolinloop in vlak gebied'). In de praktijk wordt in vrijwel alle gevallen volstaan met een neerslagmeting, waarbij de inloop wordt gesimuleerd of terug-gerekend vanuit de balans.

### Nauwkeurigheid, frequentie en bereik

Om de resultaten van een eerste analyse zo betrouwbaar mogelijk te krijgen, is het van belang dat de onzekerheid op de invoer klein wordt gehouden, of dat rekenschap wordt gehouden met de mogelijk optredende afwijkingen. Neerslagmetingen zijn gegevens waarvan de betrouwbaarheid sterk kan worden vergroot door een goede kalibratie van de meetapparatuur.

Ter controle van de neerslagmeting en spreiding van neerslag is een extra meting van dagsommen wel een minimale vereiste. Indien de praktijkmetingen hier voldoende aanleiding toe geven kan alsnog worden overwogen een extra neerslagmeter te plaatsen.

De gewenste meetnauwkeurigheid bedraagt 0,01 tot 0,1 mm (STOWA, 1996). Neerslag wordt in de praktijk vaak gelogd als momentane neerslagintensiteit. Dit betekent dat ter bepaling van de hoeveelheid gevallen neerslag de gelogde meetwaarde representatief moet worden gesteld voor het log-interval en vermenigvuldigd met de duur van het interval. Een dergelijke bewerkingsslag gaat ten koste van de nauwkeurigheid van de meetwaarde. Het cumulatief meten en opslaan van neerslaghoeveelheden verhoogt de nauwkeurigheid aanzienlijk. Door aan het begin van elk nieuw jaar de gecumuleerde waarden weer op nul te stellen is op elk moment van het jaar inzichtelijk hoeveel neerslag er is gevallen. Een opslagfrequentie van eenmaal per 5 minuten is voldoende voor het kunnen relateren van neerslag aan waterstanden en debieten. Door de gegevens op te slaan volgens het CIW4-uitwisselingsformaat (CIW, 2002) kunnen de verschillende gegevens relatief eenvoudig worden gecombineerd.

### Meetprincipe

Neerslagmeters van het type kantelbak worden het meest ingezet voor neerslagmetingen, vooral vanwege de relatief lage kosten. Van deze toestellen is echter bekend dat ze het neerslagvolume onderschatten, vooral bij hoge neerslagintensiteiten (Luyckx et al, 1998, NWRW 4.4).

Het principe van de meting is dat de neerslag wordt opgevangen in een bakje dat na een zekere vulling wegkantelt en leeg loopt, het andere (tweede) bakje van het apparaat schuift dan voor de opvangopening en wordt gevuld met neerslag. Bij het kantelen van de bakjes is er telkens een moment dat neerslag niet in een bakje terecht komt. Dit veroorzaakt een fout in de meting. Bij hogere neerslagintensiteiten is deze fout groter omdat er relatief meer neerslag niet in het bakje terecht komt.

Uit een onderzoek naar 31 verschillende kantelbak-neerslagmeters (Luyckx en Berlamont, 2001) is gebleken dat de experimenteel bepaalde resolutie vaak meer dan 5% kan afwijken van de waarde die door de fabrikant wordt aangegeven. Geen kalibratie uitvoeren kan dus makkelijk een fout opleveren van meer dan 5%, zowel onder- als overschatting van het neerslagvolume. Door het uitvoeren van een statische correctie (en een correctiemethode voor zware buien) kan de afwijking worden verkleind tot ca. 1 - 3%.

108 |

### **Opstelling en onderhoud**

Vanwege de gevoelige mechanische werking verdient het aanbeveling om in een meetgebied minimaal 2 regenmeters op te stellen. Een representatieve opstelling, bijvoorbeeld buiten het bereik van bomen, is belangrijk om de gemeten neerslaghoeveelheden te kunnen vertalen naar een totale neerslagbelasting op een gebied. De apparatuur dient representatief en vandalismebestendig opgesteld te worden. Bij grote meetgebieden dienen daarom meerdere regenmeters te worden opgesteld om het zogenaamde gebiedsgrootte effect nauwkeuriger in beeld te brengen.

Hiermee kunnen effecten zoals een bui die valt op een deel van een systeem, het over trekken van een neerslag front over een systeem en een ongelijkmatige spreiding van neerslag intensiteiten over een gebied in beeld worden gebracht.

Kantelbak-neerslagmeters zijn gevoelig voor vervuiling en scheefstand, waardoor frequent onderhoud (ca. 1x per 1-2 maanden) noodzakelijk is.

Vanwege een mogelijke spreiding van neerslag en grote kans op uitval dient een neerslagmeting minimaal dubbel worden uitgevoerd. In een groter onderzoeksgebied kan neerslagmeting op slechts één locatie nooit representatief zijn (STOWA, 1996).

### **Kalibreren apparatuur**

Eén enkele (statische) kalibratieproef volstaat om een schatting te vinden voor het volledige ijkingsverband van een willekeurige kantelbakje-neerslagmeter. Dit impliceert wel een afzonderlijke (empirische) formule per neerslagmeter. Voor een voorbeeld van een kalibratieprocedure wordt verwezen naar het artikel 'Vereenvoudigde methode om neerslagmetingen van kantelbakpluviografen te corrigeren' (Luyckx, 2001).

## Bijlage 2 Meten waterstand

Het meten van waterstanden gebeurt van oudsher in de pompputten ten behoeve van de gemaalaansturing. In toenemende mate worden ook waterstanden gemeten in overstortputten ter bepaling van overstortingsfrequentie en –duur. Het meten van waterstanden ter verhoging van het inzicht in het functioneren van de riolering is (nog) niet gebruikelijk, maar is in feite een zeer logische aangelegenheid.

### Nauwkeurigheid, frequentie en bereik

Het meten van waterstanden is afhankelijk van het gekozen meetprincipe en de kwaliteit van de gekozen sensor met een zeer hoge nauwkeurigheid mogelijk. Naast de nauwkeurigheid is ook de stabiliteit van de meting van belang. Voor de praktijk kan voor vrijwel alle meetdoeleinden worden uitgegaan van een meetnauwkeurigheid van circa 2 mm (bij het meestal toegepaste drukmeetprincipe) en een meetfrequentie van eens per 3 minuten (Clemens, 2001). Deze laatst genoemde waarde kan worden gezien als een bovengrens. Aanbevolen wordt om met deze waarden te beginnen en, indien dat noodzakelijk is na analyse van de eerste resultaten, later eventueel te besluiten tot een verlaging van de meetfrequentie.

Het meetbereik wordt bij voorkeur zodanig ingesteld dat vanaf putbodemp tot en met maaiveldpeil kan worden gemeten. In bijzondere gevallen kan hiervan worden afgeweken, bijvoorbeeld als de niveaumeting dient voor de bepaling van een debiet via een debiet-waterpeil relatie.

### Meetprincipe

Het meest toegepaste meetprincipe is dat van de drukmeting, bij toenemende waterstand neemt de druk uitgeoefend op een membraan toe. Dit leidt tot een vervorming van dit membraan die ofwel leidt tot een verandering in de capaciteit van een condensator (capaciteit principe) of tot een verandering in de weerstand in een stroomkring. (Uhl, 1993).

Naast het drukmeetprincipe bestaan er ook sensoren die werken met (ultra)geluid, door de tijd te meten die verstrijkt tussen uitzenden van en het ontvangen van de echo van een uitgezonden geluidspuls kan de afstand tussen sensor en waterspiegel worden bepaald. Nadelen van deze methode zijn:

- Er kan alleen bij vrije waterspiegel worden gemeten.
- De nauwkeurigheid van de meting is sterk afhankelijk van omgevingsfactoren als temperatuur en samenstelling en vochtigheid van de riool atmosfeer.
- Bij een niet exacte montage kunnen zogenaamde ‘valse’ echo’s ontstaan waardoor de betrouwbaarheid van de metingen sterk afneemt.

Mede om deze redenen wordt aanbevolen uit te gaan van druksensoren. Belangrijke aspecten bij deze sensoren zijn:

- De kwaliteit van het membraan, deze bepaalt in hoge mate de stabiliteit (nulpuntsdrift) van de sensor.
- De atmosferische compensatie, hierbij is van belang dat wordt voorkomen dat er vocht achter het membraan kan komen. Dit wordt b.v. tegengegaan door een silicagelfilter aan te brengen. Dit vraagt wel om regelmatig onderhoud.

### **Opstelling en onderhoud**

Uitgaande van een druksensor is de oriëntatie van de sensor in de waterstroom van belang, voorkomen moet worden dat stromingsdruk (snelheidshoogte) wordt gemeten doordat het membraan niet evenwijdig aan de stroomrichting is opgesteld. Tevens moet worden voorkomen dat de sensor kan vervuilen of kan worden beschadigd door (zware) drijvende voorwerpen. Een opstelling in de hoek van een put in een mantelbuis verdient daarom ook de voorkeur.

Het onderhoud van een druksensor is sterk afhankelijk van:

- De mate van vervuiling die op de locatie optreedt (alleen na te gaan door in de eerste weken regelmatig te controleren).
- De gevoeligheid van de sensor voor variaties in de omgevingscondities.
- De kwaliteit van de sensor.
- De eisen die worden gesteld aan de nauwkeurigheid en volledigheid van de te verzamelen dataset.

De ervaring leert dat in de opstartfase eens per 14 dagen een bezoek aan de opstelling noodzakelijk is en in een later stadium circa eens per maand. Kalibratie dient bij voorkeur eens per jaar te geschieden.

### **Kalibreren meetapparatuur**

Het exact kalibreren van druksensoren kan alleen goed worden gedaan onder laboratoriumcondities, het is aan te bevelen om een dergelijke kalibratie circa éénmaal per jaar te laten doen. Overigens moet worden opgemerkt dat ten onrechte de term kalibratie vaak wordt gebruikt voor de werkzaamheden die op locatie worden gedaan om het meetbereik vast te stellen. Het gaat hierbij om wezenlijk andere zaken: kalibratie is het inregelen van het uitgangssignaal van de sensor aan een onafhankelijke parallel uitgevoerde meting van de waterdiepte, terwijl het instellen van het meetbereik niet meer is dan een softwarematige instelling.

