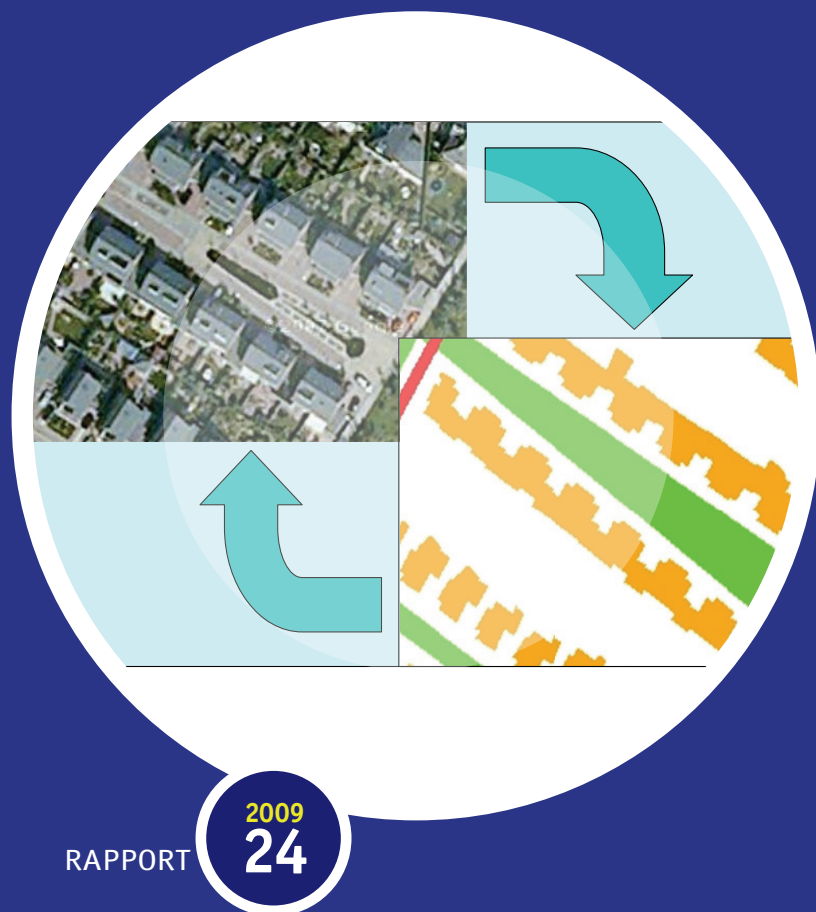


# HAAS- HEMELWATERAFVOER ANALYSE SYSTEMATIEK



HAAS- HEMELWATERAFVOER ANALYSE SYSTEMATIEK

ONDERZOEK NAAR KWANTIFICERING VAN HEMELWATERAFVOER NAAR DE  
RIOLERING EN DE RWZI

RAPPORT

2009  
**24**

ISBN 978.90.5773.443.4



# COLOFON

Utrecht, 2009

## **Uitgave**

STOWA 2009  
Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090  
3503 RB Utrecht  
Tel 030 2321199  
Fax: 030 2317980  
e-mail: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

## **Auteur**

Henk van Wieringen, DHV

## **Bijdragen**

Wijnand Turkensteen, DHV  
Martijn Tilma, DHV

## **Projectleider**

Wouter Stapel, DHV

## **Begeleidingscommissie**

Arjo Hof, Gemeente Almere, Hans Mols, Gemeente Boxtel, Jan Vos, Gemeente Emmen, Martin Smit, Gemeente Epe, Gerard van Broekhoven, Gemeente 's Hertogenbosch, Richard van Vliet, Gemeente Wageningen, Bas van Dijck, Waterschap Aa en Maas, Etteke Wypkema, Waterschap Brabantse Delta, Henri van Wylick, Waterschap De Dommel, Arjan Budding, Waterschap Vallei & Eem, Jan Folkerts, Waterschap Velt en Vecht, Ruud van Dalen, Waterschap Veluwe, Rien de Ridder, Waterschap Zuiderzeeland, Ton Beenen, RIONED. Bert Palsma, Stowa

## **Omslagfoto**

De foto beeldt de kring van werkelijkheid naar de schematisatie uit, met vervolgens de toetsing met HAAS van de schematisatie aan de werkelijkheid.

Deze publicatie is ook digitaal beschikbaar

## **Prepress/druk**

Van de Garde | Jémé

## **STOWA**

Rapportnummer 2009-24  
ISBN 978.90.5773.443.4

# TEN GELEIDE

Hoeveel water komt er op de RWZI aan en waar komt dat vandaan?

Een hele triviale vraag, die lastiger is te beantwoorden.

De keuze om zowel afvalwater als regenwater in te zamelen, te transporteren en te zuiveren heeft geleid tot leidingen en installaties die een factor 2 tot 3 groter moeten zijn, dan wanneer alleen afvalwater zou worden afgevoerd. De regenwatercomponent draagt daardoor in belangrijke mate bij aan de totale investeringskosten voor de afvalwaterketen, terwijl deze voorzieningen slechts een klein gedeelte van de tijd worden benut.

De huidige visie op regenwater in het waterbeheer van de 21<sup>ste</sup> eeuw is dat regenwater zo veel mogelijk buiten de afvalwaterketen wordt gehouden. Deze trend wordt door gemeenten voortvarend opgepakt, maar het scheiden van de waterstromen kost veel tijd en geld. Het is daarom te verwachten dat regenwater nog decennia lang de dimensionering van de afvalwaterketen zal beïnvloeden. Een eenvoudige methode om bijvoorbeeld de omvang van het op de riolering aangesloten oppervlak in de tijd te kunnen volgen, zal voor de beheerders een waardevol instrument zijn. Het ontwerpen van riolering was tot voor enkele jaren geleden voornamelijk gebaseerd op theoretische uitgangspunten en aannamen. Dit bleef lange tijd zo, omdat er relatief weinig werd gemeten. De laatste jaren wordt echter routinematig veel meer gemeten. Deze metingen geven de gelegenheid om het werkelijk functioneren van de riolering te analyseren en te toetsen aan de theoretische uitgangspunten. Dit onderzoek richt zich op het werkelijk functioneren van de riolering tijdens perioden met neerslag.

Wij bevelen dit rapport van harte bij u aan en hopen dat u hiermee een goede basis kunt leggen voor verdere samenwerking tussen waterschap en gemeente.

Utrecht, juli 2009

De directeur van de STOWA

Ir. J.M.J. Leenen

# SAMENVATTING

Het ontwerpen van riolering was tot voor enkele jaren geleden voornamelijk gebaseerd op theoretische uitgangspunten en aannamen. Dit bleef lange tijd zo, omdat er relatief weinig werd gemeten. De laatste jaren wordt echter routinematig veel meer gemeten. Deze metingen geven de gelegenheid om het werkelijk functioneren van de riolering te analyseren en te toetsen aan de theoretische uitgangspunten. Dit onderzoek richt zich op het werkelijk functioneren van de riolering tijdens perioden met neerslag.

**Doel** van dit onderzoek is het opzetten van een methodiek (HAAS: Hemelwater Afvoer Systematiek) om snel en eenvoudig inzicht te verkrijgen in de hoeveelheid regenwater die via de riolering naar de rwzi wordt afgevoerd. Op basis van deze methodiek kunnen beheerders van de afvalwaterketen inzicht verkrijgen in het werkelijk functioneren van de afvalwaterketen. Hiermee kunnen vervolgens keuzes worden onderbouwd voor de dimensionering van onderdelen van de afvalwaterketen.

Een van de belangrijkste ontwerpuitgangspunten voor de riolering is de omvang van het op de riolering aangesloten verharde oppervlak. Hieraan worden veel berekeningen en maatregelen opgehangen in o.a. :

- Hydraulische afvoercapaciteitsberekeningen
- Emissieberekeningen
- De afnameverplichting
- De omrekening van de berging naar mm
- Optimalisatiestudies
- Afkoppel scenario's
- De stedelijke wateropgave

De HAAS-methodiek is mede gericht op een signaalwerking voor een correcte omvang van het verharde oppervlak. Met de ontwikkelde HAAS-methodiek zijn analyses uitgevoerd voor rioelstelsels van Almere, Boxtel, Emmen, Epe, Wageningen en 's Hertogenbosch. Daarnaast is gebruik gemaakt van inzichten uit toepassingen van de methodiek in andere projecten.

Als **resultaat** is gevonden dat de jaargemiddelde afvoer van de neerslag van het op de riolering aangesloten verharde oppervlak (rioolinloop) redelijk constant blijft. Dit jaargemiddelde blijkt 60% van de totale jaarsom aan neerslag te zijn en blijkt vrijwel onafhankelijk te zijn van droge of natte jaren.

Door het aandeel regenwater uit de geregistreerde dagsommen bij de rioelgemalen te berekenen en een schatting te maken van de overstortende hoeveelheden kan een regenwaterbalans over een rioelstelsel worden opgesteld. Hieruit kan het percentage van de neerslag worden berekend dat door de riolering wordt afgevoerd. Omgekeerd kan bij een aanname voor de jaarlijkse rioolinloop (60% van de neerslagjaarsom) het aangesloten verharde oppervlak worden geschat. De nauwkeurigheid van deze methode wordt geschat op 15%.

Door de methode over meerdere jaren en meerdere stelsels toe te passen kan een consistent beeld worden verkregen en kunnen stelsels onderling met elkaar worden vergeleken.

**Aanbevolen** wordt om de omvang van het aangesloten verharde oppervlak zoals deze met GBKN-inventarisaties voor het opstellen van basisrioleringsplannen wordt bepaald, altijd te

valideren met de HAAS methodiek. Gebleken is dat de GBKN-inventarisaties niet eenduidig worden uitgevoerd. De grootste verschillen zitten in de verrekening van particuliere oppervlakken. Deze worden soms wél en soms geheel niet geïnventariseerd of naverkend. Dit kan leiden tot verschillen in oppervlakken van meer dan 30%.

Bij het **toepassen** van de HAAS-methodiek wordt gebruik gemaakt van vrijwel dezelfde gegevens als de DWAAS-methodiek voor het bepalen van het aandeel rioolvreemd water. Beide zijn gericht op het analyseren van het werkelijk functioneren van de afvalwaterketen. Aanbevolen wordt om beide methodieken gezamenlijk en geïntegreerd toe te passen en de resultaten te toetsen aan de theoretische uitgangspunten bij het opstellen van basisrioleringsplannen en basiszuiveringsplannen.

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# HAAS- HEMELWATERAFVOER ANALYSE SYSTEMATIEK

ONDERZOEK NAAR KWANTIFICERING VAN HEMELWATERAFVOER NAAR DE  
RIOLERING EN DE RWZI

## INHOUD

TEN GELEIDE  
SAMENVATTING  
STOWA IN HET KORT

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Neerslag in de afvalwaterketen	1
	1.2 Meer inzicht met meetgegevens	1
	1.3 Doel	2
	1.4 De gebruikte methodiek	2
	1.5 Opzet van het onderzoek	2
	1.6 Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>DE WATERBALANS</b>	<b>4</b>
	2.1 De balansposten	4
	2.2 De balansperiode	4



2.3	Neerslag	5
2.4	Afvoer naar de rwzi	6
2.5	Inloopverliezen	7
2.6	Overstortingen	8
<b>3</b>	<b>INVLOED OMGEVINGSFACTOREN VANUIT DE THEORIE</b>	<b>10</b>
3.1	Algemeen	10
3.2	Uitgangspunten voor de berekeningen	10
3.3	Afvloeiingscoëfficiënten per neerslaggebeurtenis	11
3.4	Jaargemiddelde riolinloop met C2100-inloopparameters	11
3.5	Overstortingen en afstroming van onverhard	12
3.6	Oppervlakteberging en bevochtiging	14
3.7	Infiltratie open verhardingen	15
3.8	Type Oppervlak	16
3.9	Zomer en Winter	17
3.10	Realistische waarden voor inloopparameters	18
3.11	Riolinloopmodel $Y = aX + b$	19
3.12	Conclusies	21
<b>4</b>	<b>DE HAAS METHODIEK</b>	<b>22</b>
4.1	Algemeen	22
4.2	Stap 1: Benodigde gegevens	22
4.3	Stap 2: De balansperiode	22
4.4	Stap 3: Scheiding dwa van regenwater	23
4.5	Stap 4: Overstortingen	23
4.6	Stap 5: Berekening afvloeiingscoëfficiënt C	24
4.7	Stap 6: Presentatie resultaten	25
4.8	Stap 7: Beoordeling	25
<b>5</b>	<b>RESULTATEN HAAS ANALYSES</b>	<b>27</b>
5.1	Algemeen	27
5.2	Aangesloten oppervlakken	27
5.3	Inventarisatie verhardingen	27
<b>6</b>	<b>INVLOED OMGEVINGSFACTOREN</b>	<b>29</b>
6.1	Omgevingsfactoren	29
6.2	Infiltratiecapaciteit open verhardingen	29
6.3	Vlak of Hellend	30
6.4	Bijdrage onverhard en seizoensinvloeden	31
6.5	Neerslagspreiding	32
6.6	Neerslagdiepte en -intensiteit	33
6.7	Conclusies invloed omgevingsfactoren	34
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>38</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	
1	HAAS-Resultaten per casus	39

# 1

## INLEIDING

### 1.1 NEERSLAG IN DE AFVALWATERKETEN

Afstromend regenwater is een sterk bepalende factor in het ontwerp van rioolstelsels, gemalen, persleidingen en rwzi's, ofwel de afvalwaterketen. Traditioneel zamelen rioolstelsels in Nederland naast afvalwater ook regenwater in. Het regenwater wordt vermengd met het afvalwater en het rioolvreemde water, en vervolgens afgevoerd naar de rwzi en waar het wordt behandeld.

De keuze om zowel afvalwater als regenwater in te zamelen, te transporteren en te zuiveren heeft geleid tot leidingen en installaties die een factor 2 tot 3 groter moeten zijn, dan wanneer alleen afvalwater zou worden afgevoerd. De regenwatercomponent draagt daardoor in belangrijke mate bij aan de totale investeringskosten voor de afvalwaterketen, terwijl deze voorzieningen slechts een klein gedeelte van de tijd worden benut.

De huidige visie op regenwater in het waterbeheer van de 21<sup>ste</sup> eeuw is dat regenwater zo veel mogelijk buiten de afvalwaterketen wordt gehouden. Deze trend wordt door gemeenten voortvarend opgepakt, maar het scheiden van de waterstromen kost veel tijd en geld. Het is daarom te verwachten dat regenwater nog decennia lang de dimensionering van de afvalwaterketen zal beïnvloeden. Een eenvoudige methode om bijvoorbeeld de omvang van het op de riolering aangesloten oppervlak in de tijd te kunnen volgen, zal voor de beheerders een waardevol instrument zijn.

### 1.2 MEER INZICHT MET MEETGEGEVENS

Het ontwerpen van onderdelen van de afvalwaterketen, was tot voor enkele jaren geleden voornamelijk gebaseerd op theoretische uitgangspunten en aannamen. Dit bleef lange tijd zo, omdat er relatief weinig werd gemeten.

De laatste jaren wordt echter routinematig veel meer gemeten, zodat het makkelijker wordt om te toetsen in hoeverre het werkelijke gedrag overeenkomt met het de theoretische ontwerpnormen. Onder routinematige metingen behoren metingen aan de neerslag, de afvoer van gemalen, de aanvoer op rwzi's maar ook de overstortingen die nu veelal worden gemonitord. Ook het aangesloten verharde oppervlak wordt veel nauwkeuriger opgemeten uit digitale GBKN's.

De gegevens die hierdoor beschikbaar komen, zijn in deze studie gebruikt om het werkelijk functioneren van de riolering tijdens perioden met neerslag nader te analyseren. Deze analyses vormen de basis voor 'good housekeeping' van de afvalwaterketen, waaronder:

- het verwerven van inzicht in het functioneren van het afvalwatersysteem,
- het kunnen valideren van ontwerpuitgangspunten zoals het aangesloten oppervlak,
- het berekenen van de afnameverplichting voor regenwater,
- het dimensioneren van nieuwe en te vervangen hydraulische onderdelen in de riolering, gemalen, persleidingen en de rwzi.

Door het betere inzicht kunnen in de toekomst onder andere de maatregelen in het kader

van resultaatverplichtingen volgend uit de KRW (Kader Richtlijn Water) efficiënter worden uitgevoerd.

### 1.3 DOEL

Doel van dit onderzoek is het opzetten van een methodiek om snel en eenvoudig inzicht te verkrijgen in de hoeveelheid regenwater die via de riolering naar de rwzi wordt afgevoerd in relatie met de rioolstelselkenmerken. Op basis van deze methodiek kunnen beheerders van de afvalwaterketen conclusies verbinden aan het huidige functioneren van de afvalwaterketen en keuzes onderbouwen voor de dimensionering van onderdelen in de afvalwaterketen.

Met de methodiek wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Hoeveel regenwater stroomt af naar de riolering en hoeveel regenwater wordt afgevoerd naar de rwzi?
- Komt het werkelijk functioneren van de riolering overeen met de theoretische aannamen gedaan voor het ontwerp?
- Welke parameters en in welke mate dragen bij aan de afstroming, zoals doorlatendheid van de bodem, vlak of hellend, de bijdrage van onverhard etc?
- Kunnen de ontwerpuitgangspunten voor de regenwaterafvoer, zoals bijv. omvang verhardingen en inloopverliezen, worden gevalideerd?
- Welke consequenties zijn te trekken voor het ontwerp van onderdelen van de afvalwaterketen waaronder de afvoercapaciteit van de riolering, de afvoer naar en de hydraulische capaciteit van de rwzi (afnameverplichting)?

### 1.4 DE GEBRUIKTE METHODIEK

Bij de ontwikkeling van de HAAS-methodiek, die snel en eenvoudig inzicht moet verschaffen in de afstroming van regenwater, is gekozen voor een benadering met waterbalansen, die worden opgesteld aan de hand van algemeen beschikbare meetgegevens.

Het gebruiken van een waterbalans is een bewuste keuze. Waterbalansen zijn eenvoudig qua opzet en bieden snel een goed inzicht. Waar nodig kan in vervolgonderzoek worden ingezoomd met meer gedetailleerde metingen in zowel tijd als ruimte.

Meetgegevens die nodig zijn om een waterbalans op te stellen voor (delen van) de afvalwaterketen zijn bij waterschappen en gemeenten in het algemeen beschikbaar op dagbasis. Weliswaar wordt lokaal al meer in detail gemeten met kortere tijdsintervallen, maar voortsnog zijn meetgegevens voor de gehele afvalwaterketen meestal alleen op dagbasis beschikbaar. Gedacht kan worden aan gemeten dagsommen van neerslag en dagsommen van rioolgemalen en rwzi's.

### 1.5 OPZET VAN HET ONDERZOEK

In samenwerking met zes combinaties van gemeenten en waterschappen is een zestal casussen nader uitgewerkt. De deelnemers aan deze casussen zijn hierna weergegeven:

TABEL 1 DEELNEMERS CASUSSEN

Gemeente	Deelnemer	Waterschap	Deelnemer
Almere	Arjo Hof	Waterschap Zuiderzeeland	Rien de Ridder
Boxtel	Hans Mols	Waterschap De Dommel	Henri van Wylick
Emmen	Jan Vos	Waterschap Velt en Vecht	Jan Folkerts
Epe	Martin Smit	Waterschap Veluwe	Ruud van Dalen
's Hertogenbosch	Gerard van Broekhoven	Waterschap Aa en Maas	Bas van Dijk
Wageningen	Richard van Vliet	Waterschap Vallei & Eem	Arjan Budding

Naast de deelnemers aan de casussen zaten eveneens in de begeleidingscommissie:

Bert Palsma STOWA  
 Ton Beenen RIONED  
 Etteke Wypkema Waterschap Brabantse Delta

De zes gemeenten en zes waterschappen hebben bijgedragen aan:

- Het aanleveren van meetgegevens en kenmerken van rioolstelsels,
- Het opstellen van een lijst met processen en parameters die invloed kunnen hebben op de afvoer van regenwater naar de rwzi,
- Het beoordelen van de analyse resultaten,
- Het deelnemen aan de begeleidingscommissie van deze studie.

Allereerst zijn per casus de waterbalansen opgezet en zijn de processen en parameters beoordeeld, die van invloed zijn op de afvoer van regenwater naar de rwzi. Zo is gekeken naar de omvang van het aangesloten verhard oppervlak en de mogelijke invloeden van verschillende omgevingsfactoren.

De resultaten van de analyses zijn daarna individueel met de gemeenten en waterschappen besproken. Daarna zijn de resultaten en conclusies gezamenlijk besproken.

## 1.6 LEESWIJZER

In hoofdstuk 3 wordt de regenwaterbalans per onderdeel besproken. Het proces, de beschikbare informatie en de gevoeligheden voor omgevingsfactoren worden toegelicht.

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten gepresenteerd van reeksberekeningen met het NWRW-inloopmodel, waarbij de theoretische gevoeligheden van de inloopparameters zijn onderzocht. De resultaten hiervan vormen de basis voor de HAAS-methode.

In hoofdstuk 5 wordt het resultaat van het onderzoek, de HAAS methode, beschreven. De methode is stapsgewijs beschreven van benodigde gegevens, bewerkingen tot beoordeling.

In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de HAAS-analyses op de zes casussen gepresenteerd.

In hoofdstuk 7 wordt de invloed van de omgevingsfactoren op de regenwaterbalans voor de zes casussen geanalyseerd.

In hoofdstuk 8 volgen de conclusies en aanbevelingen.

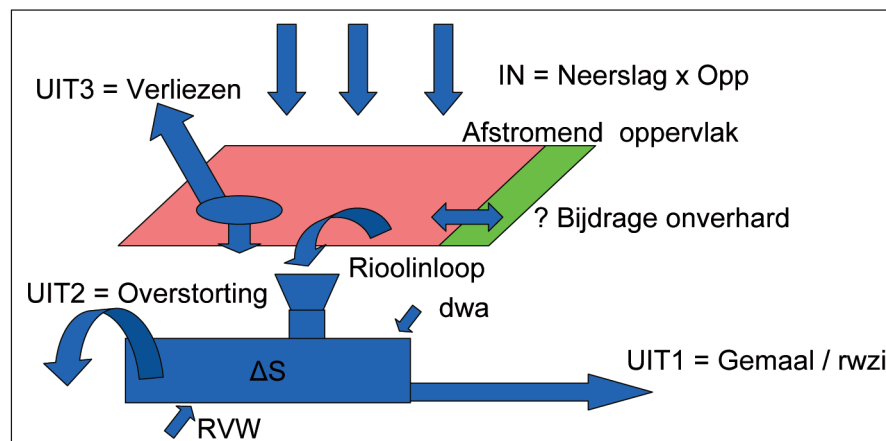
# 2

## DE WATERBALANS

### 2.1 DE BALANSPOSTEN

De waterbalans is de basis voor de analyses. In onderstaande figuur is het systeem weergegeven.

FIGUUR 1 WATERBALANS



In de waterbalans zijn de volgende posten opgenomen:

- IN : neerslag x oppervlak
- UIT1 : de afvoer van regenwater naar de rwzi
- UIT2 : de overstortingen
- UIT3 : inloopverliezen (neerslag die niet het rioolstelsel instroomt)
- RVW : rioolvreemd water
- DWA : droogweerafvoer (afvalwater)

De algemene formule voor de waterbalans als volgt:  $IN - UIT3 = UIT1 + UIT2 - RVW - DWA$

Om een beter begrip te krijgen van deze vier balansposten, zijn deze in de paragrafen 3.3 tot en met 3.6 beschreven, aan de hand van;

- De **processen** die een rol spelen per balanspost
- Beschikbare **informatie** bij gemeente en waterschap
- **Invloed** op de waterbalans van de benoemde processen en de beschikbare informatie
- Algemene **conclusies** die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen voor deze balanspost

### 2.2 DE BALANSPERIODE

De waterbalans kan over verschillende perioden worden opgesteld. Bijvoorbeeld over een jaar, een natte periode, een dag of een nog kortere periode. De keuze van de periode heeft gevolgen voor:

- het detailniveau waarop analyses worden uitgevoerd,
- de benodigde gegevens,
- de toepassingsmogelijkheden van de regenwaterbalans.

In dit onderzoek is gekozen voor een balansperiode van zowel individuele neerslaggebeurtenissen als over een geheel jaar.

Individuele neerslaggebeurtenissen kenmerken zich doordat zij worden gescheiden door droge dagen. Op een droge dag wordt alleen DWA afgevoerd. Impliciet houdt de gekozen periode voor individuele neerslaggebeurtenissen rekening met de tijd die nodig is voor lediging van de rioolstelsels. Door deze keuze heeft de berging geen invloed op de waterbalans.

De volgende gebieden en perioden zijn geanalyseerd:

**TABEL 2 GEBIEDEN EN PERIODEN**

Gemeente	Bemalingsgebied	Periode
Almere	RG 230 Parkwijk VGS	01-01-2006 tot 31-12-2006
Boxtel	Streng Boxtel	01-01-2005 tot 31-12-2005
Emmen <b>1)</b>	Streng Emmen Centrum	15-04-2006 tot 31-10-2006
Epe	rwzi Epe	01-01-2007 tot 31-12-2007
's Hertogenbosch	rwzi Den Bosch (Treurenberg)	01-01-2006 tot 31-12-2006
Wageningen	RG Wageningen	01-01-2007 tot 31-12-2007

1) Voor Emmen waren slechts voor een deel van het jaar gegevens beschikbaar.

## 2.3 NEERSLAG

### Het proces

De neerslag is het startpunt van de waterbalans. De werkelijk gevallen neerslag kent een spreiding in zowel tijd als plaats. Voor deze studie is vooral gebruik gemaakt van neerslagmetingen op meetstations van het KNMI.

### Beschikbare informatie

Op veel rwzi's wordt door waterschappen de neerslag gemeten als dagsom. Een aantal gemeenten heeft regenmeters geïnstalleerd om het functioneren van de riolering te kunnen beoordelen.

De meest consistente en complete neerslagmetingen die momenteel beschikbaar zijn, zijn afkomstig van het door het KNMI beheerde netwerk van ca. 325 stations. Hier wordt de neerslag in dagsommen van 08:00 tot 0:800 uur UT gemeten. De stations liggen op onderlinge afstanden van 10 tot 20 kilometer.

De hierboven genoemde informatiebronnen zijn in deze studie gebruikt.

### Invloed op de waterbalans

Indien wordt aangenomen dat het aangesloten oppervlak bekend is vanuit inventarisaties voor het basisrioleringsplan, dan is hiermede de instromende post (neerslagdiepte x oppervlak) van de waterbalans bekend. Door het gebruik van digitale GBKN's worden verharde oppervlakken tegenwoordig veel nauwkeuriger bepaald, wat bijdraagt aan een nauwkeurigere voorspelling van het afstromende regenwater. Toch blijven vaak onzekerheden bestaan over de omvang van het werkelijk aangesloten oppervlak.

### Conclusie

De beschikbare informatie van neerslag op dagbasis in combinatie met het geïnventariseerde verharde oppervlak sluit goed aan op het niveau van de waterbalansen per jaar en per natte periode.

Neerslag spreiding is door het middelen over meerdere stations in beperkte mate meegenomen. Dit kan eventueel worden verfijnd door gebruik te maken van radarinformatie van de neerslag. Spreiding in tijd en plaats van de neerslag is hierdoor beter bekend en heeft invloed op de mate van afstroming.

## 2.4 AFVOER NAAR DE RWZI

### Het proces

De pompcapaciteit van een gemaal is afgestemd op de afvoer van huishoudelijk en industrieel afvalwater en voor een deel van het regenwater. Als tijdens een neerslaggebeurtenis meer regenwater het rioolstelsel instroomt dan kan worden verpompt, dan wordt het regenwater tijdelijk in het rioolstelsel geborgen. De ledigingsduur van volledig gevulde rioolstelsels bedraagt doorgaans 10 tot 20 uur. Dit betekent dat bij een grotere en langere neerslaggebeurtenis het rioolstelsel meestal niet binnen een dag wordt leeggepompt, maar dat een bui zich over minimaal twee dagen zal manifesteren in de meetcijfers.

### Beschikbare informatie

Deze balanspost kan op ieder debietmeetpunt in de afvalwaterketen worden toegepast, zowel bij rioolgemalen als op de rwzi. Op veel gemalen worden dagsommen aan verpompt water geregistreerd.

De totale hoeveelheid aangevoerd water op de rwzi wordt doorgaans ook gemeten en vastgelegd op dagbasis.

### Invloed op de waterbalans

In **droogweeperioden** (zonder neerslag) wordt huishoudelijk en industrieel afvalwater naar de rwzi verpompt. Hier komt nog een aandeel rioolvreemd water bij door bijvoorbeeld toetreding van grondwater door infiltratie op de buisverbindingen of bewust door aansluiting van drainagemiddelen. Het aandeel rioolvreemd water kan sterk oplopen tot wel 100% van de droogweerafvoer. Hier dient dus rekening mee te worden gehouden. Voor zowel de kwantificering van de droogweerafvoer als het rioolvreemde water is door STOWA in 2003 al een methodiek (DWAAS) ontwikkeld [Lit 3].

Tijdens **regenweer** komt hier het aandeel regenwater bij. Het aandeel regenwater in de afvoer naar de rwzi is niet duidelijk te herkennen. Het aandeel afvalwater en rioolvreemd water is met bovengenoemde DWAAS methodiek wél goed te kwantificeren. Hiermee is het aandeel regenwater in de dagsommen te berekenen door de droogweerafvoer en het rioolvreemde water van de totale dagsom aan verpompte debieten af te trekken.