## Bijlage 3 Meten pompdebiet

Voor het verkrijgen van inzicht in het functioneren van het rioolstelsel is een nauwkeurige meting van het pompdebiet een vereiste voor het kunnen opstellen en hanteren van een waterbalans. Elke afwijking in verpompt volume werkt door in de basisafvoer (DWA) en uiteindelijk in de overige (inloop)parameters. Meting van het pompdebiet is derhalve een niet te onderschatten component, die echter relatief kostbaar en/of bewerkelijk is.

### Nauwkeurigheid, frequentie en bereik

De meest betrouwbare en nauwkeurige wijze van debietmeting in een rioolgemeal wordt bereikt door in de aanwezige persleiding een debietmeter te installeren. Hiermee wordt meteen de debietvariatie ten gevolge van samenloop van meerdere pompen in beeld gebracht en spelen tegendruk in de persleiding of wijzigingen in wrijvings- en verdragingsverliezen e.d. geen rol. Er zijn uiteraard ook alternatieve goedkope(re) meetmethoden voor deze relatief kostbare meetmethode, deze vergen echter meer bewerking en zijn minder nauwkeurig als gevolg van omgevingsfactoren. Het benodigde meetbereik kan worden vastgesteld aan de hand van het theoretisch pompdebiet. Hoewel voor het operationeel beheer van riolering draaiuren veelal voldoende zijn, is vanwege schommelingen in het debiet een meetfrequentie van eenmaal per 5 minuten gewenst om de waterbalans te kunnen toepassen.

| 111

### Meetmethoden

Voor de meting van het debiet van het rioolgemeal zijn de volgende meetmethoden beschikbaar:

- debietmeting via draaiurenregistratie;
- debietmeting via het waterstandsverloop in de pompput;
- debietmeting in de uitgaande persleiding.

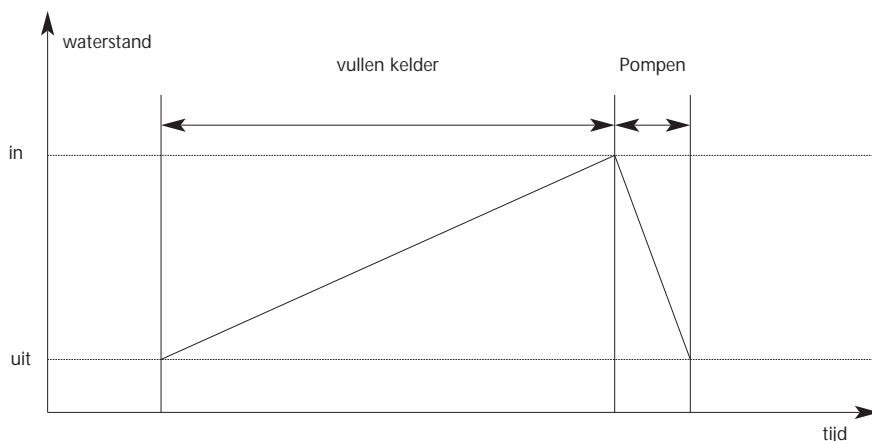
#### *Debietmeting via draaiurenregistratie*

Het gemiddelde pompdebiet vermenigvuldigd met het totale tijdsinterval levert het verpompte volume op. Voor de keuze van het pompdebiet kan rekening worden gehouden met het feit dat de maximum pompdebiet zeker niet altijd gehaald zal worden. De methode is daarom relatief onnauwkeurig, vooral in situaties met een hoge schakelfrequentie (bijvoorbeeld DWA) doordat de capaciteit van de pomp en de inhoud van de kelder (schakelberging) onvoldoende op elkaar zijn afgestemd. Bovendien geldt dat het door een pomp geleverde debiet kan afwijken van de theoretische pompkromme, ten gevolge van in- en uitschakelverschijnselen, slijtage van onderdelen, alternerende pompen.

Omdat bij deze methode gebruik wordt gemaakt van de theoretische pompcapaciteit dient minimaal een controle plaats te vinden van de maximum pompcapaciteit door middel van een pompproef.

#### *Debietmeting via het waterstandsverloop in de pompput*

De aanvoer van afvalwater en de pompcapaciteit kunnen worden afgeleid uit het waterstandsverloop in de pompput/kelder, gedurende droogweerstandigheden (figuur 1).



Figuur 1: Bepaling droogweerafvoer pomp.

Voor de toepassing van deze methode gelden de volgende uitgangspunten:

- meting van de waterstand met een meetbereik vanaf de bodem van de pompput;
- inslagpeil pomp lager of gelijk aan de binnen onderkant buis van het aanvoerriool;
- voldoende schakelberging in de pompput/kelder;
- registratie van pomp aan/uit via draaiurenregistratie of anderszins;
- bergings-hoogte relatie van de pompput/kelder dient bekend te zijn.

Door de meting van de waterstand te combineren met de draaitijden kan eveneens de regenweerafvoer worden gemeten. De meeste gemaalcomputers bepalen het verpompt volume op basis van deze empirische methode, waarbij echter geen betere nauwkeurigheid dan ca. 5-10% verwacht mag worden. Omdat bij deze methode eveneens gebruik wordt gemaakt van de theoretische pompcapaciteit dient minimaal een controle plaats te vinden van de maximum pompcapaciteit door middel van een pompproef.



### *Debietmeting in uitgaande persleiding*

Het meten van de verpompte volumens in de uitgaande persleiding is de meest nauwkeurige meetopzet voor zowel DWA als RWA. Samenloop van pompen, tegendruk in de persleiding, wijziging in wrijvings- en vertragingverliezen e.d. uiten zich in een wijziging van de pompcapaciteit en zijn dus verdisconteerd in de meetwaarde. De initiële kosten zijn relatief hoog, maar deze verdienen zich zeker terug op de lange(re) termijn vanwege het beperkt aantal handmatige handelingen en lage onderhouds-/kalibratiefrequentie. De meest gebruikte vorm is een elektromagnetische debietmeting. Voor een zo hoog mogelijke nauwkeurigheid wordt geadviseerd het pompdebiet te loggen als verpompt volume (cumulatief). Het loggen van momentane pompcapaciteiten en latere omrekening naar volumens introduceert een extra fout omdat het momentane debiet, als gevolg van fluctuaties, niet representatief hoeft te zijn voor het tijdsinterval waarover het volume wordt berekend.

| 113

---

#### **Debietmeter**

In geval van renovatie van het hoofdgemaal van een bemalingsgebied valt te overwegen deze te voorzien van een debietmeter in de uitgaande persleiding. Ten opzichte van de totale renovatiekosten leidt de installatie van een debietmeter tot relatief geringe meerkosten. De meerwaarde is echter groot (signalering, registratie, sturing e.d.)

Het voorzien in afsluiters vergemakkelijkt een eventueel benodigde pompproef, naast andere benodigde onderhoudswerkzaamheden, aanzienlijk.

---

#### **Opstelling en onderhoud**

Bij de opstelling van een debietmeter in een persleiding dient rekening te worden gehouden met een voldoende in- en uitstroamlengte, die o.a. afhankelijk is van het type apparatuur. Een debietmeter in een uitgaande persleiding heeft doorgaans gering onderhoud nodig, omdat vuil weinig kans krijgt om aan te haken. Als richtlijn kan 1 à 2 x per jaar aan benodigd onderhoud worden aangehouden, afhankelijk van de lokale omstandigheden.

#### **Kalibreren meetapparatuur**

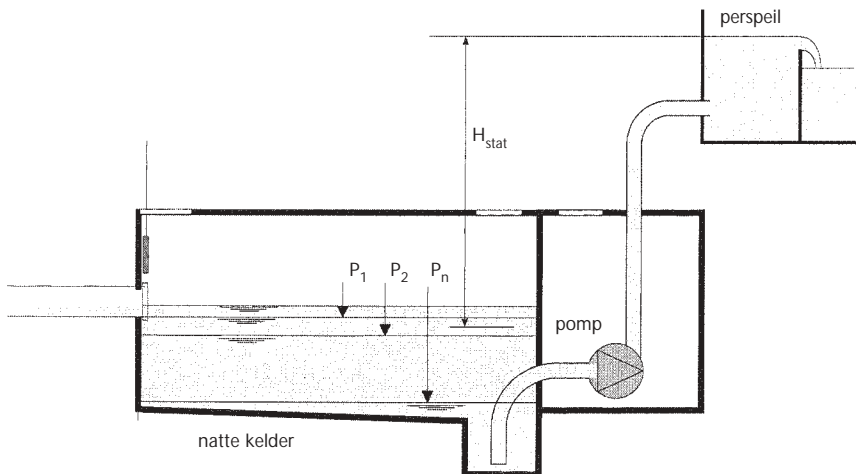
In gemalen met een natte kelder en een nauwkeurig bekende relatie tussen waterstand en volume van de natte kelder (berging-hoogterelatie) is een ijking op betrekkelijk eenvoudige wijze uit te voeren.

Voor het ijken van de pompcapaciteit dienen afsluiters te worden geplaatst in de aanvoerriolen en dient de pompput tot aan maaiveld te worden vol gezet met water (bijvoorbeeld aanvoer via giertank).