Ten gevolge van de neerslag zullen hogere waterstanden in de riolering optreden. De hoeveelheid rioolvreemd water kan hierdoor veranderen, doordat minder grondwater kan infiltreren. Indien er weinig rioolvreemd water door infiltratie van grondwater optreedt, zal de invloed op de waterbalans gering zijn. Echter Indien er veel grondwater infiltreert, is het aan te bevelen hiermee rekening te houden. Dit kan bijvoorbeeld door ook DWAAS [lit 3] toe te passen

### Conclusie

Tijdens perioden met neerslag wordt afvalwater, rioolvreemd water en regenwater gezamenlijk afgevoerd.

Het aandeel regenwater is af te leiden door de aandelen afvalwater en rioolvreemd water in mindering te brengen op de totale gemeten dagsom.

## 2.5 INLOOPVERLIEZEN

### Het proces

Niet alle neerslag die op verharding valt komt tot afstroming naar het rioolstelsel, bijvoorbeeld door:

- interceptie door overhangende begroeiing,
- bevochtiging van het oppervlak,
- plasvorming,
- infiltratie bij elementverhardingen,
- verdamping,
- afstroming over oppervlak naar elders (bijv. plantsoenen en oppervlaktewater)

Al deze verliezen samen worden in deze studie geschaard onder de term inloopverliezen. Inloopverliezen zijn dus het verschil tussen de neerslag en de totale inloop van de gevallen regen in de riolering.

De inloopverliezen worden in deze studie gekwantificeerd aan de hand van de afvloeingscoëfficiënt (C). Dit is de fractie van de neerslag die afstroomt naar de riolering:

$$C = \frac{\text{rioolinloop}}{\text{neerslag}}$$

De inloopverliezen worden eveneens beïnvloed door de afstroming van neerslag van onverharde oppervlakken naar de riolering. Dit is dan geen verlies maar juist een bijdrage die de afvloeingscoëfficiënt doet toenemen. De bijdrage van onverharde oppervlakken is onder andere afhankelijk van meerdere factoren, zoals de doorlatendheid, de neerslagintensiteit, de afstand tot de riolering en de helling van het maaiveld. Aan de bijdrage van onverharde oppervlakken wordt nauwelijks gemeten.

### Beschikbare informatie

Inloopverliezen worden en kunnen niet routinematig worden gemeten. Wel kunnen deze verliezen worden afgeleid uit het verschil tussen gemeten neerslag en verpompte debieten, in perioden dat géén overstortingen hebben plaatsgevonden. Indien wél overstortingen hebben plaatsgevonden dienen deze geschat te worden of bepaald te worden uit monitoring gegevens.

In de literatuur zijn voor bepaalde onderzoeksgebieden resultaten over afvloeingscoëfficiënten beschikbaar [lit 1,2]. De afvloeingscoëfficiënten variëren in de literatuur tussen 50 en 60% van de gevallen neerslag. Hieruit blijkt dat een aanzienlijk deel van de neerslag van verhard oppervlak niet tot afstroming naar de riolering komt.

### Invloed op de waterbalans

Bij buien met geringe neerslagdiepten (bijv < 5 mm) zijn de inloopverliezen relatief groot. Momentane en lokale omstandigheden spelen een grote rol. Plasvorming, bevochtiging en initiële infiltratiecapaciteit zullen dan een grote invloed met grote spreidingen hebben .



Bij wat grotere buien (5 tot 15 mm, waarbij in de praktijk zelden overstortingen optreden) zullen deze aspecten een minder grotere invloed hebben op de afvloeingscoëfficiënt (rioolinloop). Dit zijn de buien waar de rioolinloop kan worden bepaald uit de regenwaterbalans (zonder overstortingen) en vervolgens de afvloeingscoëfficiënt  $C$  kan worden berekend.

Bij nog grotere buien ( $> 15$  mm) kunnen overstortingen optreden en moet hiermee rekening worden gehouden bij het opstellen van de waterbalans. Overstortingen kunnen met een bakjesmodel worden geschat of gebruik kan worden gemaakt van monitoring resultaten.

### Conclusie

Aan inloopverliezen wordt normaal op geen enkele wijze gemeten. Volgens ervaringscijfers bedragen deze verliezen op jaarbasis ca 40 tot 50 % van de totale neerslag. In de inloopverliezen zit ook de eventuele onnauwkeurigheid van de omvang van het aangesloten verhard oppervlak verborgen. Ook bijdragen van afstroming van onverhard oppervlak (vooral tijdens piekbuien) zitten in deze post.

De inloopverliezen kunnen uitsluitend worden bepaald indien de neerslag en afvoer bekend zijn en geen overstortingen plaatsvinden. Indien een schatting wordt gemaakt van de overstortingsvolumes, of als er gemonitord wordt, dan kunnen de inloopverliezen ook voor piekbuien worden berekend.

## 2.6 OVERSTORTINGEN

### Het proces

Als tijdens een neerslaggebeurtenis meer regenwater het rioolstelsel instroomt dan kan worden verpompt, dan wordt het regenwater tijdelijk in het rioolstelsel geborgen. Als deze berging gevuld is, dan zal overtollig regenwater via overstorten uit het rioolstelsel stromen. Meestal stroomt dit overtollige water naar oppervlaktewater. Deze zogenaamde 'overstortingen' van gemengde stelsels treden enkele malen per jaar op. Dit gebeurt alleen tijdens de grotere piekbuien waarbij ook de kans op afstroming van regenwater van onverhard naar de riolering groot is.

### Beschikbare informatie

Overstortingen worden meer en meer routinematig in monitorprogramma's bemeten. In vijf van de zes casussen wordt gemeten aan overstortingen.

### Invloed op de waterbalans

Overstortingen vanuit gemengde en verbeterd gescheiden rioolstelsels vormen een onzekerheid in de waterbalans, zeker als deze niet bemeten zijn. Daar staat tegenover dat gedurende het overgrote deel van de neerslaggebeurtenissen geen overstortingen optreden.

Bij gemengde stelsels is het overstortingsvolume op jaarbasis relatief klein (ca. 5%) ten opzichte van de totale neerslag. Bij korte heftige buien kan dit percentage echter oplopen tot wel 75 % van het totale neerslagvolume.

Verbeterd gescheiden stelsels (VGS) hebben in het algemeen minder berging dan gemengde rioolstelsels. Overstortingen komen vaker voor en de balanspost wordt groter (tot 30% van de neerslag op jaarbasis).

## Conclusie

Overstortingen vormen een onzekere sluitpost in de waterbalans. In deze studie zijn schattingen gemaakt van de overstortingsvolumes. Hierbij is gebruik gemaakt van een eenvoudig bakjesmodel op dagbasis. Door gebruik te maken van de monitoring-resultaten, kunnen deze schattingen geverifieerd worden en de afvloeiingscoëfficiënten voor piekgebeurtenissen met meer zekerheid worden vastgesteld. Wel moet hier worden opgemerkt dat juist tijdens neerslaggebeurtenissen met overstortingen, afstroming van regenwater van onverhard is te verwachten. De werkelijke en gemonitorde overstortingen kunnen hierdoor groter zijn dan berekend.

Voor verbeterd gescheiden stelsels is de waterbalans minder betrouwbaar, omdat de overstortingen relatief groot zijn, en omdat deze in het algemeen niet gemonitord worden. Bij verbeterd gescheiden stelsels stort gemiddeld 30% van de gevallen neerslag over. Het verdient daarom de voorkeur om verbeterd gescheiden rioolstelsel in de waterbalans op te nemen als inприк op de gemengde rioolstelsels, dan wel de verbeterd gescheiden stelsels apart te bekijken. Hiertoe is wel nodig dat bekend is wat de afvoer op dagbasis is vanuit de verbeterd gescheiden rioolstelsels.

# 3

## INVLOED OMGEVINGSFACTOREN VANUIT DE THEORIE

### 3.1 ALGEMEEN

Om de gevoeligheden van diverse omgevingsfactoren te analyseren zijn modelberekeningen uitgevoerd en geanalyseerd. Analyses op individuele neerslaggebeurtenissen geven een grote spreiding (ruis) in afvloeiingscoëfficiënten vooral als gevolg van spreiding in de tijd van de neerslag. De analyse is daarom gericht op de jaargemiddelde rioolinloop die als mogelijk kenmerk voor een rioolstelsel wordt beschouwd.

### 3.2 UITGANGSPUNTEN VOOR DE BEREKENINGEN

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Het NWRW 4.3 inloopmodel [lit 5] met oppervlakteberging, infiltratie, verdamping en retentie.
- C2100 parameters voor open verhard, gesloten verhard, hellende daken, platte daken en onverhard.
- 10 jarige regenreeks (1955-1964) van De Bilt met 15 minuten tijdsinterval
- Gemengd stelsel volgens het referentie stelsel
- NWRW verdeling aangesloten oppervlakken:
  - 40% dak hellend,
  - 30% open verhard vlak,
  - 20% gesloten verhard vlak,
  - 10% dak plat,
  - geen afstroming van onverhard

De C2100-parameters vormt het uitgangspunt voor de berekeningen en zijn:

**TABEL 3 C2100-INLOOPPARAMETERS**

Type oppervlak / parameter	Oppervlakteberging mm	Maximum infiltratiecapaciteit mm/h
Gesloten verhard vlak	0,5	0,0
Open verhard vlak	0,5	2,0
Dak hellend	0,0	0,0
Dak plat	2,0	0,0
Onverhard vlak	4,0	5,0

Deze gehanteerde waarden worden in C2100 als 'veilig' gekwalificeerd, om een onderschatting van de inloop te voorkomen. Met name voor de infiltratieparameters is daarom afgeweken van gemiddelde literatuurwaarden [lit 4, bijlage 1].

Voor de verdamping gaat het inloopmodel uit van maandcijfers van het KNMI volgens Penman. De gehanteerde waarden zijn in navolgende tabel weergegeven.

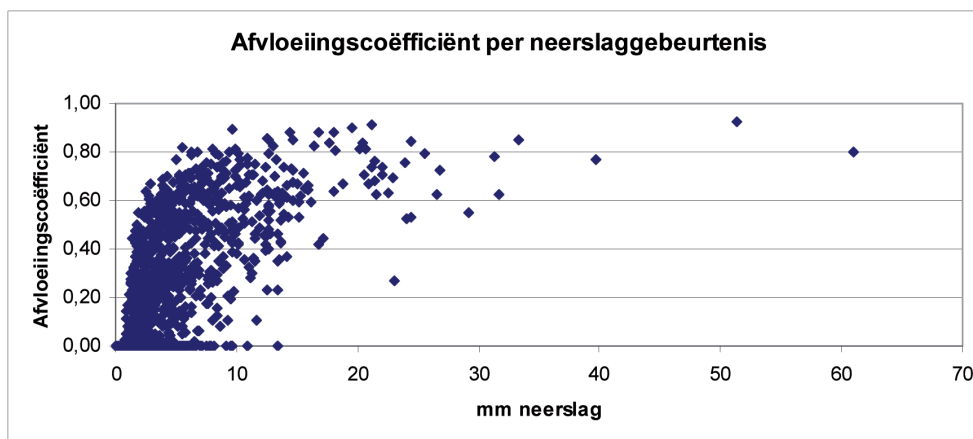
TABEL 4 VERDAMPING PER MAAND

Jan mm	Feb mm	Mrt mm	Apr mm	Mei mm	Jun mm	Jul mm	Aug mm	Sep mm	Okt mm	Nov mm	Dec mm
5	15	40	70	100	120	110	90	60	25	10	5

### 3.3 AFVLOEIINGSCOËFFICIËNTEN PER NEERSLAGGEBEURTENIS

De afvloeingscoëfficiënt neemt toe met de neerslagdiepte en -intensiteit. Met het NWRW-C2100-inloopmodel zijn de afvloeingscoëfficiënten berekend voor alle natte perioden in de 10-jarige regenreeks. Gezien kan worden dat een zeer grote spreiding optreedt.

FIGUUR 2 AFVLOEIINGSCOËFFICIËNTEN PER NEERSLAGGEBEURTENIS



#### Conclusies:

- De afvloeingscoëfficiënt per neerslaggebeurtenis kent een grote spreiding door verschillen in regenintensiteit, initiële omstandigheden van het oppervlak, verdampingspotentieel etc.
- Op basis van individuele gebeurtenissen zijn geen algemene conclusies te trekken ten aanzien van de gestelde doelen.

### 3.4 JAARGEMIDDELDE RIOOLINLOOP MET C2100-INLOOPPARAMETERS

Voor de 10-jarige regenreeks is de waterbalans berekend met de C2100-waarden voor de inloopparameters en weergegeven in navolgende tabel.

TABEL 5 WATERBALANS PER JAAR

Jaar	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	659	752	921	832	539	923	915	762	781	740
gemaal mm	433	498	645	564	371	590	583	504	514	486
ovst mm	22	27	26	21	8	90	94	28	28	49
inloop mm	455	525	671	590	375	680	677	532	542	535
<b>% tov regen</b>										
gemaal %	66%	66%	70%	68%	69%	64%	64%	66%	66%	66%
ovst %	3%	4%	3%	3%	2%	10%	10%	4%	4%	7%
inloop %	69%	70%	73%	71%	70%	74%	74%	70%	69%	72%

In deze reeks komen zeer natte en zeer droge jaren voor. Hierna zijn de maximale, minimale en gemiddelde waarden weergegeven.

TABEL 6 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN

	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	923	539	782
gemaal mm	645	371	519
ovst mm	94	8	39
inloop mm	680	375	558
<b>% tov regen</b>			
gemaal %	70%	64%	66%
ovst %	10%	2%	5%
inloop %	74%	69%	71%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

Heel opvallend is dat de rioolinloop in procenten van de neerslag relatief weinig per jaar varieert. De bandbreedte is slechts 5% van de totale jaarlijkse neerslag. Ook het percentage dat wordt afgevoerd door het gemaal varieert relatief weinig (6%) over de jaren.

Interessant is ook dat twee natte jaren (1957 en 1960) veel verschil vertonen in de overstortende hoeveelheden, maar nauwelijks in de rioolinloop.

De percentages voor de rioolinloop liggen gemiddeld over een jaar op 71% van de neerslag. Dit is berekend met de 'veilige' aannamen voor de inlooppparameters, die afwijken van gemiddelde literatuurwaarden [lit 4. bijlage 1]

#### Conclusies:

- De rioolinloop op jaarbasis in procenten blijft redelijk constant voor natte en droge jaren met een bandbreedte van 5% van de totale jaarlijkse neerslag.
- Ook de afvoer door het gemaal in procenten blijft redelijk constant met een bandbreedte van 6% van de totale jaarlijkse neerslag.

### 3.5 OVERSTORTINGEN EN AFSTROMING VAN ONVERHARD

Overstorten worden meer en meer voorzien van apparatuur om de overstortingen te monitoren. Ook het volume van de overstorting wordt soms uit de registraties berekend. In deze gevallen zou dit volume gebruikt kunnen worden in de regenwaterbalans. Echter overstortingen treden vooral op bij piekbuien, waarbij ook afstroming van regenwater van onverhard is te verwachten. Om een indicatie te verkrijgen van de mogelijke invloed van afstroming van regenwater van onverhard is met het model eveneens de 10-jaar reeks doorerekend. Hierbij is verondersteld dat het oppervlak onverhard even groot is als het totaal aan verhardingen (50-50).

TABEL 7 WATERBALANS PER JAAR MET BIJDRAGE ONVERHARD

Jaar	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	659	752	921	832	539	923	915	762	781	740
gemaal mm	437	503	652	566	373	592	585	505	517	488
ovst mm	42	63	67	46	17	172	172	64	72	109
inloop mm	479	566	719	617	386	764	756	569	590	598
<b>% tov regen</b>										
gemaal %	66%	67%	71%	68%	69%	64%	64%	66%	66%	66%
ovst %	6%	8%	7%	6%	3%	19%	19%	8%	9%	15%
inloop %	73%	75%	78%	74%	72%	83%	83%	75%	75%	81%

Ook hier zijn de extremen en gemiddelden weergegeven in navolgende tabel.

TABEL 8 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN

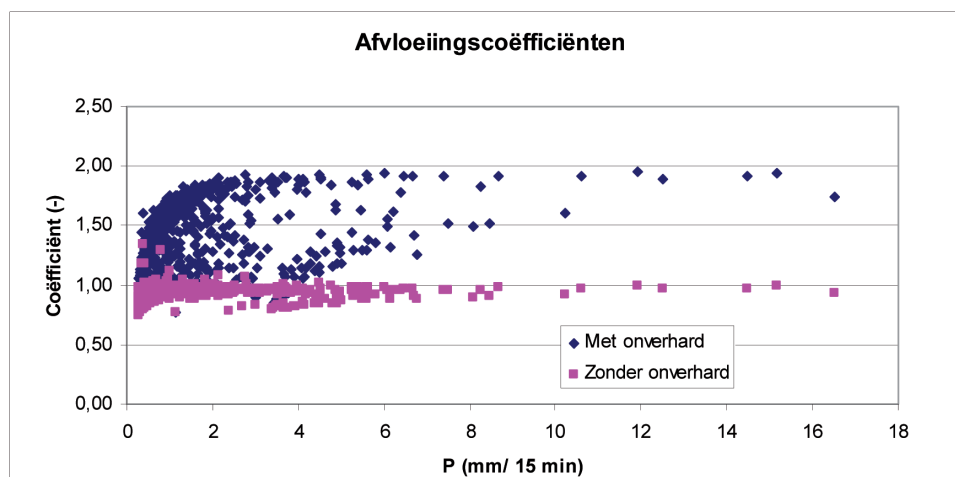
	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	923	539	782
gemaal mm	652	373	522
ovst mm	172	17	83
inloop mm	764	386	604
<b>% tov regen</b>			
gemaal %	71%	64%	67%
ovst %	19%	3%	10%
inloop %	83%	72%	77%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

Ten opzichte van de jaargemiddelde rioolinloop zonder bijdrage onverhard (Tabel 5 Waterbalans per jaar), is het opmerkelijk dat het gemaal nauwelijks meer water afvoert. Wél verdubbelen de overstortingen in volume en daarmee neemt de rioolinloop betrokken op het verharde oppervlak ook aanzienlijk toe. Ook de spreiding van de inloop in % neemt toe.

In de volgende figuur zijn de afvloeiingscoëfficiënten weergegeven die door de bijdrage van onverhard verschillen met de situatie zonder bijdrage onverhard. Dit zijn de verschillen per 15 minuten tijdsinterval.

FIGUUR 3 INLOOP ONVERHARD BIJ DE BEREKENDE VERSCHILLEN



Te zien is dat onverhard wel degelijk bijdraagt aan de inloop, echter dit treedt vooral op tijdens pieken die overstorten. Daarom is voor afvoercapaciteitsberekeningen ten behoeve van de beoordeling van water-op-sstraat de afstroming van regenwater van onverhard zeker van belang.

#### Conclusies:

- De afvoer van het gemaal neemt op jaarbasis gemiddeld nauwelijks toe (1 á 2%) ten gevolge van de afstroming van regenwater van onverhard.
- De spreiding in de afvoer per jaar van het gemaal is 7% van de totale jaarlijkse neerslag.
- Afstroming van regenwater van onverhard treedt vooral op tijdens gebeurtenissen met overstortingen.
- De overstortingen kunnen in hoeveelheid verdubbelen door afstroming van regenwater van onverhard.
- Voor afvoercapaciteitsberekeningen ten behoeve van de beoordeling van water-op-sstraat is afvoer van onverhard wel degelijk van belang: de debieten (overstortingen) nemen substantieel toe.
- Afstroming van regenwater van onverhard is ongrijpbaar in de waterbalans. Zelfs indien de overstorting is gemonitord, is de herkomst van het regenwater niet te achterhalen. Het kan van onverhard maar ook van verhard afkomstig zijn.

Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op het inloopmodel met de C2100-waarden voor de parameters. In werkelijkheid kunnen deze waarden sterk verschillen.

### 3.6 OPPERVLAKTEBERGING EN BEVOCHTIGING

De eerste neerslag die valt op een droog oppervlak zal leiden tot bevochtiging en plasvorming van het oppervlak zonder dat afstroming plaatsvindt. De C2100-inloopparameters voor oppervlakteberging zijn 'veilig' (laag) met een grote inloop tot gevolg. Om die reden is de gevoeligheid berekend ten opzichte van de jaargemiddelde inloop (Tabel 5 Waterbalans per jaar) bij een situatie dat voor alle oppervlakken (ook bij daken hellend) de initiële berging met 1,0 mm is toegenomen. Dit wordt als een situatie beschouwd met een grote oppervlakteberging en bevochtigingsverliezen.

TABEL 9 WATERBALANS PER JAAR MET MAXIMALE INITIËLE BERGING

Jaar	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	659	752	921	832	539	923	915	762	781	740
gemaal mm	353	411	544	472	308	499	501	417	423	415
ovst mm	20	24	18	19	7	85	88	26	25	41
inloop mm	373	435	563	496	311	583	588	444	448	456
<b>% tov regen</b>										
gemaal %	53%	55%	59%	57%	57%	54%	55%	55%	54%	56%
ovst %	3%	3%	2%	2%	1%	9%	10%	3%	3%	6%
inloop %	57%	58%	61%	60%	58%	63%	64%	58%	57%	62%

Eveneens zijn hieronder de minima en maxima weergegeven:

**TABEL 10 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN**

	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	923	539	782
gemaal mm	544	308	434
ovst mm	88	7	35
inloop mm	588	311	470
<b>% tov regen</b>			
gemaal %	59%	53%	56%
ovst %	10%	1%	4%
inloop %	64%	57%	60%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

De jaargemiddelde rioolinloop neemt met 11% van de jaarlijkse neerslag aanzienlijk af ten opzichte van de C2100-inloopparameters. Hierdoor neemt ook de afvoer van het gemaal in vrijwel gelijke mate af. De inloop blijkt hiermee redelijk gevoelig voor de oppervlakteberging. De overstortingen nemen echter nauwelijks af. De spreiding tussen de jaren van de inloop en de afvoer van het gemaal blijft ook hier gering.

#### Conclusies:

- De rioolinloop op jaarbasis is redelijk gevoelig voor de oppervlakteberging.
- Ten opzichte van de C2100-waarden voor de inloopparameters neemt de jaargemiddelde rioolinloop af van 71% naar 60% van de jaarlijkse neerslag bij hoge waarden voor de oppervlakteberging.
- De spreiding tussen natte en droge jaren van de rioolinloop is 7% van de totale jaarlijkse neerslag.

### 3.7 INFILTRATIE OPEN VERHARDINGEN

In het NWRW-inloopmodel is 30% van de verhardingen als 'open' aangeduid. Dit betekent dat deze oppervlakken regenwater infiltreren. Ook hier is in C2100 een zeer 'veilige' en daarmee lage aanname gedaan voor de infiltratiecapaciteit: begin 2 mm/h en minimum 0,5 mm/h. Verkend is hoe de jaarlijkse inloop wordt beïnvloed door de infiltratiecapaciteit. Om die reden zijn berekeningen gemaakt met gemiddelde literatuurwaarden voor de infiltratiecapaciteit: begin is 6 mm/h en minimum is 1,5 mm/h

**TABEL 11 WATERBALANS PER JAAR MET REALISTISCHE INFILTRATIECAPACITEIT**

Jaar	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	659	752	921	832	539	923	915	762	781	740
gemaal mm	396	452	583	506	337	539	538	456	464	450
ovst mm	11	20	16	14	6	62	61	24	20	30
inloop mm	407	473	599	524	339	601	599	481	484	480
<b>% tov regen</b>										
gemaal %	60%	60%	63%	61%	63%	58%	59%	60%	59%	61%
ovst %	2%	3%	2%	2%	1%	7%	7%	3%	3%	4%
inloop %	62%	63%	65%	63%	63%	65%	65%	63%	62%	65%



Eveneens zijn hieronder de minima en maxima weergegeven:

TABEL 12 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN

	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	923	539	782
gemaal mm	583	337	472
ovst mm	62	6	26
inloop mm	601	339	499
<b>% tov regen</b>			
gemaal %	63%	58%	60%
ovst %	7%	1%	3%
inloop %	65%	62%	64%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

Met gemiddelde en realistische waarden voor de infiltratiecapaciteit van open verhardingen is de gemiddelde rioolinloop 64% van de jaarlijkse neerslag. Dit is 7% minder ten opzichte van de 'veilige' C2100-inlooppparameters.

#### Conclusies:

- Hoewel slechts 30% van het aangesloten oppervlak bestaat uit open verhardingen, is de invloed van infiltratie van regenwater op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt groot.
- Opvallend is ook de sterke afname van de overstortende hoeveelheden bij hogere infiltratiecapaciteiten.

### 3.8 TYPE OPPERVLAK

Tot nu toe zijn de berekeningen uitgevoerd met de NWRW-verdeling van de vier typen oppervlakken. Deze verdeling is:

- 40% dak hellend,
- 30% open verhard vlak,
- 20% gesloten verhard vlak,
- 10% dak plat.

Binnen de vier onderscheiden typen zijn uitsluitend aan open verhardingen neerslagverliezen door infiltratie toegekend. De invloed van het percentage open verhardingen zal daarom aanzienlijke invloed hebben op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt. De gevoeligheid van het percentage open verhardingen is onderzocht door het percentage in het model met de C2100-waarden voor de parameters te variëren:

- De 20% gesloten verhard toe te voegen aan open verhard: Dus 50% open en 0% gesloten verhard.
- De 30% open verharding toe te voegen aan gesloten verhard: dus 0% open en 50% gesloten verhard.

De resultaten zijn hier voor de maximale, minimale en gemiddelde afvloeingscoëfficiënten op jaarbasis weergegeven voor de 10-jarige regenreeks.

TABEL 13 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN

	0% gesloten			0% open		
	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	923	539	782	923	539	782
gemaal mm	570	314	450	753	453	618
ovst mm	82	7	34	119	12	50
inloop mm	599	317	485	802	462	668
<b>% tov regen</b>						
gemaal %	62%	56%	58%	84%	74%	79%
ovst %	9%	1%	4%	13%	2%	6%
inloop %	65%	59%	62%	87%	83%	85%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

Te zien is dat de gemiddelde jaarlijkse afvloeingscoëfficiënt zeer gevoelig is voor het aandeel van de open verhardingen binnen het totaal aan aangesloten oppervlakken. De jaarlijkse afvloeingscoëfficiënt neemt aanzienlijk toe (van 62 naar 85%) als gevolg van de variatie van 50% open naar 50% gesloten verhard.

#### Conclusies:

- Infiltratie van regenwater in open verhardingen heeft een aanzienlijke invloed op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt.
- De spreiding van de gemiddelde jaarlijkse afvloeingscoëfficiënten is klein en is slechts 6% bij 50% open verhardingen.
- Het percentage aan open verhardingen is goed vast te stellen en kan daardoor in de HAAS-methodiek een rol spelen.

### 3.9 ZOMER EN WINTER

Met het NWRW-inloopmodel en de 'veilige' C2100 parameters is de 10-jarige regenreeks beoordeeld op verschillen tussen winter en zomer. De zomer is van 1 april tot 30 september.

TABEL 14 WATERBALANS VOOR DE ZOMER

Zomer	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	307	421	566	426	200	401	410	363	491	385
gemaal mm	193	266	392	273	122	261	237	222	316	236
ovst mm	10	24	26	21	8	18	46	12	21	38
inloop mm	202	290	417	294	129	279	280	234	337	274
<b>% tov regen zomer</b>										
gemaal %	63%	63%	69%	64%	61%	65%	58%	61%	64%	61%
ovst %	3%	6%	5%	5%	4%	5%	11%	3%	4%	10%
inloop %	66%	69%	74%	69%	65%	70%	68%	65%	69%	71%

Dit is eveneens gedaan voor de winter:

TABEL 15 WATERBALANS VOOR DE WINTER

Jaar	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	352	331	354	406	338	522	505	399	290	355
gemaal mm	241	232	254	291	249	329	346	281	199	250
ovst mm	12	3	0	0	1	72	48	16	6	11
inloop mm	253	235	254	296	246	401	398	297	205	261
<b>% tov regen winter</b>										
gemaal %	68%	70%	72%	72%	74%	63%	68%	71%	68%	71%
ovst %	4%	1%	0%	0%	0%	14%	10%	4%	2%	3%
inloop %	72%	71%	72%	73%	73%	77%	79%	75%	71%	74%

Hieronder zijn de minima en maxima weergegeven:

TABEL 16 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN

	Zomer			Winter		
	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	566	200	397	522	290	385
gemaal mm	392	122	252	346	199	267
ovst mm	46	8	22	72	0	17
inloop mm	417	129	274	401	205	285
<b>% tov regen</b>						
gemaal %	69%	58%	63%	74%	63%	70%
ovst %	11%	3%	6%	14%	0%	4%
inloop %	74%	65%	68%	79%	71%	73%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

Gezien kan worden dat in de zomer 68% van de neerslag naar de riolering afstroomt en in de winter 73%. Dit is uitsluitend het gevolg van verschillen in verdamping tijdens de zomer en winter. In de literatuur worden verschillen gemeld van 5 tot 10%, [lit 1]. Dit komt dus goed overeen.

#### Conclusies:

- Ten gevolge van verschillen in verdamping tijdens de zomer en winter is de rioolinloop in de zomer 5 tot 10% lager dan in de winter.
- Het verschil wordt groter bij toenemende berging aan het oppervlak.