De werkwijze voor de ijking is als volgt. Op het moment dat het waterpeil in de natte kelder het peil (P1) van de pomp heeft bereikt wordt het waterniveau gemeten en wordt een tijdmeting gestart. Vervolgens wordt het tijdstip gemeten waarop het waterniveau 10 cm is gezakt (P2). De meting wordt gestopt bij een waterniveau (P3) waar beneden geen nauwkeurige berging-hoogterelatie meer bekend is. Op deze wijze ontstaat een Q-h relatie voor het perspeil wat op dat moment optreedt (figuur 2).

$$Q = \frac{\Delta P \cdot A}{\Delta t}$$

waarin:      Q    =    het totaal debiet (m<sup>3</sup>/s)  
                  P    =    de niveaudaling van het water (m)  
                  A    =    het gemiddelde horizontale natte oppervlak over P (m<sup>2</sup>)  
                  t    =    tijdsduur van de niveaudaling over P (s)



Figuur 2: Bepaling debiet pompput.

Eén enkele (statische) kalibratieproef volstaat om een schatting te vinden voor het te leveren debiet in de vorm van een Q-h relatie. Voor het verrichten van de pompproef is een voldoende hoeveelheid water nodig om de pompput vol te zetten, een handmatige niveaumeting en tijdsregistratie en een bergings-hoogte relatie.

---

### Samenloop pompen

Houdt rekening met samenloop van pompen. Voer in een dergelijke situatie de pompproef uit voor elke pomp afzonderlijk en beide pompen tezamen (3 pompproeven). Laat het onderstation in geval van samenloop het debiet registreren wat is gemeten bij samenloop. Maak tijdig de afweging of de te ondernemen stappen (qua tijd en kosten) nog in verhouding staan tot de kosten voor het aanbrengen van een debietmeter in de uitgaande persleiding.

Houdt ook rekening met de mogelijke aanwezigheid van een frequentieomvormer. Het programmeren van een Q-h relatie is in een dergelijk geval niet zinvol omdat Q kan variëren voor h.

---

Mocht uit de debietmetingen of pompproef blijken dat de afvoer significant afwijkt van de gewenste capaciteit, dan valt het te overwegen eerst de pomp te vervangen voordat de praktijkmetingen al dan niet in aangepaste vorm worden voortgezet.

---

### Invloed perspeil

De benodigde capaciteit van een rioolgemaal wordt bepaald door het te overbruggen verschil in waterstand (statische opvoerhoogte) en de te overwinnen weerstand (dynamische opvoerhoogte). De statische opvoerhoogte is het verschil in zuig- en perspeil. De dynamische opvoerhoogte wordt in hoofdzaak gevormd door de weerstand van de persleiding als gevolg van de diameter, wandruwheid, knik- en bochtverliezen, in- en uittredeverliezen etc. Ten tijde van de pompproef zal het perspeil de waarde hebben van de hoogte van de uitstroomopening in de ontvangstput tenzij de waterstand in de ontvangput hoger staat dan de hoogte van de uitstroomopening. Zowel de hoogte van de uitstroomopening als de dan geldende waterstand in de ontvangstput dienen tijdens de pompproef te worden genoteerd.

---

De mogelijke variatie in waterstand tussen de hoogte van de uitstroomopening en de plaatselijke maaiveldhoogte ( $\Delta h_{\text{pers}}$ ) introduceert derhalve een fout. De relatieve fout ten aanzien van de statische + dynamische opvoerhoogte ( $\Delta h_{\text{tot}}$ ) bedraagt  $\Delta h_{\text{pers}}/\Delta h_{\text{tot}}$ . Uit de theoretische pompcurve kan vervolgens het verschil in pompcapaciteit worden afgelezen ter inschatting van de invloed van het perspeil. Indien het verschil groter is dan 10-15% dan is verwaarlozing van het perspeil niet acceptabel en is een meer nauwkeurige meetopzet noodzakelijk.

## Bijlage 4 Meten overstort-/doorlaatdebieten

In theorie is het mogelijk om aan de hand van een waterpeilmeting het debiet dat over een overstort of door een doorlaat gaat te bepalen. Echter de algemeen gehanteerde relaties tussen debiet en waterpeil voor overlaten/doorlaten zijn zelden of nooit zonder meer toepasbaar in situaties zoals deze optreden in de rioleringspraktijk. Als regel is hiervoor de bepaling van de Q-h relatie van de elke individuele constructie noodzakelijk.

### Nauwkeurigheid, frequentie en bereik

Aanvullend op de algemene opmerkingen die gemaakt zijn voor waterpeilmetingen geldt bij de toepassing als debietmeting het volgende:

116 | De te kiezen nauwkeurigheid van de waterpeilmeting moet worden gebaseerd op de gewenste nauwkeurigheid van de debietmeting.

Opgemerkt wordt dat het erg weinig zin heeft een zeer nauwkeurige meting van de waterstand te doen zonder dat de Q-h relatie met een nauwkeurigheid in de dezelfde orde van grootte is bepaald. Het zondermeer uitgaan van theoretische Q-h relaties wordt afgeraden indien grotere nauwkeurigheden dan circa 20 tot 30% worden verwacht. Tevens moet bij er bij gebruik van theoretische Q-h relaties worden gerekend op systematische afwijkingen.

Het ontstaan van nulpuntsdrift (in tijd of qua referentiepeil) moet minimaal zijn

Als regel zal worden gekozen voor een klein meetbereik, dit houdt in dat de sensor gedurende lange perioden droog staat. Dit houdt ondermeer in dat de sensor relatief gevoelig is voor vervuiling. Regelmatige controle is dan ook noodzakelijk.

Nauwkeurige vastlegging van de geometrie van de overstort/doorlaat is noodzakelijk (denk hierbij b.v. aan het exact inmeten van het drempelpeil, zuiver horizontaal stellen van de overstortrand).

Een belangrijk aspect is de juiste instelling van het meetbereik en de keuze van een hoge resolutie. Als regel zijn sensoren in te stellen op verschillende meetbereiken. Bij een groot meetbereik neemt de resolutie af (niet te verwarren met meetnauwkeurigheid) terwijl bij een klein meetbereik de resolutie toeneemt. Als regel is bij overstorten een klein meetbereik (van even beneden drempelpeil tot maaiveldpeil) te prefereren.

Omdat er op zeer kleine tijdschaal significante veranderingen in het debiet kunnen plaatsvinden is een hoge meet- c.q. opslagfrequentie noodzakelijk. Als eerste indicatie kan een frequentie van eens per 1 tot 3 minuten worden aangehouden. Met name bij het berekenen van het overstortingsvolume uit de gemeten debieten of als de debietmeting wordt gebruikt voor de aansturing van een monstername apparaat dan is een hoge meetfrequentie van cruciaal belang.

In het geval van een doorlaat moet worden uitgegaan van een waterpeilverschil waarbij tevens een potentieel groot meetbereik van de afzonderlijk peilmetingen (boven- en benedenstrooms) noodzakelijk is. Deze twee eisen (hoge nauwkeurigheid (c.q. resolutie) versus groot meetbereik) zijn in de praktijk strijdig. Daarom is het in het geval van doorlaten aan te bevelen een waterstandsverschilmeting uit te voeren waarbij uitgaande van een drukverschilmeting het debiet kan worden bepaald.

### Meetmethoden

Er bestaan grofweg twee meetmethoden voor het meten van overstort-/doorlaatdebieten:

- meten van waterstand(en);
- meten van leidingdebieten.

| 117

Aangezien het meten van leidingdebieten beperkt mogelijk is meting van de waterstand een meer praktische optie. Voor het meten van leidingdebieten (aanvoerleiding(en) richting overstortput en afvoerleiding doorlaat) wordt verwezen naar bijlage 5.

In het geval van een waterstandsmeting kan voor korte volkomen overlaten worden volstaan met de meting van de overstorthoogte. Om het drukverschil over een doorlaat te meten is een boven- en benedenstroomse meting benodigd. Voor korte overlaten met een onderdoorlaat geldt dat het debiet (boven + onder) kan worden berekend uit de optelsom van de Q-h relatie van de overlaat en de Q-h relatie van de doorlaat.

### Opstelling en onderhoud

Voor een zo betrouwbaar mogelijke meting dient een horizontale rand aan de bovenstroomse zijde van de overstortdrempel te worden aangebracht en dient de waterstandsmeter op een zo groot mogelijke afstand, bij voorkeur minimaal 4 maal de maximale straaldikte bovenstrooms van de overstortdrempel, te worden gesitueerd (RIONED, 2001).

Voor het benodigd onderhoud wordt verwezen naar het onderhoud van waterpeilmeters (bijlage 2) en/of debietmeters (bijlage 5).

### Kalibreren overstort

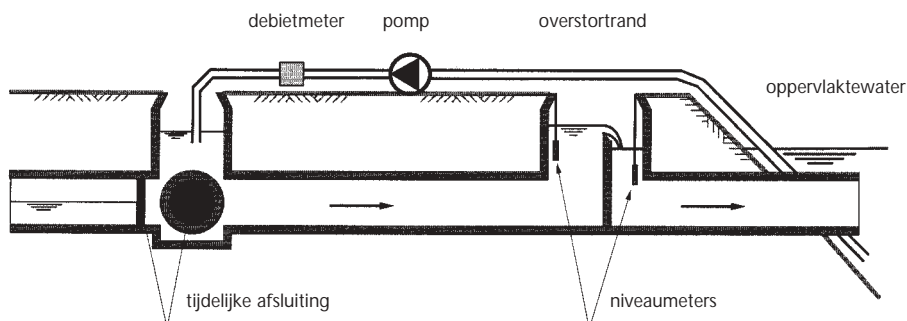
De kalibratie van een korte volkomen overlaat bestaat eigenlijk uit niets anders dan het verpompen van water met een reeks bekende debieten over de te kalibreren overlaat onder gelijktijdige meting van de overstorthoogte. Uit de verkregen meetgegevens, debieten en overstorthoogtes, is de Q-h-relatie te berekenen door langs wiskundige weg de coëfficiënten  $\alpha$  en  $\beta$  te bepalen in de afvoervergelijking:

$$Q = \alpha h^\beta = \mu b h^\beta \quad (1)$$

De waarden voor  $\alpha$  en  $\beta$  worden verkregen via een kalibratiemeting. Een uitgebreid protocol hiervoor is gegeven in Veldkamp en Clemens (2001).

In de praktijk blijkt dat een nauwkeurigheid van 20 tot 2 à 5 % haalbaar is, de hoge percentages zijn van toepassing op de lage debieten (waterstanden enkele millimeters boven drempelpeil), de lage percentages zijn van toepassing op grotere debieten (waterstanden van enkele centimeters tot decimeters). Het principe van de meetopstelling voor kalibratie is weergegeven in figuur 3.

118 |



Figuur 3: Principe van de meetopstelling voor de veldkalibratie van een overstortput.

Voor het kalibreren wordt gebruik gemaakt van oppervlaktewater, bij voorkeur water dat in de onmiddellijke nabijheid van de te kalibreren overstort ligt. Aangeraden wordt om het oppervlaktewater te gebruiken waarop de overstort loost. Het water wordt het rioolstelsel ingepompt op een voldoende grote afstand van de overstort. Deze afstand is nodig om een rustige, gelijkmatig verdeelde aanstroming te verkrijgen. Omdat tijdens de kalibratie gewerkt wordt met gecontroleerde debieten mag absoluut geen vermeniging optreden met andere waterbronnen. Dat betekent dat alle toevoerriolen moeten worden afgesloten. Na het aanbrengen van de afsluiters moet worden gecontroleerd of er geen lekkages optreden. Dit kan door oppervlaktewater toe te voeren tot de overstort in werking treedt, waarna de pomp wordt stilgezet. De waterspiegel mag niet onder de kruin van de overstort dalen. Het leeglopen van het stelsel via de overstortrand is gelijktijdig een visuele controle of de overstortrand nauwkeurig waterpas is gemonteerd. Zodra het laatste water aan één kant verdwijnt is dat een indicatie dat de rand niet waterpas is.

In de persleiding van de pomp is een gekalibreerde debietmeter opgenomen die bijvoorbeeld werkt volgens het principe van magnetische inductie. Na de debietmeter is een afsluiter geplaatst waarmee de gewenste debieten kunnen worden ingesteld.

In de overstortput is een niveaumeter gemonteerd op voldoende afstand van de overstortrand. Deze meter zal in het geplande onderzoek worden gebruikt voor het meten van de overstorthoogte.

Om de invloed van meetfouten tot een minimum te beperken is het van het grootste belang dat beide te meten grootheden, het debiet en de overstorthoogte, heel nauwkeurig worden bepaald. Dit geldt vooral voor de overstorthoogte. Daarom wordt het ten sterkste aanbevolen om naast deze niveaumeter een parallelle hoogtemeting te installeren met behulp van een peilnaald. De peilnaaldmeting bestaat uit een meetvat dat met een leiding is verbonden met de overstortput. Boven het vat wordt een peilnaald opgesteld. De opstelling moet stabiel zijn, zodat tijdens de kalibratie geen verplaatsingen kunnen optreden. De niveaumeting met de peilnaald is zeer nauwkeurig omdat deze tot op 0,1 mm is af te lezen. De peilnaaldmeting wordt bij voorkeur gebruikt voor de gegevensuitwerking en dient tevens om een eventuele systematische afwijking in de niveaumeter aan het licht te brengen.

| 119

De overstorthoogte wordt bepaald bij een reeks debieten variërend van 0 tot het hoogste te verwachten debiet (het spreekt voor zich dat de capaciteit van de pomp of pompen voldoende moet zijn). De kalibratie wordt gedaan bij een reeks opgaande debieten gevolgd door dezelfde reeks neergaande debieten.

Begonnen wordt met de nulpuntsbepaling. Het toevoerriool wordt volgepompt tot de overstort in werking treedt, waarna de pomp wordt stilgezet. Daarna wordt zolang gewacht tot er geen water meer overstort. Omdat dit theoretisch een oneindige lange tijd in beslag neemt, bestaat dikwijls de neiging om te snel het nulpunt vast te stellen. Aangeraden wordt om tenminste 30 minuten te wachten na het stilzetten van de pompen. De aflezing van de niveaumeter wordt als nul genoteerd, evenals de aflezing van de peilnaald.

Vervolgens wordt het laagste debiet ingesteld en gewacht tot de debietmeter een constante waarde aangeeft. Het niveau van de meter en de peilnaald worden genoteerd. Dit herhaalt zich tot alle debieten in op- en neergaande richting zijn doorlopen. (Veldkamp & Clemens (2001)).

### Kalibreren doorlaat

De kalibratie van een doorlaat komt in grote lijnen overeen met de kalibratie van een korte overlaat. Uit de verkregen meetgegevens, debieten en waterstanden, is de Q-dh-relatie te berekenen door langs wiskundige weg de coëfficiënten  $\alpha$  en  $\beta$  te bepalen in de afvoervergelijking:

$$Q = \alpha(dh)^\beta = \mu A(dh)^\beta \quad (2)$$

De waarden voor  $\alpha$  en  $\beta$  worden verkregen via een kalibratiemeting. Een uitgebreid protocol hiervoor is gegeven in Veldkamp en Clemens (2001). Voor de kalibratieproef dient de waterstand zowel boven- als benedenstrooms van de doorlaat te worden gemeten.



## Bijlage 5 Meten leidingdebieten

Het meten van debieten in rioolleidingen is een orde moeilijker dan het meten van waterstanden, met name het meten in individuele vrijverval strengen is zeer lastig en wordt ontraden tenzij er een zeer dwingende reden is om in een bepaalde streng het debiet te willen weten. De moeilijkheid van het meten van debieten in een vrijverval riool zijn:

- Potentiële omkering van stroomrichting (vlakke vermaasde rioolstelsels). Alleen zeer kostbare apparatuur kan hiermee omgaan.
- Zeer lage stroomsnelheden (daardoor zeer lage nauwkeurigheid).
- Slechte toegankelijkheid.

| 121

### Nauwkeurigheid, frequentie en bereik

Het kiezen van een meetbereik, indien niet wordt gemeten achter een gemaal, is minder eenvoudig dan in het geval van waterpeilmetingen. Een goede eerste indicatie kan worden verkregen met behulp van een rekenmodel of een handmatige schatting van het maximaal te verwachten debiet op een bepaalde locatie.

Omdat er op zeer kleine tijdschaal significante veranderingen in het debiet kunnen plaatsvinden is een hoge meet- c.q. opslagfrequentie noodzakelijk. Als eerste indicatie kan een frequentie van eens per 1 tot 3 minuten worden aangehouden.

De nauwkeurigheid van de debietmeting in vrij-verval leidingen is sterk afhankelijk van de condities en gehanteerde meetmethoden.

### Meetmethoden

Het meten van de droogweerafvoer in deels gevulde vrijverval leidingen is nog volop in ontwikkeling. Er bestaan diverse meettechnieken ter bepaling van de afvoer in (deels gevulde) leidingen. Het betreft de hydraulische methode (Venturi-kanaal), de  $v \cdot A$ -methode, gecombineerde sensoren (h en v), gescheiden sensoren (h en v) en een op magnetische inductie gebaseerde methode. Nieuwe ontwikkelingen zijn de toepassing van radartechnieken en correlatiemethoden waarbij van bovenaf wordt gemeten en de stroming niet wordt beïnvloed door de meetsensor.

#### *Droogweerafvoer*

De meeste experimenten vinden plaats m.b.v. de 'snelheids-hoogte sensor' (het zogenaamde meetschoentje). Door een opeenstapeling van meetonnauwkeurigheden kan de meetfout met betrekking tot de snelheidsmeting wel oplopen tot ca. 30% (Rioleringswetenschap, 2001, Katholieke universiteit Leuven, 1995). Met name de verstoring van de waterstand als gevolg van de meetsensor (door opstuwing) levert een bijdrage aan de totale meetfout, die sterker doorwerkt bij lage waterstanden. Aangezien de

droogweerafvoer doorgaans gepaard gaat met lage waterhoogten, kan een dergelijke praktijkmeting hooguit worden gebruikt voor een ruwe schatting van de droogweerafvoer.

---

Door bij het dimensioneren of bij de bouw van rioolstelsels rekening te houden met de benodigde installatie van meetapparatuur en de bijbehorende voorwaarden, kunnen de meetfouten en de meetkosten aanzienlijk worden gereduceerd.

---

### **Regenweerafvoer**

Indien de afvoerleiding is gedimensioneerd op ca. 3-5x DWA mag worden verwacht dat onder regenweerstandigheden de vullingsgraad in de afvoerleiding redelijk snel nadert tot 100%. De onzekerheid in debietmeting als gevolg van lage waterstanden speelt in dergelijke situaties veel minder een rol waardoor de v-h methode kan worden toegepast.

Met behulp van een elektromagnetische debietmeter in de leiding kan het debiet met een vrij hoge nauwkeurigheid worden bepaald (tot zelfs 0,5%). Het nadeel is dat de investeringen, zeker voor leidingdiameters groter dan 400 mm, hoog zijn.

Indien kan worden volstaan met een lagere meetnauwkeurigheid (ca. 5-10%) vormt een ultrasoonmeting eveneens een goed alternatief. Het voordeel van de ultrasoonmeting is dat deze op eenvoudige wijze met betrekkelijk goedkope middelen kan worden uitgevoerd. Hiertoe dient op minimaal twee plaatsen in het riool een zender/ontvanger te worden geplaatst.

In geval van lozing op grote vrij-verval riolen (ter indicatie > 500 mm) wordt de onzekerheid in debietmeting groter naarmate de buisdiameter toeneemt. In een dergelijk geval wordt geadviseerd een gespecialiseerd bedrijf in te schakelen.

### **Opstelling en onderhoud**

Bij de opstelling van meetapparatuur in vrij-verval leidingen dient rekening te worden gehouden met de aanstroomcondities. Verder is het aan te raden om de meetapparatuur goed toegankelijk te installeren. Het aanhaken van vuil aan de meetsensor is het meest voorkomende probleem bij dergelijke metingen, waardoor regelmatig onderhoud vereist is.