### 3.10 REALISTISCHE WAARDEN VOOR INLOOPPARAMETERS

Om gevoel te krijgen voor een realistisch jaargemiddelde van de rioolinloop zijn berekeningen uitgevoerd met de C2100-waarden voor de parameters met de volgende wijzigingen:  
Extra berging met 0,5 mm voor alle oppervlakken  
Gemiddelde en realistische waarde voor de infiltratie (begin 6 mm/h, minimum 1,5 mm/h)

Deze waarden zijn gebaseerd op gegeven waarden voor de parameters uit lit. 1 en 5. De resultaten zijn:

TABEL 17 WATERBALANS MET REALISTISCHE INLOOPPARAMETERS

Jaar	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
regen mm	659	752	921	832	539	923	915	762	781	740
gemaal mm	349	403	525	454	302	485	487	407	414	406
ovst mm	10	18	12	13	5	60	59	23	18	28
inloop mm	359	421	538	471	303	545	546	430	432	435
<b>% tov regen</b>										
gemaal %	53%	54%	57%	55%	56%	53%	53%	53%	53%	55%
ovst %	2%	2%	1%	2%	1%	7%	6%	3%	2%	4%
inloop %	55%	56%	58%	57%	56%	59%	60%	57%	55%	59%

Eveneens zijn hieronder de minima en maxima weergegeven:

TABEL 18 MAXIMA, MINIMA EN GEMIDDELDEN

	Maximaal*	Minimaal*	Gemiddeld*
regen mm	923	539	782
gemaal mm	525	302	423
ovst mm	60	5	25
inloop mm	546	303	448
<b>% tov regen</b>			
gemaal %	57%	53%	54%
ovst %	7%	1%	3%
inloop %	60%	55%	57%

\* De waarden hoeven niet uit hetzelfde jaar afkomstig te zijn.

De gemiddelde rioolinloop is 57% van de neerslag. De bandbreedte tussen de verschillende jaren is slechts 5%.

#### Conclusies:

- Met gemiddelde en realistische waarden voor de inlooppparameters is de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt 57%.
- De spreiding tussen de verschillende jaren is slechts 5%.

### 3.11 RIOOLINLOOPMODEL $Y = AX + B$

De begeleidingscommissie heeft geopperd om het volgende inloopmodel te beoordelen op eventuele bruikbaarheid:

$$Y = aX + b$$

Y = rioolinloop in mm

a = percentage afstromend verhard oppervlak

X = mm neerslag

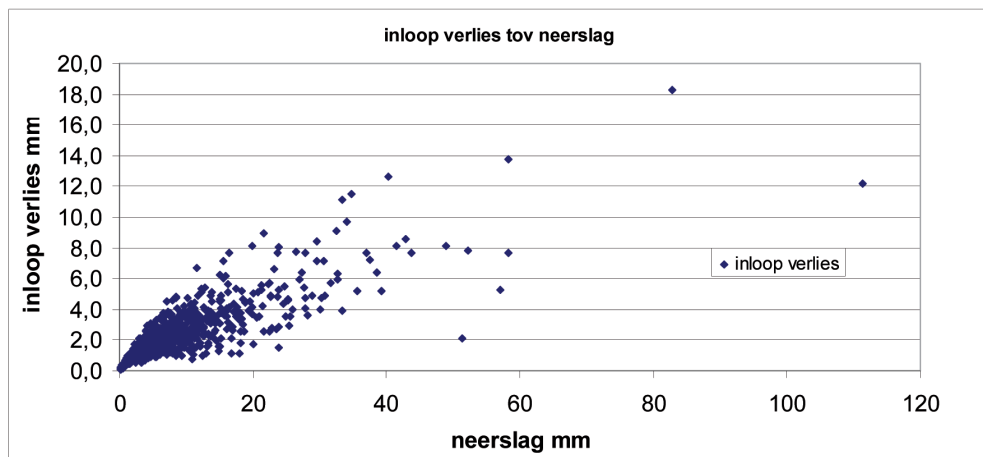
b = mm afstromingsverlies (negatief)

De gedachte hierachter is dat b met een hydraulisch model is te berekenen bij de aanname dat a 1,0 bedraagt. In de waterbalans kun je a initieel ook op 1,0 zetten en het afstromingsverlies b uit de balans berekenen.

Als het afstromingsverlies een redelijke constante is (geopperd is 4,0 mm per bui) kun je het omdraaien en b invullen en vervolgens a berekenen. Indien a groter is dan 1,0 en al het verharde oppervlak is geïnventariseerd, dan speelt vermoedelijk afstroming van onverhard mee. Indien a kleiner is dan 1,0 dan stroomt niet al het verharde oppervlak af.

In deze paragraaf is onderzocht of er theoretisch min of meer een vast afstromingsverlies per bui bestaat zodat b bekend is. Met het NWRW-inloopmodel en de C2100 parameters is per bui het afstromingsverlies berekend voor de 10-jarige regenreeks. Een bui is voor deze berekening gedefinieerd als er in de voorafgaande 10 uur geen neerslag is gevallen. De resultaten zijn weergegeven in navolgende figuur.

FIGUUR 4 INLOOPVERLIES TEN OPZICHTE VAN DE NEERSLAG



Gezien kan worden dat het inloopverlies sterk varieert en zelfs per neerslaghoeveelheid een grote spreiding kent. Van een eenvoudig voorspelbaar of vast verlies lijkt geen sprake te zijn.

De insteek van deze methode is in feite hetzelfde als de elders in dit rapport toegepaste techniek. Het NWRW-inloopmodel voorziet in een per type oppervlak variabele initiële berging, variabele infiltratie in de tijd, afstromingsvertraging en per maand variërende verdamping. Dit resulteert in een b per tijdseenheid en indien gesommeerd per bui of per jaar.

Het verschil zit dan uitsluitend tussen de manier van beoordeling van de resultaten om een oordeel te geven over de omvang van het verharde oppervlak: met  $Y = aX + b$  óf met C de jaarlijkse gemiddelde afvloeiingscoëfficiënt.

Het voordeel van C is dat deze min of meer constant is over de jaren, ongeacht de hoeveelheid neerslag in dat jaar. C is een manier om het resultaat (berekend of gemeten) van de afstromingsverliezen en de rioolinloop weer te geven en géén manier om de afstroming te berekenen. Voordeel is ook dat C dimensieloos is en daardoor verschillende stelsels en jaren met elkaar te vergelijken zijn.

### 3.12 CONCLUSIES

De conclusies van de theoretische benaderingen zijn:

#### Jaargemiddelden

- De rioolinloop op jaarbasis in procenten blijft redelijk constant voor natte en droge jaren met een bandbreedte van 5% van de totale jaarlijkse neerslag.
- Ook de afvoer door het gemaal in procenten blijft redelijk constant over de jaren met een bandbreedte van 6% van de totale jaarlijkse neerslag.
- Met realistische aannamen voor de inlooppparameters is de gemiddelde rioolinloop 57% van de jaarlijkse neerslag. De bandbreedte tussen de verschillende jaren is slechts 5%.
- De invloed van de omvang van het verharde oppervlak blijkt zich het beste over langere perioden te manifesteren. Over langere perioden worden bepaalde onzekerheden als neerslagspreiding en initiële situatie min of meer uitgemiddeld.

#### Overstortingen, monitoring en bijdrage onverhard

- Afstroming van regenwater van onverhard treedt vooral op tijdens gebeurtenissen met overstortingen.
- De afvoer van het gemaal neemt bij afstroming van regenwater van onverhard op jaarbasis nauwelijks toe. Dit extra water wordt vrijwel geheel direct overgestort.
- De overstortingen kunnen in hoeveelheid verdubbelen door afstroming van regenwater van onverhard. Bij gebruikmaking van monitoring-resultaten bij het opstellen van de waterbalans dient dit in gedachte te worden gehouden.
- Afstroming van regenwater van onverhard is ongrijpbaar in de waterbalans. Zelfs indien de overstorting wordt gemonitord, is de herkomst van het regenwater niet te achterhalen. Het kan van onverhard maar ook van verhard afkomstig zijn.
- Geschatte waarden voor de overstortende hoeveelheden zijn eveneens goed te gebruiken in de HAAS-methodiek. Op het jaargemiddelde is de invloed gering.

#### Gevoeligheid inlooppparameters

- Een verhoging met 1,0 mm voor de oppervlakteberging ten opzichte van de C2100-waarden voor alle typen oppervlak geeft een jaargemiddelde rioolinloop van ca. 60%. Dit is 11% minder ten opzichte van de 71% met C2100-waarden.
- Met gemiddelde en realistische waarden voor de infiltratiecapaciteit van open verhardingen is de gemiddelde rioolinloop 7% minder ten opzichte van de 'veilige' C2100-inlooppparameters. Opvallend is wel de sterke afname van de overstortende hoeveelheden.
- De infiltratiecapaciteit en het aandeel open verhardingen op het totaal aan verhardingen heeft een grote invloed op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt.

#### Zomer en winter

- In de zomer is de gemiddelde afvloeingscoëfficiënt ca. 5 % tot 10% lager dan in de winter. Dit is vooral afhankelijk van de grootte van de initiële berging. Hoe groter deze berging is, des te groter is het verschil tussen zomer en winter.

De conclusies van deze theoretische benaderingen vormen het fundament onder de HAAS-methode:

**Beoordeling zal primair plaatsvinden op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt.**

# 4

## DE HAAS METHODIEK

### 4.1 ALGEMEEN

Uit de theoretische benaderingen is naar voren gekomen dat de jaargemiddelde afvloeiingscoëfficiënt tussen verschillende jaren weinig varieert. Op deze constatering is de HAAS methodiek gebaseerd.

Hierna zijn de stappen beschreven voor de toepassing van HAAS.

### 4.2 STAP 1: BENODIGDE GEGEVENS

De Haas methodiek is opgezet vanuit de RegenWaterBalans over één of meerdere stelsels. Het analysepunt bevindt zich altijd bij een gemaal waar dagsommen worden geregistreerd van de bovenstroomse aanvoer.

De benodigde gegevens zijn:

- De dagsommen neerslag voor één of meerdere kalenderjaren in mm/dag. Bij voorkeur dienen de neerslaggegevens afkomstig te zijn van KNMI-stations. Afhankelijk van de gebiedsgrootte is gebruik van meerdere naburige KNMI-stations aanbevolen. Door middeling tussen deze stations kan spreiding in neerslag min of meer verrekend worden.
- Het aangesloten verharde oppervlak in ha en onderverdeeld volgens C2100 in open verharding, gesloten verharding, daken hellend en daken vlak.
- De rioolstelselkenmerken voor de gemengde stelsels (berging, poc), eventueel gemiddeld over meerdere stelsels bovenstrooms van het analysepunt.
- De rioolstelselkenmerken van verbeterd gescheiden stelsels. Deze stelsels kunnen deel uitmaken van de methodiek, maar kunnen ook als gemaal-inprik in de waterbalans worden opgenomen. In dit laatste geval moeten wel de dagsommen van dit gemaal beschikbaar zijn.
- De dagsommen afgevoerd water (m<sup>3</sup>/dag) voor één of meerdere kalenderjaren op het analysepunt.
- Indien aanwezig: de resultaten van de monitoring van overstortingen (m<sup>3</sup>/dag)

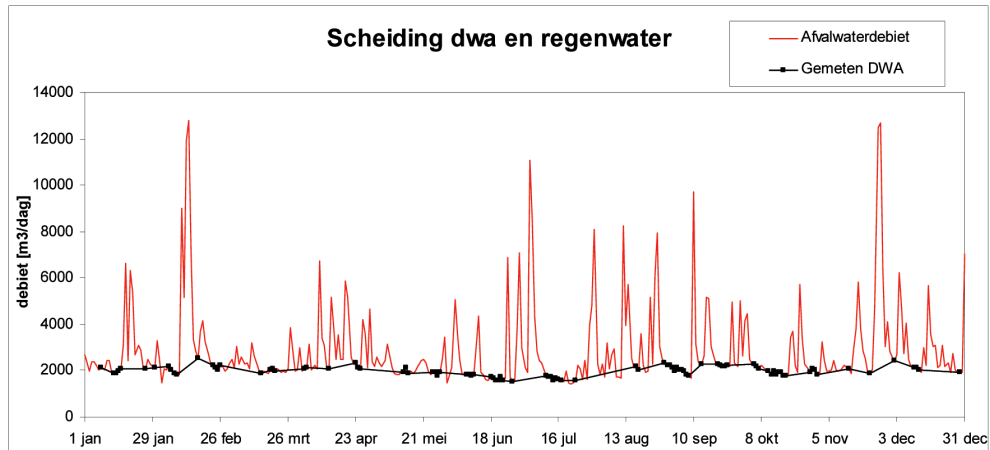
### 4.3 STAP 2: DE BALANSPERIODE

- HAAS wordt toegepast op minimaal één geheel kalenderjaar. De keuze van het jaar is vrij.
- Op basis van dagsommen is géén dagelijkse afvloeiingscoëfficiënt C te berekenen ten gevolge van het niet bekend zijn van doorgegeven berging naar de volgende dag.
- Voor natte perioden tussen een droge dag tot de volgende droge dag is een C te berekenen, daar er geen bergingsverschil is over die periode.
- Voorwaarde is dat op de 'droge dag' geen regenwater in het stelsel van een voorafgaande dag met neerslag geborgen mag zijn.
- Een natte periode is dan de neerslagperiode tussen twee DWAAS droge dagen.
- Een DWAAS droge dag is een dag waarop gisteren, vandaag en morgen minder dan 0,5 mm neerslag is gevallen. Verondersteld is dat tot 0,5 mm neerslag niet tot rioolinloop leidt [lit 3].
- Minimaal moeten over één volledig jaar de C's voor de natte perioden worden berekend.
- De jaarbalans kan worden opgesteld door sommaties.

#### 4.4 STAP 3: SCHEIDING DWA VAN REGENWATER

De dagsommen afvalwater zijn het totaal aan afvalwater, rioolvreemd water en regenwater. Het aandeel regenwater in de dagsom dient per dag te worden bepaald. Dit kan door de dagsommen tijdens natte perioden te interpoleren vanuit de droge dagen vóór en ná deze natte periode. Dit is weergegeven in onderstaande figuur.

FIGUUR 5 SCHEIDING DWA EN REGENWATER



Het aandeel regenwater is het verschil in m<sup>3</sup>/dag tussen de zwarte en de rode lijn. Met dit verschil wordt in de methode verder gegaan bij het opstellen van de regenwaterbalans.

#### 4.5 STAP 4: OVERSTORTINGEN

Om de regenwaterbalans compleet te krijgen, dienen de overstortingen in hoeveelheid per dag bekend te zijn. Dit kan door berekeningen en metingen. Gerealiseerd moet worden dat de overstortingen van gemengde stelsels gemiddeld slechts 5% van de jaarlijkse regenwaterbalans uitmaken. Een relatief grote fout in het schatten van de overstortingen, heeft dan op de jaarbalans relatief weinig invloed.

De lozingen van regenwater uit verbeterd gescheiden stelsels dienen afzonderlijk van de gemengde stelsels berekend te worden. De berging en de poc van deze stelsels mogen niet worden gemiddeld met die van gemengde stelsels omdat ze een andere orde van grootte betreffen.

##### Berekenen van overstortingen

De overstortingen kunnen worden geschat op basis van de dagsommen neerslag en de rioolstelselkenmerken: aangesloten verhard oppervlak, berging en pompovercapaciteit. Meerdere stelsels kunnen deel uitmaken van het onderzoeksgebied.