## Bijlage 6 Voorbeeld kalibreren rioolstelsel Loenen

In deze bijlage is het resultaat weergegeven van de toepassing van de kalibratiemethode zoals beschreven in hoofdstuk 7 van het hoofdrapport. In dit voorbeeld is gerekend met het ongeschematiseerde rekenmodel van Loenen.

Indien een hoge graad van nauwkeurigheid wordt nagestreefd in de kalibratie dan is een eerste te nemen stap het bepalen van het DWA lozingenpatroon. Het nauwkeurig kennen van de grootte en het verloop van de DWA is van cruciaal belang bij modelkalibratie omdat hiermee in belangrijke mate het waterstandsverloop tijdens leegpompen na buien wordt bepaald. Voor de meetopzet wordt verwezen naar het hoofdrapport.

| 123

Bij het bepalen van het lozingen patroon wordt uitgegaan van de door het gemaal verpompte hoeveelheden per tijdseenheid (bijvoorbeeld per uur). Het patroon van verpompte hoeveelheden wordt (na uitdemping en tijdsverschuiving) bepaald door de optelsom van de lozingspatronen van alle in het bemalingsgebied aanwezige gebruikers. In de praktijk is het onmogelijk om al deze patronen te meten. Daarom wordt aangenomen dat alle lozers volgens één patroon lozen. Bij de bepaling van het DWA lozingenpatroon wordt als volgt te werk gegaan:

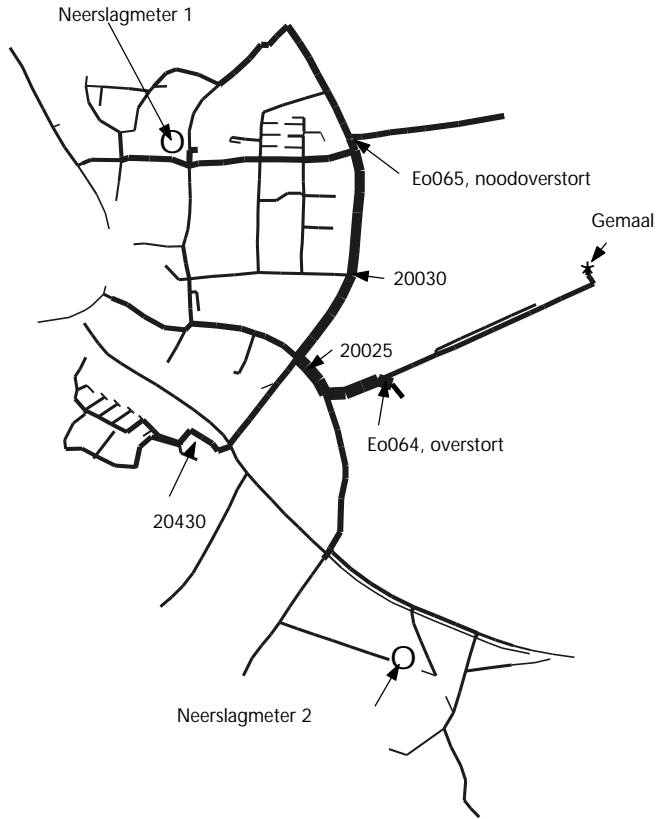
In eerste instantie wordt het waargenomen pomppatroon (dus DWA afvoerpatroon) als DWA-belastingspatroon aangenomen. Uit het theoretisch berekende lozingspatroon volgt een eerste waarde voor zowel de tijdverschuiving als voor de mate van demping van de maximale waarden. Door dit proces een aantal malen te herhalen wordt betrekkelijk snel (meestal binnen 2 of 3 iteraties) een zeer goede overeenstemming tussen gemeten DWA afvoerpatroon en rekenresultaat verkregen.

Vervolgens worden de volgende keuzen gemaakt:

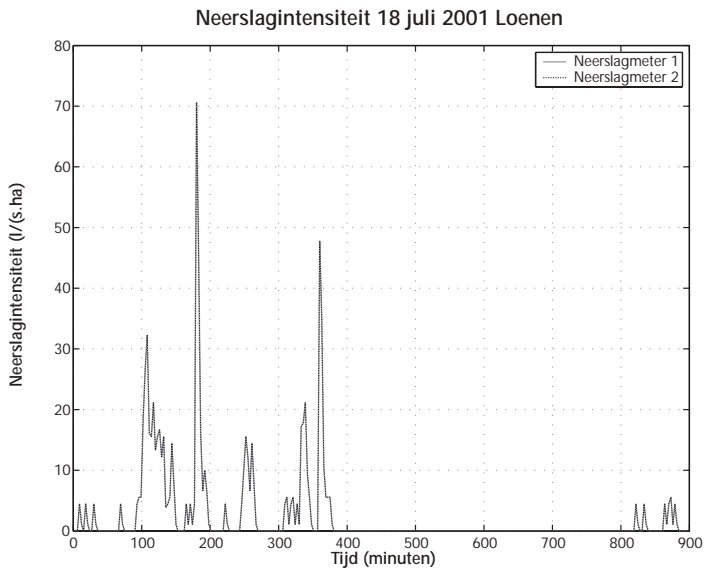
- een hydrodynamisch model conform Leidraad Riolerings module C2100;
- parameters:
  - gemiddelde waarde van de DWA
  - overlaatcoëfficiënt
  - initiële verliezen en berging op straat
  - infiltratie capaciteit
  - coëfficiënt afvoervertraging.

De laatste drie genoemde coëfficiënten voor drie typen oppervlak.

Voor het voorbeeld is uitgegaan van het rioolstelsel van Loenen (gemeente Apeldoorn), in figuur 4 is het meetnet weergegeven.



Figuur 4: Meetnet Loenen.



---

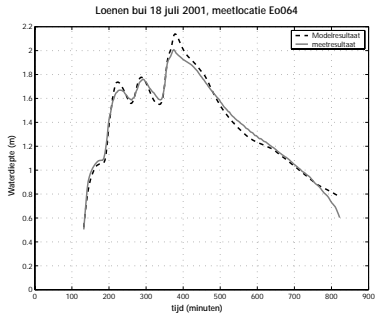
Figuur 5: Verloop neerslagintensiteit op 18 juli 2001.

Als voorbeeld wordt de bui gevallen op 18 juli 2001 gebruikt, het verloop van de neerslagintensiteit is weergegeven in figuur 5.

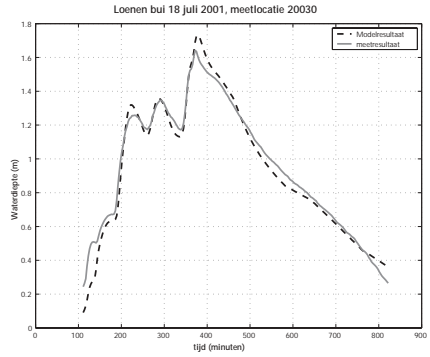
De bij deze bui gemeten en na kalibratie verkregen waterstanden zijn weergegeven in figuur 6 t/m figuur 9.

In deze figuren zijn de resultaten na kalibratie weergegeven in termen van waterstanden op de verschillende meetlocaties. Het valt op dat met name tijdens de overstortingsfase (tussen  $t=350$  en  $t=450$  minuten) er een belangrijke systematische fout aanwezig is en dat ditzelfde geldt voor de leegpompfase.

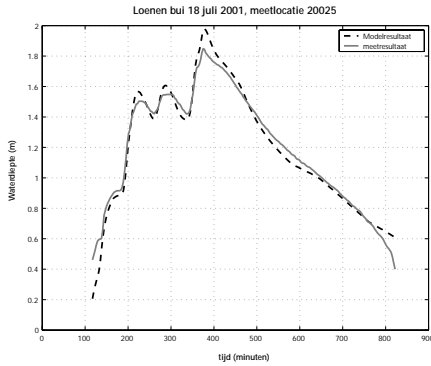
Door de residuën grafisch uit te zetten in de tijd of als cumulatieve verdelingsfunctie wordt deze afwijking beter zichtbaar (zie figuren 10 en 11).



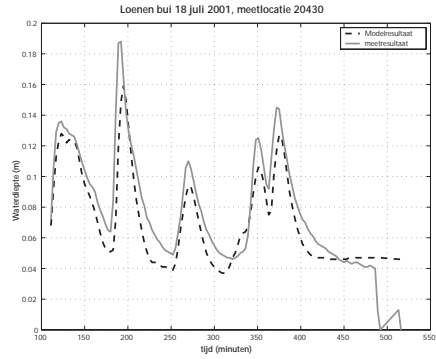
Figuur 6: meetpunt E0064.



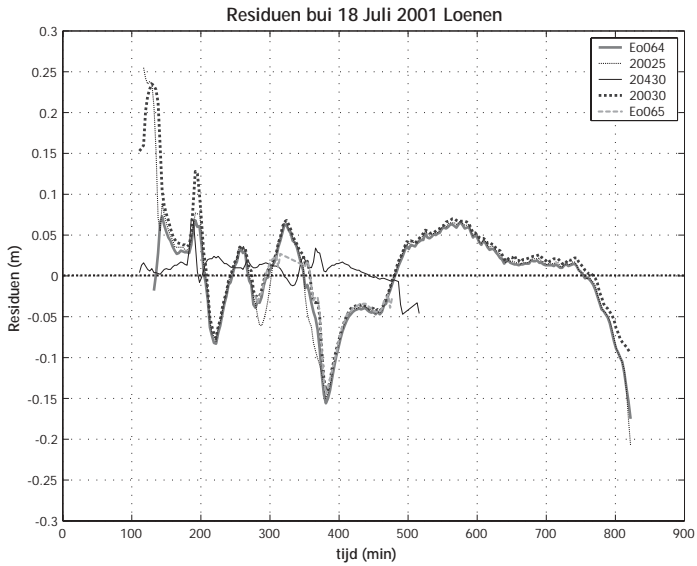
Figuur 7: meetpunt 20030.