De overstortingen kunnen worden geschat uit de volgende balansvergelijkingen:

$$1: OVS \text{ (mm/dag)} = ((NSLG(\text{mm/dag}) - OPPBER(\text{mm})) \times Cp) - BRGR(\text{mm}) - N \text{ uur POC (mm/h)}$$

$$2: OVSVOL(\text{m}^3/\text{dag}) = OVS(\text{mm/dag}) \times VOP(\text{hectare}) \times 10$$



Waarin:

OVS = Overstorting

NSLG = Neerslag

OPBER = Initieel oppervlakteverlies (bijv 0,5 mm)

Cp = Afvloeingscoëfficiënt bij piek (bijv. 0,9)

BRGR = Berging rioelstelsel

POC = Pompoevercapaciteit tot einde overstorting (bijv. N = 6 uur)

OVSVOL = Overstortingvolume

VOP = Aangesloten verhard oppervlak

Indien uit de vergelijking voor OVS een positief getal volgt, dan is sprake van een (theoretische) overstorting. Deze berekening van overstortingen kan voor zowel gemengde als verbeterd gescheiden stelsels worden toegepast. Bij verbeterd gescheiden stelsels is het aandeel van de overstortingen in de balans echter veel groter.

De tijdsduur van N = 6 uur voor de bijdrage van de pompoevercapaciteit in de balans is arbitrair gekozen. Dit is beschouwd als de gemiddelde tijdsduur van aanvang van de bui tot het einde van de overstorting. De berging is op dat moment nog volledig gevuld en komt daarom volledig terug in de balansvergelijking 1.

Uit een eerste benadering voor Cp van 0,9 kan naar aanleiding van het berekende resultaat voor C van deze natte periode eventueel geïtereerd worden.

De vergelijkingen worden op iedere regendag afzonderlijk toegepast. Doorgeven van eventuele berging naar de volgende dag is niet meegenomen.

Deze methode is niet de enige die mogelijk is. Er zijn andere benaderingen en vergelijkingen denkbaar.

#### **Gebruik van metingen**

Overstortingen worden meer en meer gemonitord met m<sup>3</sup>/dag als resultaat. Deze gegevens kunnen:

- direct in de waterbalans worden gebruikt
- gebruikt worden om de schattingen te valideren

Hierbij moet in gedachte worden gehouden dat afstromend regenwater van onverhard, deel kan uitmaken van de gemonitorde overstortingen.

#### **4.6 STAP 5: BEREKENING AFVLOEIINGSCOËFFICIËNT C**

De afvloeingscoëfficiënt C kan berekend worden voor iedere natte periode en over het gehele jaar met de volgende vergelijkingen:

$$C_{\text{periode}} = (RWA + OVS) / \text{Neerslag per periode}$$

$$C_{\text{jaar}} = \text{jaarsom } (RWA + OVS) / \text{Jaarsom Neerslag}$$

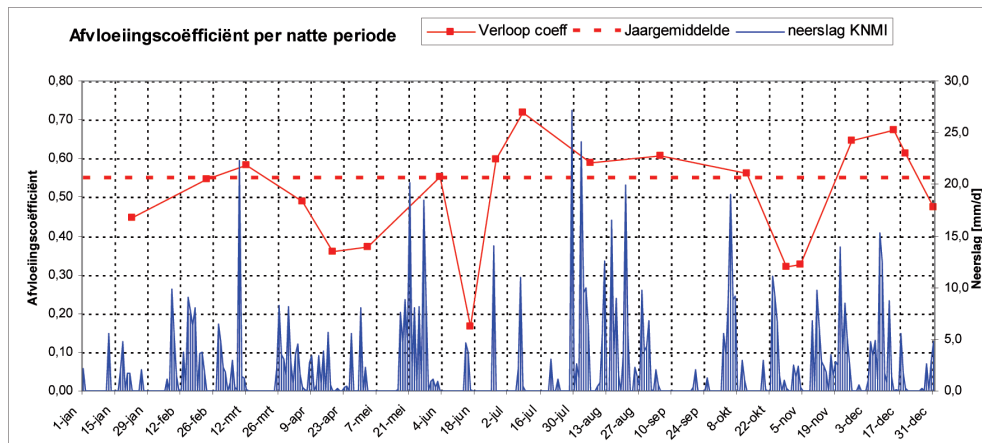
Waarin RWA de gemeten dagsommen van het gemaal zijn. De dimensie kan zowel in mm zijn als in m<sup>3</sup>.

Deze C's kunnen op een tijdsas worden uitgezet.

#### 4.7 STAP 6: PRESENTATIE RESULTATEN

De resultaten kunnen op meerdere wijzen worden gepresenteerd. Indien het verloop van de C's samen met de neerslag op een tijdsas wordt uitgezet, is visueel direct een relatie te leggen tussen de neerslag en de C. Dit is in de volgende figuur weergegeven.

FIGUUR 6 VOORBEELD VAN PRESENTATIE BEREKENDE AFVLOEIINGSCOËFFICIËNTEN



Om het verloop van de afvloeiingscoëfficiënt in de grafiek beter te kunnen volgen, zijn in de presentatie de resultaten van alle natte perioden met minder dan 5 mm neerslag niet weergegeven. Opgemerkt wordt ook dat het jaargemiddelde niet het gemiddelde van alle punten is: ieder punt betreft een ander aantal mm neerslag.

De grafiek kan nog worden aangevuld met de visualisering van de overstortingen.

#### 4.8 STAP 7: BEOORDELING

De berekende afvloeiingscoëfficiënten hebben een signaalfunctie voor het werkelijk functioneren van rioolstelsels. Het beoordelen van het werkelijk functioneren is gericht op de ontwerppuntgangspunten voor het rioolstelsel met name op het aangesloten verhard oppervlak. Aan de omvang van dit oppervlak worden veel berekeningen en maatregelen opgehangen in o.a. :

- afvoercapaciteitsberekeningen
- emissieberekeningen
- de afnameverplichting
- de omrekening van de berging naar mm
- optimalisatiestudies
- afkoppel scenario's

De beoordeling van de berekende afvloeiingscoëfficiënten is gericht op een signaalwerking voor de omvang van het verharde oppervlak door primair gebruik te maken van het jaargemiddelde. Een te klein ingeschat aangesloten verhard oppervlak zal leiden tot een hogere berekende afvloeiingscoëfficiënt.

Mede op basis van de ervaringen met de casussen en de berekeningen met het NWRW-inloopmodel kunnen de volgende signalen uit de berekende jaargemiddelde afvloeiingscoëfficiënt worden afgeleid.

- Als  $C > 0,75$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak is met redelijke zekerheid groter dan aangenomen.
- Als  $C > 0,65$  en  $< 0,75$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak verdient aandacht: zijn bijv. particuliere verhardingen meegenomen.
- Als  $C > 0,55$  en  $< 0,65$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak lijkt in omvang goed te zijn ingeschat.
- Als  $C < 0,55$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak lijkt in omvang te groot te zijn ingeschat.

Een andere en niet minder belangrijke beoordeling van het resultaat kan verkregen worden door de C's onderling te vergelijken voor alle onderzochte stelsels. Dit is een zeer belangrijke stap. Een groot verschil (meer dan 0,1) kan een aanwijzing zijn dat een stelsel meer aangesloten oppervlak heeft dan is opgegeven.

#### *Correctie voor open verhardingen*

Indien de typen aangesloten verhardingen sterk afwijkt van NWRW-verdeling, kan de te verwachten jaargemiddelde C aangepast worden. Dit geldt vooral voor de open verhardingen.

Een benadering voor

C-jaar kan dan zijn:

$$\text{C-jaar} = 0,70 - (\% \text{ open verhard} / 300)$$

#### *Pieken*

Een beoordeling op pieken is niet eenduidig en onderling vergelijkbaar uit te voeren. Iedere piek ontstaat immers uit een unieke neerslaggebeurtenis. Wel kan gesteld worden indien een piek-C bóven 0,9 uitkomt, er extra aandacht aan moet worden besteed:

Is het jaargemiddelde in dit geval ook te hoog, of betreft het een incident?

In geval van een incident: speelt afstroming van onverhard mee?, is er sprake van terugloop op de overstort?, is het te verklaren door spreiding van neerslag? Kunnen de registraties van een buienradar bijdragen aan een verklaring?

# 5

## RESULTATEN HAAS ANALYSES

### 5.1 ALGEMEEN

Met de in het vorige hoofdstuk beschreven HAAS-methodiek is voor de zes casussen de omvang van het aangesloten verhard oppervlak beoordeeld. De resultaten van de analyses zijn in bijlage 2 per casus volledig weergegeven. Opgemerkt wordt dat het aantal casussen te gering is om algemeen geldende conclusies te trekken. Wél hebben de resultaten een signaalfunctie.

### 5.2 AANGESLOTEN OPPERVLAKKEN

Met de volgende opgave voor de aangesloten oppervlakken zijn de jaargemiddelde afvloeiingscoëfficiënten berekend:

TABEL 19 RESULTATEN HAAS METHODIEK

Gemeente	Totaal aangesloten oppervlak (ha)	Jaargemiddelde afvl. coëfficiënt
Almere	101,0	0,45
Boxtel	169,2	0,74
Emmen	404,7	0,58
Epe	128,4	0,58
's Hertogenbosch	1474,0	0,55
Wageningen	174,5	0,63

Beoordeling:

- Indien het jaargemiddelde boven de 0,65 ligt, dient te worden nagegaan of het werkelijk aangesloten oppervlak niet groter is (Boxtel).
- Bij waarden kleiner dan 0,50 dient te worden nagegaan of het werkelijk aangesloten oppervlak wellicht is overschat (Almere)
- Buiten Almere en Boxtel is er geen reden om bij de overige casussen te twijfelen aan de opgave van de omvang van het aangesloten oppervlak.

Een van de mogelijke oorzaken van de verschillen in de coëfficiënten is de wijze van inventarisatie van de verharde oppervlakken.

### 5.3 INVENTARISATIE VERHARDINGEN

Gebleken is dat de inventarisatie van de verharde oppervlakken op verschillende wijzen is uitgevoerd voor wat betreft de particuliere verhardingen.

TABEL 20 INVENTARISATIEMETHODE AANGESLOTEN OPPERVLAKKEN

Gemeente	Jaargemiddelde afvl. coëfficiënt	Wijze van inventarisatie
Almere	0,45	Geschat oppervlak als VGS aangesloten
Boxtel	0,74	Recente GBKN zonder verrekening particulier
Emmen	0,58	Recente GBKN met deels verrekening particulier
Epe	0,58	Recente GBKN met deels verrekening particulier
's Hertogenbosch	0,55	Recente GBKN met verrekening particulier
Wageningen	0,63	Recente GBKN met verrekening particulier

Voor de casussen die het particulier aangesloten verhard oppervlak hebben verrekend, blijkt de afvloeiingscoëfficiënt tussen de 0,55 en 0,65 te liggen. Er is geen aanleiding om aan de omvang van het opgegeven aangesloten oppervlak te twijfelen.

Boxtel heeft een recente inventarisatie van de aangesloten oppervlakken uitgevoerd, echter zonder verrekening van particulier afstromend oppervlak. Dit resulteert in een duidelijk afwijkende en hogere afvloeiingscoëfficiënt. Dit kan aanleiding zijn om het aangesloten oppervlak te herzien.

Almere is een apart geval: het effectief aangesloten oppervlak is niet precies bekend en het stelsel is uitgevoerd als een serie van kleine verbeterd gescheiden stelsels. Ook de berging en de afvoer via wervelventielen zijn niet precies bekend.

### **Conclusie**

- Het verhard oppervlak blijkt niet op eenzelfde wijze te worden geïnventariseerd. Verschillen zitten in de mate van naverkenningen en veldopnames en de wijze van verrekening van particuliere verhardingen.
- Opvallend is dat verrekening van particulier leidt tot lagere jaarlijkse afvloeiingscoëfficiënten.

# 6

## INVLOED OMGEVINGSFACTOREN

### 6.1 OMGEVINGSFACTOREN

De afstroming van regenwater naar de riolering in bebouwd gebied wordt beïnvloed door een aantal kenmerken van de omgeving. Deze kenmerken zijn door de begeleidingscommissie opgesteld en zijn:

- De infiltratiecapaciteit van open verhardingen
- Vlak of hellend terrein
- Type verharding (open of gesloten, platte of vlakke daken)
- Bijdrage onverhard
- Seizoensinvloeden
- Neerslagspreiding
- Neerslagintensiteit

In de analyses van de zes casussen is getracht deze invloeden te herkennen en te kwantificeren.

De analyses zijn hierna per omgevingsfactor gerapporteerd. Ook hier moet opgemerkt worden dat het aantal casussen te gering is om algemeen geldende conclusies te trekken.

### 6.2 INFILTRATIECAPACITEIT OPEN VERHARDINGEN

#### Mogelijke invloed

De uitvoering van de open verhardingen en de doorlatendheid van de bodem bepalen mede de infiltratiecapaciteit van de open verhardingen.

#### *Theorie via inloopmodel*

De infiltratie van neerslag op open verhardingen neemt bij drieverdubbeling van de infiltratiecapaciteit ten opzichte van de C2100-inloopparameters (van 2 naar een meer realistische 6 mm/h) op jaarbasis af van 71% naar 64%. Dit is aanzienlijk gezien dit maar op 30% van de totale verhardingen wordt toegepast (zie ook paragraaf 4.7).

Ook het percentage open verhardingen op het totaal aan verhardingen heeft een aanzienlijke invloed op de jaargemiddelde afvloeiingscoëfficiënt (zie ook paragraaf 4.8).

#### Resultaten

In de navolgende tabel is het percentage open verharding en de doorlatendheid van de oorspronkelijke ondergrond weergegeven.

TABEL 21 DOORLATENDHEID ONDERGROND

Gemeente	Jaargemiddelde afvl. Coëfficiënt	Doorlatendheid	Percentage open verharding
Almere	0,45	Slecht	0
Boxtel	0,74	Matig tot slecht	42
Emmen	0,58	Goed	-
Epe	0,58	Goed	33
's Hertogenbosch	0,55	Matig tot slecht	36
Wageningen	0,63	Matig	35

### Analyse

De invloed van de infiltratie van neerslag op open verhardingen op de afstroming van regenwater van dit oppervlak is theoretisch aanzienlijk. De casussen zijn echter weinig onderscheidend in de percentages. Een conclusie is uit deze resultaten niet te trekken.

### Conclusie:

De casussen zijn te weinig onderscheidend in de percentages open verharding om verschillen infiltratiecapaciteit waar te nemen. Een conclusie is uit deze resultaten niet te trekken.

## 6.3 VLAK OF HELLEND

### Mogelijke invloed

In hellend terrein kan neerslag zich aan het oppervlak gemakkelijk verspreiden of concentreren. Er zal ook minder berging aan de oppervlakte zijn. Dit geldt ook voor onverhard waardoor van hellend onverhard terrein als de afstroomrichting dit toelaat, sneller afstroming van regenwater naar verhard zal plaatsvinden.