Figuur 8: meetpunt 20025.

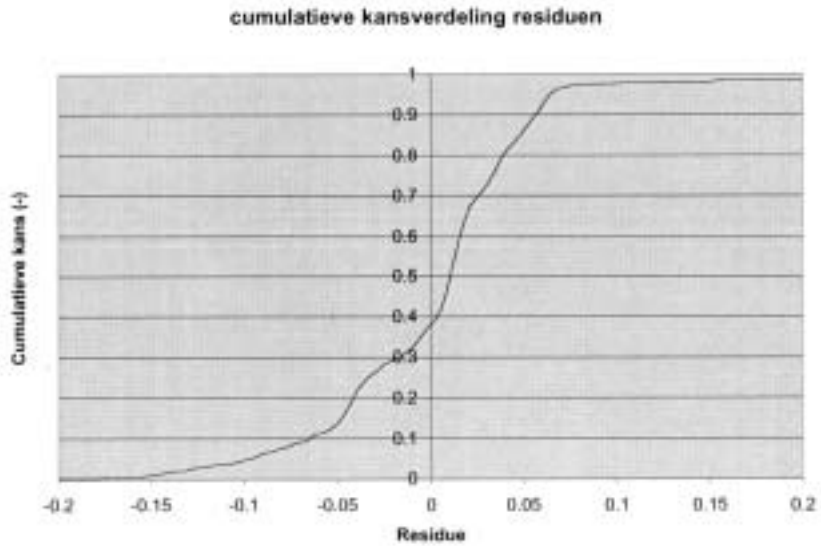


Figuur 9: meetpunt 20430.



Figuur 10: Residuen voor verwijdering geometrische fout.

---

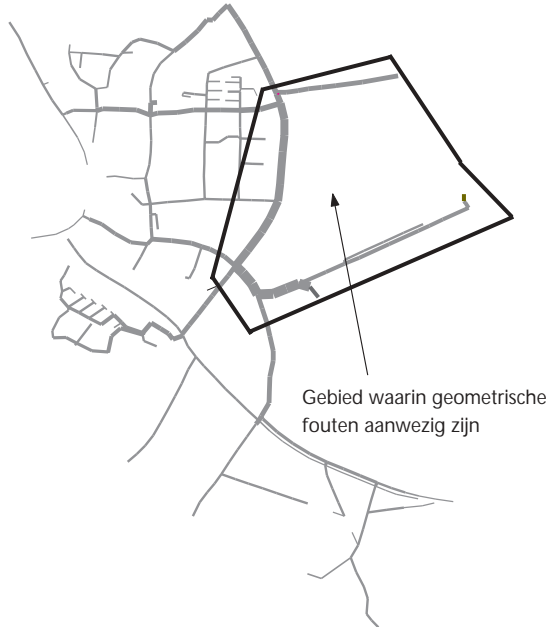


Figuur 11: Verdelingsfunctie residuen voor verwijdering van geometrische fouten.

Uit figuur 11 kan worden afgelezen dat ca. 80% van het rekenresultaat een afwijking van 5 cm onderschrijdt. Uit figuur 10 kan worden afgelezen dat de meetpunten 20030 en 20025 de grootste afwijking vertonen, waaruit blijkt dat er nog geometrische fouten aanwezig moeten zijn in de database, deze moeten zijn gelegen in het in figuur 12 aangegeven gebied.

---

128 |



---

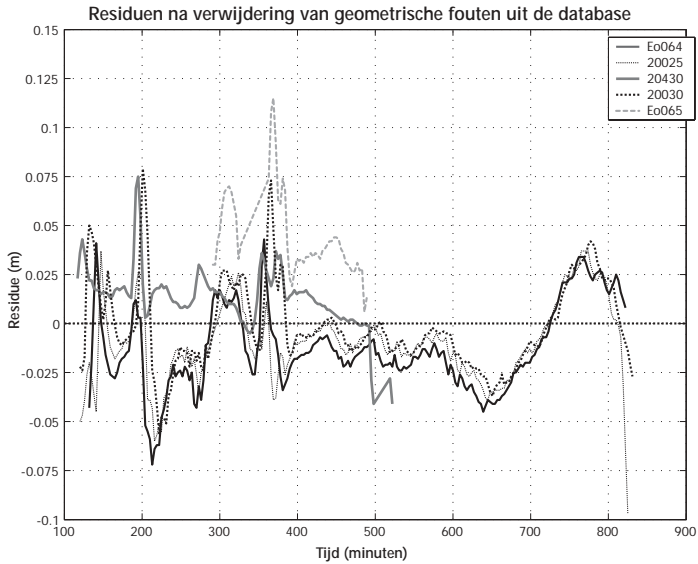
Figuur 12: Locatie gebied met geometrische fout.

Op basis hiervan is een veldinspectie uitgevoerd waarbij bleek dat:

- Het peil van de overstordrempel circa 25 cm lager was dan opgegeven.
- De BOB's van een tweetal leidingen met circa 10 cm afweek van de waarden in de database.

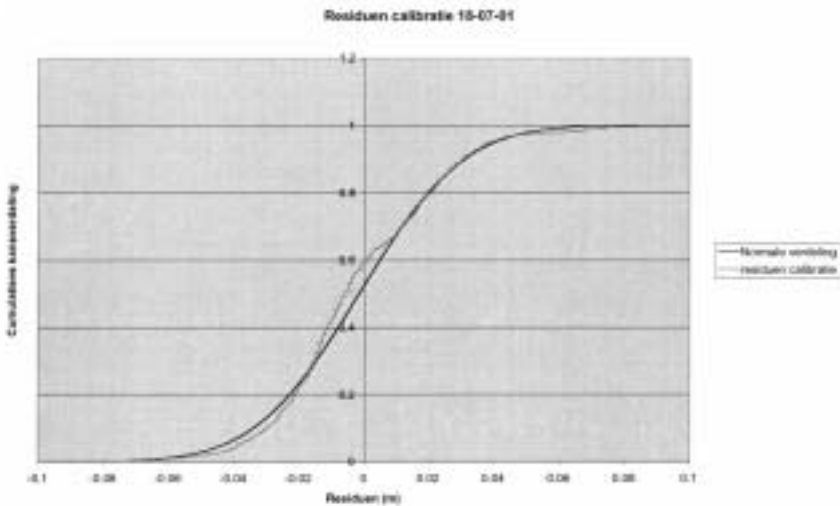
Na verwerking van deze gegevens is de kalibratie opnieuw uitgevoerd. De resultaten zijn hierna weergegeven.



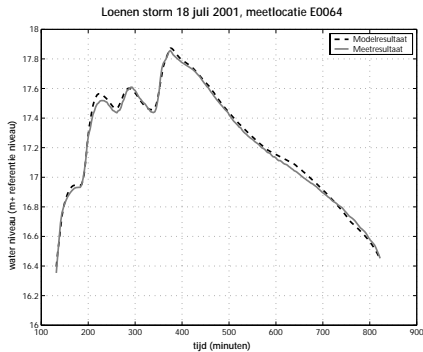


Figuur 13: Residuen na verwijdering geometrische fouten.

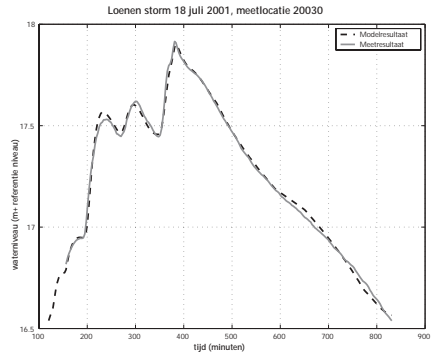
Met name in de vergelijking tussen figuur 10 en figuur 13 is het effect duidelijk waarneembaar (let op de figuren hebben verschillende schalen op y-as). Ook de verdeling van de residuen benadert de normale verdeling aanzienlijk beter dan voorheen, vergelijk figuur 11 met figuur 14.



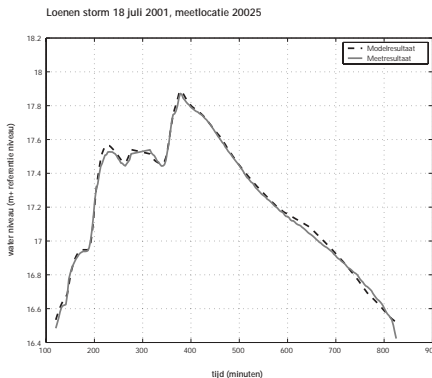
Figuur 14: Cumulatieve verdeling residuen na verwijdering van de geometrische fouten uit de database.



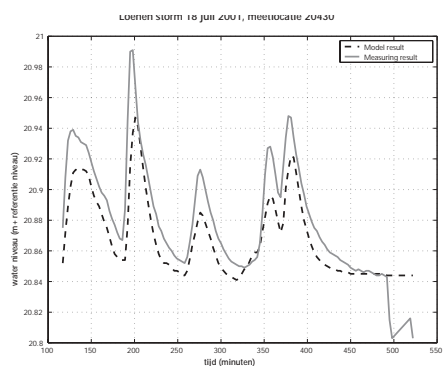
Figuur 15: meetpunt E0064.



Figuur 16: meetpunt 20030.



Figuur 17: meetpunt 20025.



Figuur 18: meetpunt 20430.

In figuur 15 t/m figuur 18 zijn de resultaten in termen van waterstanden (gemeten en gemodelleerd) weergegeven. Vergelijken met de eerder behaalde resultaten (dus voor verwijdering van geometrische fouten uit de database) is te zien dat er een aanzienlijk betere 'match' is tussen meet- en rekenresultaat. Overigens zijn er nog steeds systematische afwijkingen, deze liggen in de orde van grootte van centimeters. Het is wel mogelijk, maar weinig zinvol om nog energie te stoppen in de verwijdering hiervan, de onderliggende oorzaken moeten worden gezocht in:

- Slibafzettingen in de riolering (niet gemodelleerd).
- Kleine afwijkingen als gevolg van processen in de inloop die niet zijn meegenomen.
- Kleine afwijkingen in het pompdebiet ten gevolge van verandering in waterdruk aan de zuigzijde van de pomp.