### Theorie:

Vooral de initiële verliezen door plasvorming en de bijdrage van onverhard kunnen variëren bij vlak en hellend.

Bij verhoging van de oppervlakteberging ten opzichte van het NWRW-C2100-inloopmodel met 1,0 mm neemt de jaargemiddelde inloop met 11% af (zie paragraaf 4.6).

Afstroming van regenwater van onverhard heeft theoretisch ook slechts een beperkte invloed op de jaarsom bij het gemaal (2%). Wel heeft het aanzienlijke invloed op de overstortende hoeveelheden. Deze kunnen, afhankelijk van de aard van het onverharde oppervlak, verdubbelen ten gevolge van de afstroming van regenwater van onverhard (zie paragraaf 4.5).

### Resultaten

TABEL 22 VLAK OF HELLEND

Gemeente	Jaargemiddelde afvl. Coëfficiënt	Vlak of Hellend
Almere	0,45	Vlak
Boxtel	0,74	Vlak
Emmen	0,58	Vlak
Epe	0,58	Licht hellend
's Hertogenbosch	0,55	Vlak
Wageningen	0,63	Licht hellend

### Analyse

De licht hellende gebieden hebben geen duidelijk hogere afvloeiingscoëfficiënten per natte periode, zie ook bijlage 2. In licht hellend gebied is deze helling ook nauwelijks in groenvoorzieningen terug te vinden, waardoor een hogere afstroming van regenwater van onverhard nauwelijks is te verwachten.

### Conclusies

- Er blijkt uit de onderzochte casussen geen relatie te zijn tussen de helling van het gebied en eventuele verhoogde afstroming van onverhard. Dit kan ook komen doordat er geen uitgesproken hellend gebied in de casussen zit.

## 6.4 BIJDRAGE ONVERHARD EN SEIZOENSINVLOEDEN

### Mogelijke invloed

#### *Onverhard*

Een groot gedeelte van ieder bemalingsgebied bestaat uit onverharde oppervlakken. Ook de neerslag op deze oppervlakken moet uiteindelijk worden afgevoerd via de ondergrond of door afstroming aan het oppervlak naar de riolering of ter plaatse aanwezig oppervlaktewater. De initiële verliezen en de infiltratie zullen weliswaar aanzienlijk zijn, maar bij piekbuien zal zeker neerslag tot afstroming aan de oppervlakte komen. De mate van optreden is vooral afhankelijk van de omvang van het onverharde oppervlak en de infiltratiecapaciteit. Dit is hierna omgekeerd evenredig uitgedrukt als het percentage verhard t.o.v. het totale gebied.

#### *Theorie*

Bij evenveel onverhard als verhard en met de NWRW-C2100-inloopmodel en parameters (zie paragraaf 4.9) is berekend:

Jaargemiddelde afvoer van het gemaal stijgt met 1%

Overstortingen stijgen van 5 naar 10% op jaarbasis (is verdubbeling van volume)

Inloop stijgt van 71% naar 77% (% betrokken op verhard oppervlak)

#### *Seizoensinvloeden*

De verschillende seizoenen kunnen invloed hebben op de afstroming. In de zomer zal een droge initiële situatie en meer verdamping tot minder afstroming kunnen leiden. In de winter zullen plassen langer blijven staan en zal de bodem langer vochtig blijven. Dit kan ook leiden tot meer afstroming van onverhard in de winter en daarmee op de spreiding van de zomer en winter

#### *Theorie*

In de zomer is de afvloeingscoëfficiënt 5% tot 10% lager dan in de winter (zie paragraaf 4.9).

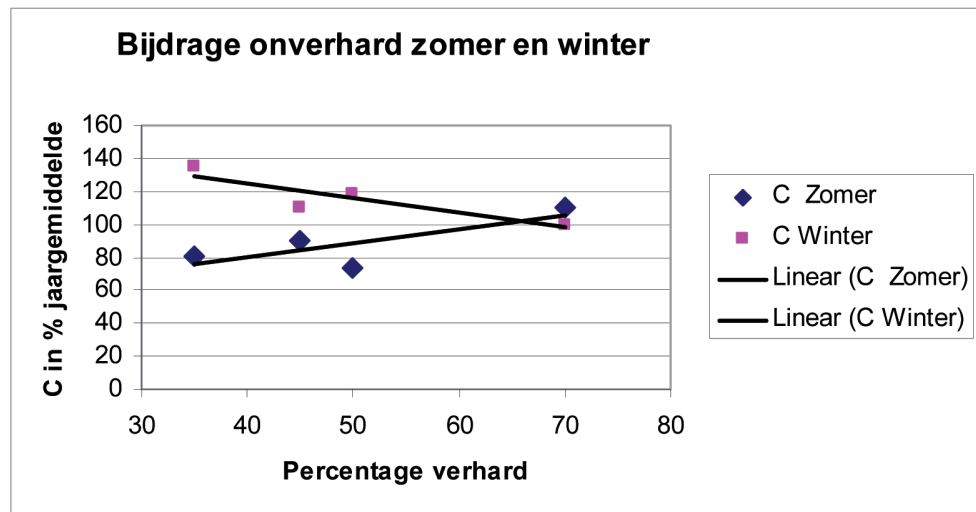
#### **Resultaten**

Voor de vier casussen waarvan het gehele jaar is geanalyseerd, is op jaarbasis geen duidelijke invloed van onverhard waar te nemen. Dit komt mede doordat de overstortende hoeveelheden in de HAAS-methodiek zijn geschat, waarbij geen rekening is gehouden met mogelijke afstroming van regenwater van onverhard.

Ook is onderzocht of onverhard verschillend kan doorwerken in de seizoenen. Dit lijkt inderdaad het geval te zijn, zoals blijkt uit navolgende figuur.



FIGUUR 7 BIJDRAGE ONVERHARD ZOMER EN WINTER



Bij een toenemend percentage aan verhardingen neemt de spreiding van de afvloeingscoëfficiënt tussen de winter en zomer af. Het aantal onderzochte casussen is echter te klein om hieraan algemeen geldende conclusies te verbinden. Wel is een duidelijke seizoensinvloed waar te nemen.

#### Conclusies

Op het jaargemiddelde is geen uitgesproken invloed van onverhard waar te nemen.

Wel lijkt de spreiding (variabiliteit) van de gemiddelde afvloeingscoëfficiënten voor de zomer en winter groter te zijn bij de aanwezigheid van meer onverhard, zie Figuur 7. Uit het beperkte aantal casussen dat hier is onderzocht zijn echter geen harde conclusies te trekken.

Wel zijn duidelijke seizoensinvloeden waar te nemen op de gemiddelde afvloeingscoëfficiënten. In de zomer liggen deze gemiddeld 5% tot 10% van de jaarlijkse neerslag lager dan in de winter.

## 6.5 NEERSLAGSPREIDING

### Mogelijke invloed

De neerslag voor de HAAS-analyses in dit rapport zijn afkomstig van in of nabij het studiegebied gelegen KNMI-stations. Het is denkbaar dat door neerslagspreiding deze KNMI-stations minder representatief zijn voor de totale neerslag op het gebied. Dit kan uitgesproken optreden bij heftige zomerse buien, maar de invloed zal worden uitgevlakt indien langere perioden worden beschouwd.

### Resultaten

De gevolgen van spreiding in neerslag zijn niet eenduidig uit de metingen te observeren. In enkele gevallen kan door het optreden van uitschieters (zowel naar boven als naar beneden) gedacht worden aan de gevolgen van spreiding van neerslag.

### Conclusies

Voor analyses van enkele gebeurtenissen over grotere gebieden wordt aanbevolen om ge-

bruik te maken van metingen met een regenradar. Hier is per vierkante kilometer en per tijdsinterval van 15 min de neerslag bekend.

Aanbevolen wordt om in enkele gevallen bij piek gebeurtenissen die uitschieters gaven te zien in de afvloeingscoëfficiënt, nader te analyseren met neerslaggegevens van de regenradar.

## 6.6 NEERSLAGDIEPTE EN -INTENSITEIT

### Mogelijke invloed

Bij kleine neerslagdiepten tot bijv. 5 mm, zal relatief veel regenwater als initiële verliezen niet tot afstroming komen. Bij een piekbui zullen relatief minder initiële verliezen optreden. Tevens zal bij een hoge intensiteit van de neerslag ook minder verliezen aan infiltratie en verdamping kunnen optreden.

De neerslag voor de HAAS-analyses in dit rapport zijn gemaakt met dagsommen. De correlatie is dus uitsluitend mogelijk door neerslagdiepten over gehele natte perioden te berekenen en te correleren met de afvloeingscoëfficiënt.

### Theorie:

De afvloeingscoëfficiënt neemt toe met de neerslagdiepte (zie paragraaf 4.3).

### Resultaten

Een mogelijke relatie tussen neerslagintensiteit en afstroming van regenwater naar de riolering in de zes casussen is hier niet onderzocht daar de registratie van de neerslag in dagsommen dit niet toelaat.

Wél zijn van de zes casussen de afvloeiingscoëfficiënten berekend voor drie klassen neerslagdiepten. Zoals te verwachten neemt de coëfficiënt toe bij toenemende neerslag per natte periode.

TABEL 23 NEERSLAGDIEPTE PER NATTE PERIODE

Gemeente	Jaargemiddelde afvl. coëfficiënt	Afvl. Coëfficiënt Neerslag < 5 mm in % jaargem.	Afvl. Coëfficiënt Neerslag > 5 en < 15 mm in % jaargem.	Afvl. Coëfficiënt Neerslag >15 mm In % jaargem.
Almere	0,45	20	70	160
Boxtel	0,74	45	80	130
Emmen	0,58	30	100	130
Epe	0,58	40	80	140
's Hertogenbosch	0,55	35	110	110
Wageningen	0,63	30	90	120

### Conclusies

- Bij kleinere neerslagdiepten 5 mm zijn duidelijk invloeden van initiële verliezen waarneembaar. De afvloeingscoëfficiënten zijn 30 tot 40 % van het jaargemiddelde.
- Bij grotere neerslagdiepten tot 15 mm (met nauwelijks overstortingen) treedt min of meer de jaargemiddelde afvloeiingscoëfficiënt op.
- Bij neerslagdiepten groter dan 15 mm treden afvloeiingscoëfficiënten op tot 140% van het jaargemiddelde.
- De spreiding in de afvloeiingscoëfficiënten is groot ten gevolge van de neerslagdiepte.

## 6.7 CONCLUSIES INVLOED OMGEVINGSFACTOREN

De invloed van de volgende omgevingsfactoren op de afstroming van regenwater zijn voor de zes casussen onderzocht en getoetst aan de theorie:

- De infiltratiecapaciteit van open verhardingen
- Vlak of hellend terrein
- Type verharding (open of gesloten, platte of vlakke daken)
- Bijdrage onverhard
- Seizoensinvloeden

Van deze invloedsfactoren kan voor de zes geanalyseerde casussen uitsluitend de seizoeninvloed duidelijk worden waargenomen. Voor de overige factoren zijn de casussen niet onderscheidend genoeg en te klein in aantal om statistisch verantwoorde uitspraken te kunnen doen.

De neerslagdiepte heeft een grote invloed op de afvloeingscoëfficiënt. De coëfficiënt neemt aanzienlijk toe bij meer neerslag.

# 7

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### *Theoretische benaderingen*

Met het NWRW-inloopmodel en de C2100 inloopparameters zijn berekeningen uitgevoerd met de 10-jarige regenreeks van De Bilt. De belangrijkste conclusies zijn:

- De riolinloop op jaarbasis in procenten blijft redelijk constant voor natte en droge jaren met een bandbreedte van 5% van de totale jaarlijkse neerslag.
- Met realistische aannamen voor de inloopparameters is de gemiddelde riolinloop 57% van de jaarlijkse neerslag.
- De invloed van de omvang van het verharde oppervlak blijkt zich het beste over langere perioden te manifesteren. Over langere perioden worden bepaalde onzekerheden als neerslagspreiding en initiële situatie min of meer uitgemiddeld.
- Afstroming van regenwater van onverhard treedt vooral op tijdens gebeurtenissen met overstortingen. Dit extra water wordt vrijwel geheel direct overgestort en kunnen daardoor in hoeveelheid verdubbelen. Bij gebruikmaking van monitoring-resultaten bij het opstellen van de waterbalans dient dit in gedachte te worden gehouden.
- Afstroming van regenwater van onverhard naar de riolering komt niet tot uiting in de met de HAAS-methodiek berekende jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt.
- In de zomer is de gemiddelde afvloeingscoëfficiënt ca. 5 % tot 10% lager dan in de winter. Dit is vooral afhankelijk van de grootte van de oppervlakteberging. Hoe groter deze berging is, des te groter is het verschil tussen zomer en winter.
- Infiltratie van regenwater in open verhardingen heeft een aanzienlijke invloed op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt. Het percentage aan open verhardingen is goed vast te stellen en kan daardoor als correctiefactor in de HAAS-methodiek worden ingebracht indien het werkelijk open verhardingspercentage duidelijk afwijkt van het aangenomen 30%.

De gemiddelde afvloeingscoëfficiënt over een jaar is een goede parameter om de omvang van het aangesloten verharde oppervlak te valideren.

Mede op basis van de ervaringen met de casussen en de berekeningen met het NWRW-inloopmodel kunnen de volgende signalen uit de berekende jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt C worden afgeleid.

- Als  $C > 0,75$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak is met redelijke zekerheid groter dan aangenomen.
- Als  $C > 0,65$  en  $< 0,75$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak verdient aandacht: zijn bijv. particuliere verhardingen meegenomen.
- Als  $C > 0,55$  en  $< 0,65$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak lijkt in omvang goed te zijn ingeschat.
- Als  $C < 0,55$  : Het werkelijk aangesloten oppervlak lijkt in omvang te groot te zijn ingeschat.

Een andere en niet minder belangrijke beoordeling van het resultaat kan verkregen worden door in een gebied de C's onderling te vergelijken voor alle onderzochte stelsels. Dit is een

zeer belangrijke stap. Een groot verschil (meer dan 0,1) kan een aanwijzing zijn dat een stelsel meer aangesloten oppervlak heeft dan is opgegeven.

Omgekeerd redenerend kan een schatting van het aangesloten oppervlak worden gemaakt door uit te gaan van een jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt van 0,60.

### **Casussen**

Met de volgende opgave voor de aangesloten oppervlakken zijn de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënten berekend:

#### **RESULTATEN HAAS METHODIEK**

<b>Gemeente</b>	<b>Totaal aangesloten oppervlak (ha)</b>	<b>Jaargemiddelde afvl. coëfficiënt</b>
Almere	101,0	0,45
Boxtel	169,2	0,74
Emmen	404,7	0,58
Epe	128,4	0,58
's Hertogenbosch	1474,0	0,55
Wageningen	174,5	0,63

Beoordeling:

- Indien het jaargemiddelde boven de 0,65 ligt, dient te worden nagegaan of het werkelijk aangesloten oppervlak niet groter is (Boxtel).
- Bij waarden kleiner dan 0,55 dient te worden nagegaan of het werkelijk aangesloten oppervlak wellicht is overschat (Almere)
- Buiten Almere en Boxtel is er geen reden om bij de overige casussen te twijfelen aan de opgave van de omvang van het aangesloten oppervlak.