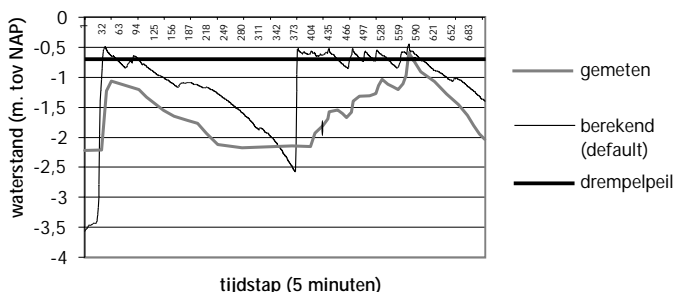
## Bijlage 7 Voorbeeld kalibreren inlooppparameters (aangepast model)

In deze bijlage is het resultaat weergegeven van de toepassing van de schattingsmethode voor inlooppparameters (zoals beschreven in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport) voor een enkele bui en een buienreeks. In tegenstelling tot het voorbeeld van Loenen is er in dit voorbeeld gewerkt met een aangepast model (bakmodel).

### 7.1 Enkele bui

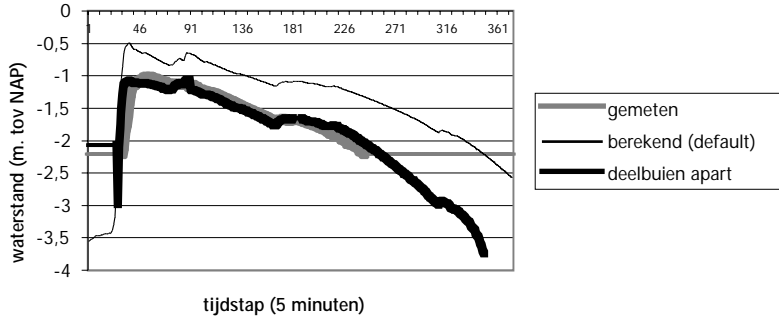
De schattingsmethode is toegepast op een bemalingsgebied dat is geschematiseerd tot een bakmodel. Alleen de vetgedrukte inlooppparameters zijn in het inloopmodel verdisconteerd. De methode is toegepast op een neerslaggebeurtenis van 3 en 4 september in 2001. De gemeten en berekende waterpeilen (default parameterwaarden) zijn uitgezet in figuur 19.

| 131



Figuur 19: Gemeten en berekende waterstand (default inlooppparameters, berekening op strengniveau).

Wat opvalt in figuur 20 is dat in het eerste deel van de bui de berekende waterstand, met uitzondering van het verschil in hoogte, het verloop van de gemeten waarden goed volgt. Het tweede deel van de bui toont met name in het begin van de meetwaarden een relatief grote afwijking, alsof het grootste deel van de bui niet tot afstroming komt. Voor beide bui-delen zijn, op basis van de kleinste kwadratenmethode, de inlooppparameters afzonderlijk geschat en vervolgens voor de bui als totaal.



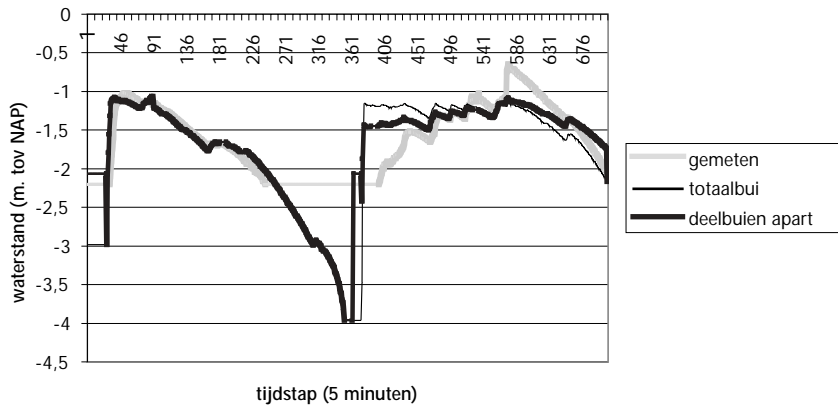
Figuur 20: Gemeten en op inloop gecorrigeerde waterstand (bui-deel 1).

132 |

Het resultaat van de methode is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Resultaat van de parameterschatting.

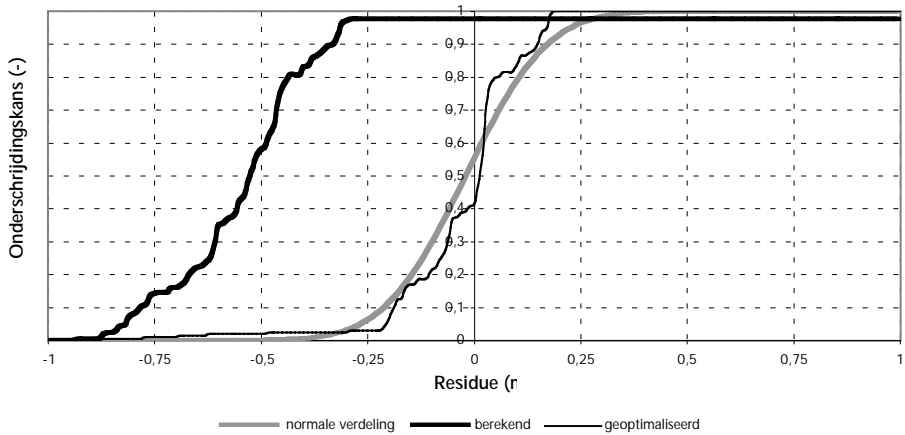
Inloopp parameter	Beschrijving	eenheid	bui-deel 1 (3 sept)	bui-deel 2 (4 sept)
$l_{max}$	maximum infiltratiecapaciteit	mm/h	11	42
$l_a$	afname infiltratiecapaciteit	mm/h	0,1	0,1
B	berging op straat	mm	3	2



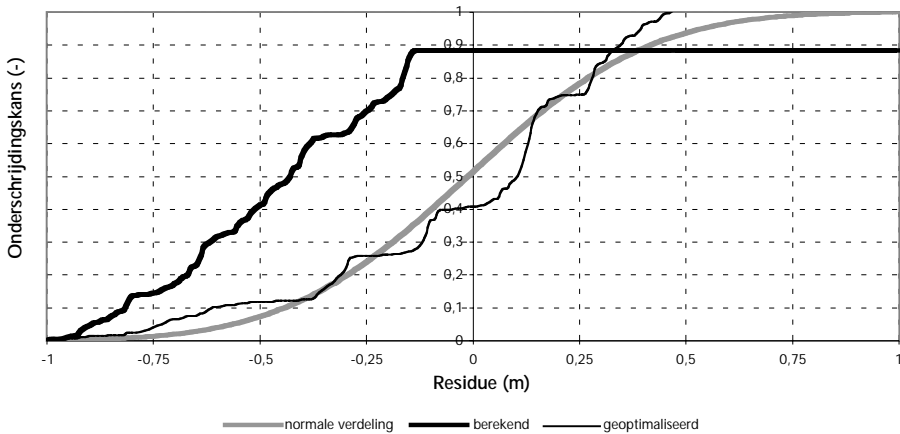
Figuur 21: Berekening met gevonden inloopparameters voor deelbui 1, deelbui 2 en de totale bui.

Voor deelbui 2 wordt het beste resultaat verkregen voor  $I_{max} = 42 \text{ mm/h}$ . Bij een dergelijke infiltratiecapaciteit bedraagt de berging op straat 2 mm i.p.v. 3 mm, wat zou kunnen duiden op minder beschikbare berging op straat of vlakke daken.

De verdeling van de residuen is weergegeven in figuur 22 en figuur 23, hieruit blijkt duidelijk dat, ondanks de nog resterende afwijking, het resultaat van de parameterschatting voor deelbui 2 aanzienlijk minder is (grotere spreiding).



Figuur 22. Cumulatieve verdelingsfunctie residuen, deelbui 1.



Figuur 23. Cumulatieve verdelingsfunctie residuen, deelbui 2.

Onder de aanname dat er tussen deelbui 1 en deelbui 2 geen principieel verschil bestaat in mogelijke afwijkingen, anders dan de inloop, is de meest plausibele verklaring voor het verschil in  $I_{max}$  voor beide deelbuien dat  $I_{max}$  afhankelijk is van de neerslagintensiteit of het vochtgehalte van de bodem/bestrating. Meest opvallende in deze exercitie is de waarde voor  $I_a$ , deze bedraagt slechts 0,1 mm/h (default gemiddeld ca. 10 mm/h). Met andere woorden, de infiltratiecapaciteit neemt veel minder snel af dan theoretisch wordt verondersteld. Deze bevinding strookt met de bodemkundige theorie waarin wordt gesteld dat het vochtgehalte van grond grote invloed heeft op de

doorlatendheid van de grond. Naarmate grond natter wordt, neemt de doorlatendheid toe. Dit komt doordat water alleen stroomt door met water gevulde poriën. Als de poriën met lucht gevuld zijn, moeten ze zich eerst geheel of gedeeltelijk met water vullen voor ze gaan bijdragen aan de doorlatendheid (Locher en Bakker, 1990).

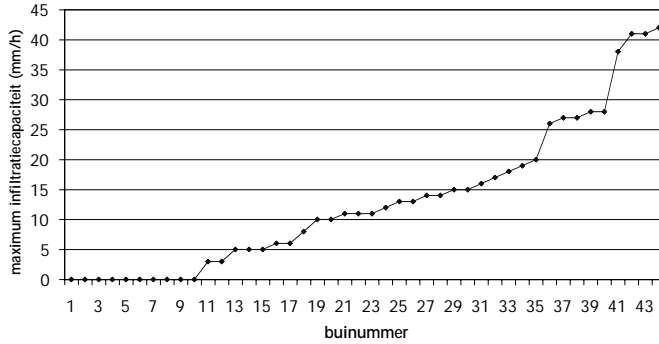
## 7.2 Buienreeks

De schattingsmethode is eveneens toegepast op een neerslagreeks van ca. 8 maanden. Het betreft een gemengd rioolstelsel met 9,3 ha verhard oppervlak, 8 mm bergingsinhoud, een pompoevercapaciteit van 0,7 mm/h en 30% open verharding. Het 'gemeten' waterstandsverloop is gefingeerd door de buienreeks op strengniveau door te rekenen met een maximum infiltratiecapaciteit van 20 mm/h (i.p.v. 2 mm/h) en een afnamecapaciteit van 0,1 /h (i.p.v. 0,05 /h). Het op deze wijze verkregen waterstandsverloop vormt als 'gemeten' waterstandsverloop de input voor de schattingsmethode op bakniveau.

| 135

Voor elke bui afzonderlijk is de set van inlooppparameters met qua afwijkingen het kleinste kwadraat geschat en vervolgens het gewogen gemiddelde van deze parameters voor de gehele reeks.

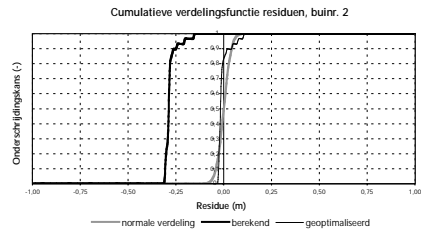
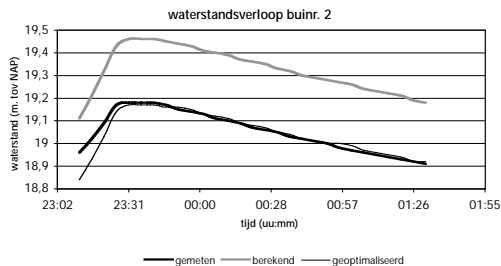
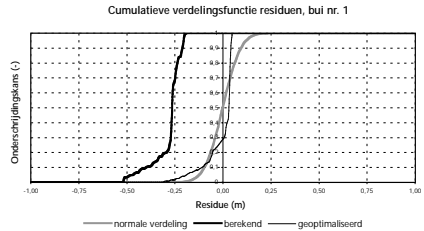
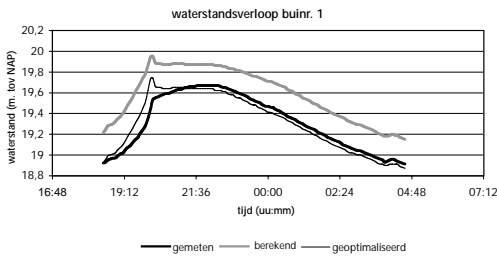
De schattingsmethode resulteert overigens niet in een eenduidige en dezelfde set van inlooppparameters per bui en/of per reeks. Per bui worden verschillende waarden geschat voor de maximum infiltratiecapaciteit ( $I_{max}$ ), berging op straat ( $B$ ) en de afnamesnelheid van de infiltratiecapaciteit ( $I_a$ ). Dit kan o.a. worden verklaard doordat verschillende combinaties van  $I_{max}$ ,  $I_a$  en  $B$  tot hetzelfde neerslagverlies kunnen leiden. De variatie in de geschatte maximum infiltratiecapaciteit per bui is weergegeven in figuur 24.



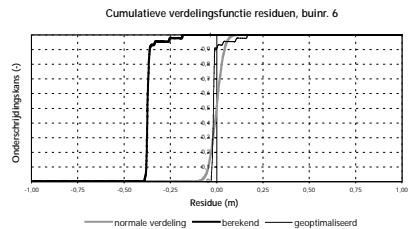
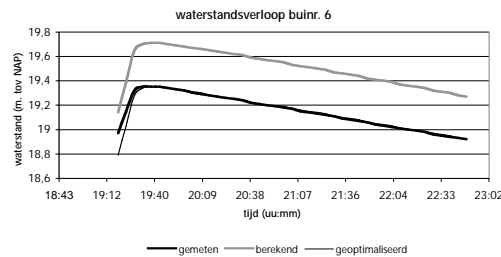
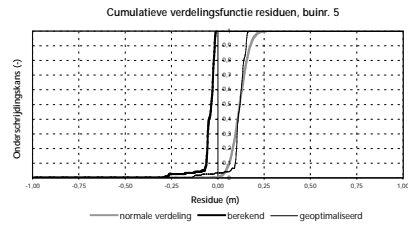
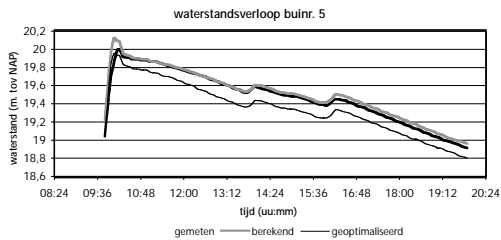
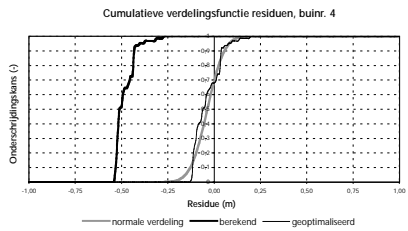
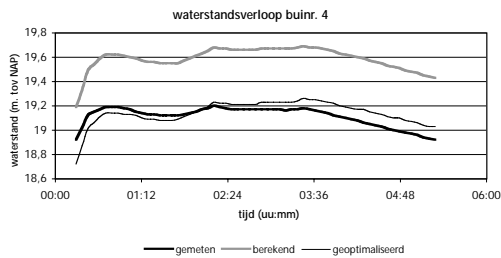
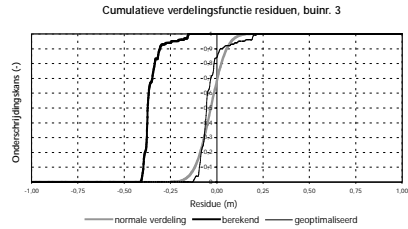
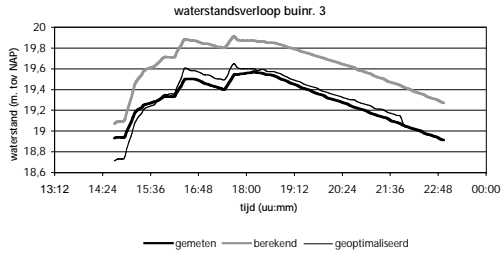
Figuur 24: Variatie in I<sub>max</sub> (voor meest optimale set inloopparameters per bui).

136 |

Voor een zestal buien, die tot een forse waterstandsverhoging hebben geleid is het berekende en het volgens het gekalibreerde inloopmodel waterstandsverloop per bui grafisch weergegeven met bijbehorende residuenverdeling.

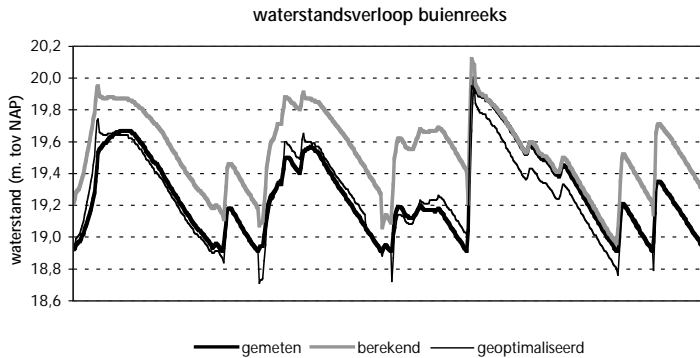




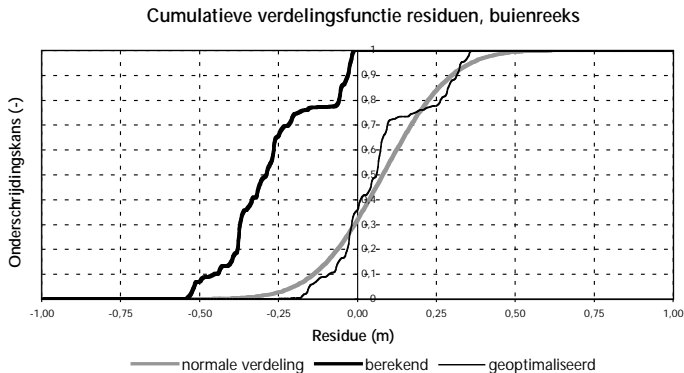


Volgens de schattingsmethode bedraagt het gewogen gemiddelde maximum infiltratiecapaciteit 22 mm/h en de afnamecapaciteit 0,1 mm/h. Dit komt goed overeen met de vooraf ingestelde parameterwaarden van de gefingeerde meetreeks.

In figuur 25 is het 'gemeten', berekende en geoptimaliseerde waterstandsverloop grafisch weergegeven voor de set van (aan elkaar geplakte) buien. Hieruit blijkt dat het niet mogelijk is om volgens de schattingsmethode gemiddelde set van inloopparameters het 'gemeten' waterstandsverloop voor alle buien volledig te kunnen reproduceren. De cumulatieve verdelingsfunctie is weergegeven in figuur 26.



Figuur 25.



Figuur 26.

Bovenstaand voorbeeld maakt duidelijk dat een gekalibreerd inloopmodel op één enkele bui niet zondermeer mag worden toegepast op een hele reeks. Naarmate, in de loop van de tijd, meer betrouwbare en bruikbare meetgegevens beschikbaar komen kunnen hieromtrent nadere uitspraken worden gedaan.