Een van de mogelijke oorzaken van de verschillen in de coëfficiënten is de wijze van inventarisatie van de verharde oppervlakken.

#### *Inventarisatie aangesloten verhardingen casussen*

Het aangesloten verharde oppervlak wordt voor openbare wegen en bebouwing alle redelijk eenduidig en op dezelfde wijze door alle gemeenten met behulp van de GBKN's vastgesteld.

De inventarisatie van aangesloten verhardingen op particuliere terreinen verschilt aanzienlijk per gemeente. Van geheel niet tot volledig met veldopnames ter plaatse.

Het wel of niet meenemen van particuliere verhardingen lijkt invloed te hebben op de jaarlijkse afvloeingscoëfficiënt over het aangenomen verharde 'rekenoppervlak'.

#### *Omgevingsfactoren*

Uit het beperkte aantal casussen dat hier is onderzocht zijn geen harde conclusies te trekken ten aanzien van omgevingsfactoren als infiltratiecapaciteit, doorlatendheid, vlak of hellend, type verharding en bijdrage onverhard. Wel zijn duidelijke seizoensinvloeden waar te nemen op de gemiddelde afvloeingscoëfficiënten. In de zomer liggen deze gemiddeld 5% tot 10% lager dan in de winter.

*Neerslagspreiding*

De neerslagcijfers die gebruikt zijn in de waterbalansen, zijn afkomstig van metingen op een of meerdere plaatsgebonden stations. Niet onderzocht is de invloed van spreiding van neerslag, bijvoorbeeld door middel van regenradar. Neerslagspreiding kan een verklaring zijn voor uitschieters per gebeurtenis naar boven of beneden.

*Neerslagdiepte*

De neerslagdiepte heeft een grote invloed op de afvloeingscoëfficiënten. Naar mate de neerslag per periode toeneemt, neemt ook de afvloeingscoëfficiënt aanmerkelijk toe. De spreiding van deze coëfficiënt per natte periode is echter groot en dit pleit niet voor analyses op individuele gebeurtenissen.

*Toepassingen resultaten op rioelstelselontwerp*

- Indien de pieken in de afvloeingscoëfficiënt groter zijn dan 0,9 dan moet hiermede bij hydraulische afvoercapaciteitsberekeningen rekening worden gehouden.
- De bijdrage van onverhard komt vooral in de overstortingen tot uiting en is hierdoor van belang voor de afvoercapaciteitsberekeningen.

**De aanbevelingen voor nader onderzoek zijn:**

- De theoretische benaderingen hebben aangetoond dat open verhardingen en de infiltratiecapaciteit aanzienlijke invloed heeft op de jaargemiddelde afvloeingscoëfficiënt. Aanbevolen wordt om een benadering te zoeken voor deze coëfficiënt, waarbij deze invloeden meegewogen worden.
- HAAS over meerdere jaren toepassen op dezelfde gebieden geeft inzicht in de reproduceerbaarheid van de resultaten. Tot nu toe is de ervaring dat dit inderdaad het geval is: Tilburg, Almere, Tollebeek, Dronten, Lelystad en Zeewolde.
- Onderzoek naar invloed van klimaatveranderingen op de methodiek.
- Inbrengen van resultaten van reeds eerder uitgevoerde en nog uit te voeren studies voor verdere statistische onderbouwing.
- Met gegevens van de buienradar toetsen hoe neerslagspreiding en -verloop was tijdens enkele gebeurtenissen. Dit kan inzicht in de eventuele meerwaarde van deze techniek.

# 8

## LITERATUUR

- 1 ir. F.H.M. van de Ven, Van neerslag tot riolinloop in vlak gebied, 1990, ISBN 90-369-1060-9
- 2 NWRW, De vuiluitworp van gemengde rioolstelsels 5.2, 1989, ISBN 90-346-2099-9
- 3 Stowa, Riolvreemd water, 2003-08, ISBN 90-5773-213-8
- 4 Leidraad Riolering, C2100 Rioleringsberekeningen, Hydraulisch functioneren
- 5 NWRW, Neerslag, inloop, overstortmodel. Beschrijving en analyse 4.3, 1989, ISBN 90-346-2098-0

# BIJLAGE 1

## HAAS-RESULTATEN PER CASUS

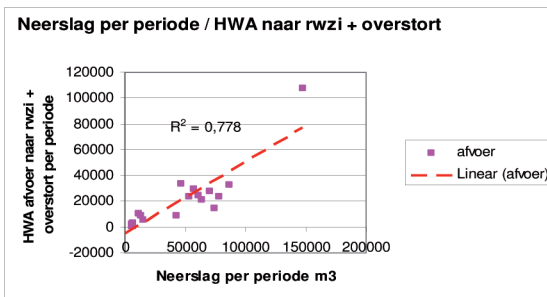
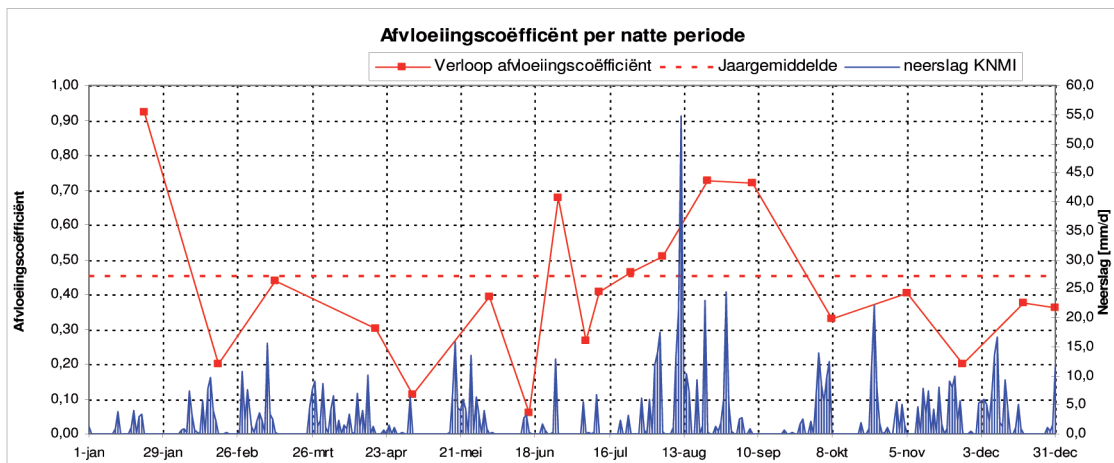


HAAS

<b>Waterschap</b>	Zuiderzeeland	
<b>Gemeente</b>	Almere	
<b>Bemalingsgebied</b>	RG 230 Parkwijk	

DroogWeerAfvoer		
Inwoners	Aantal	42250
Tabelbedrijven	VE	3265
Meetbedrijven	m3/dag	0
Theor. dwa	m3/dag	5462
Rioolvreemd water	%	26

Rioleringskenmerken			Verhardingen		
Bruto oppervlak bemalingsgebied	ha	900	Gesloten	%	90
Oppervlak gemengd stelsel	ha	0	Open	%	10
Oppervlak VGS	ha	101	Dak vlak	%	0
Afgekoppeld / niet-aangesloten opp.	ha	207	Dak hellend	%	0
Berging gemengd stelsel	mm	0	Verhardingen		34%
Randvoorzieningen gemengd	mm	0			
Berging VGS	mm	4			
Geïnstalleerd cap.	m3/h	-			



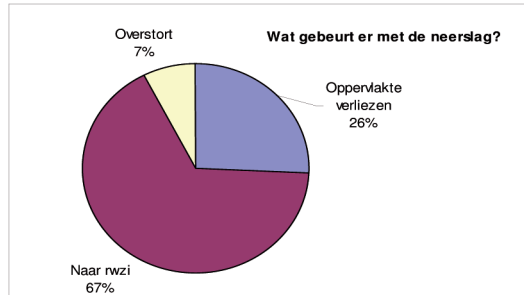
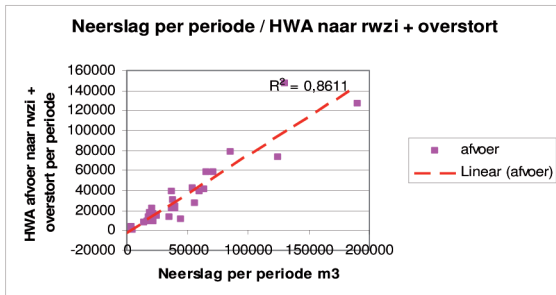
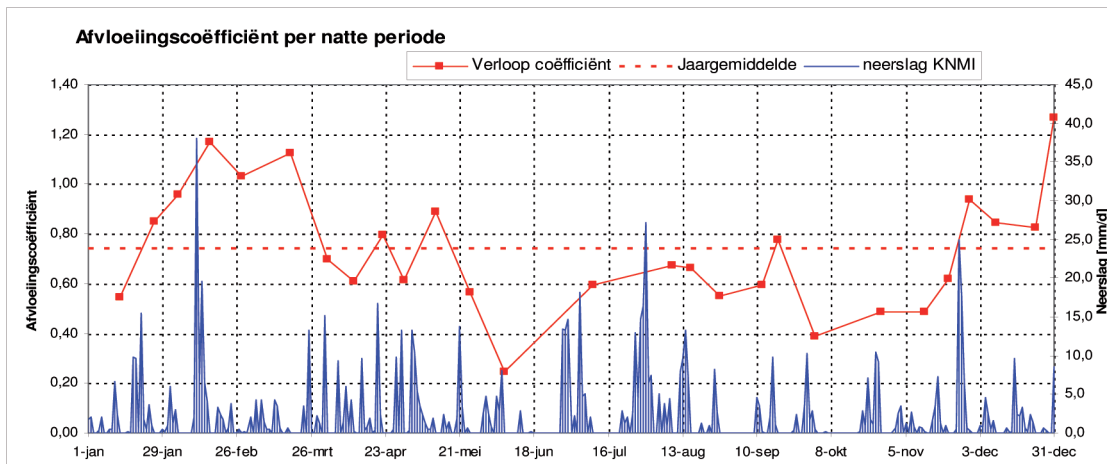
Resultaten HAAS				Afvoer per jaar uit stelsel		
Geanalyseerd jaar		2006		DWA	1000 m3/jaar	1.993
Totaal neerslag	mm	856	100%	Rioolvreemd water	1000 m3/jaar	526
Rioolinloop	mm	388	45%	Regenwater	1000 m3/jaar	146
Oppervlakte verliezen	mm	468	55%	Overstortingen	1000 m3/jaar	245
Regenwater afgevoerd door gemaal	mm	145	17%	Totaal	1000 m3/jaar	2.911
Overstortingen	mm	243	28%			
Fictief aangesloten oppervlak bij C = 0,6	ha	53				

HAAS

<b>Waterschap</b>	De Dommel	
<b>Gemeente</b>	Boxtel	
<b>Bemalingsgebied</b>	Boxtel Centrum	

DroogWeerAfvoer		
Inwoners	Aantal	23680
Tabelbedrijven	VE	6000
Meetbedrijven	m3/dag	690
Theor. dwa	m3/dag	3532
Rioolvreemd water	%	18

Rioleringskenmerken			Verhardingen	
Bruto oppervlak bemalingsgebied	ha	470		
Oppervlak gemengd stelsel	ha	165,1	Gesloten	% 14
Oppervlak VGS	ha	4,1	Open	% 42
Afgekoppeld / niet-aangesloten opp.	ha	0	Dak vlak	% 19
Berging gemengd stelsel	mm	6,2	Dak hellend	% 25
Randvoorzieningen gemengd	mm	0		
Berging VGS	mm	3,8	Verhardingen	36%
Geïnstalleerd cap.	m3/h	1760		



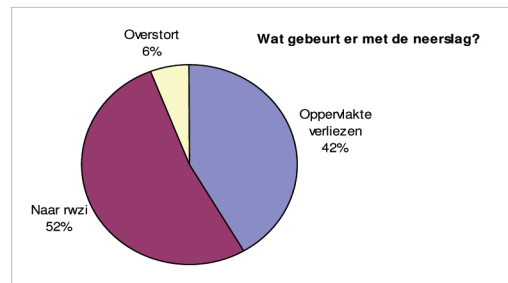
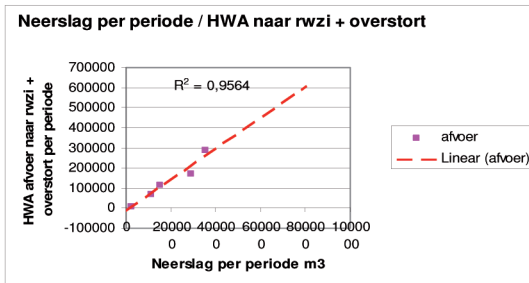
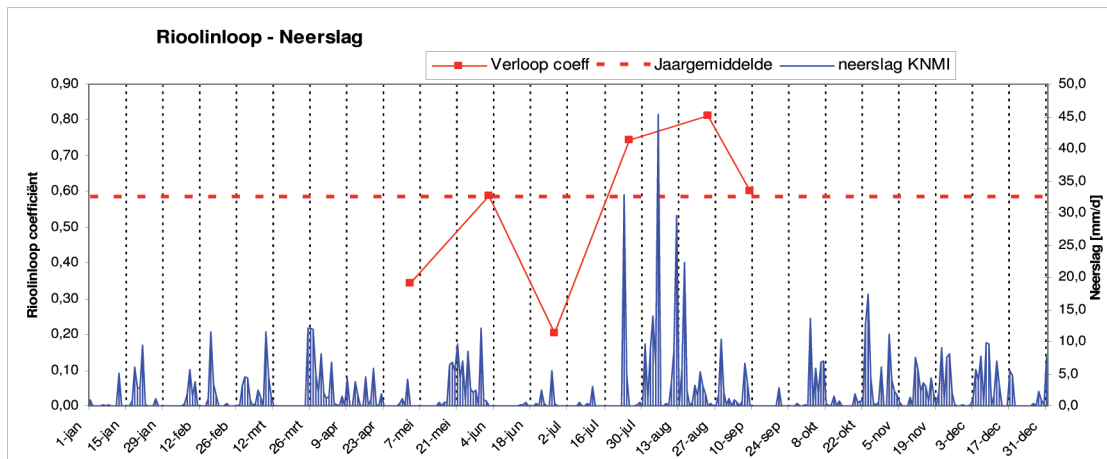
Resultaten HAAS				Afvvoer per jaar uit stelsel		
Geanalyseerd jaar		2005		DWA	1000 m3/jaar	1.289
Totaal neerslag	mm	823	100%	Rioolvreemd water	1000 m3/jaar	257
Rioolinloop	mm	612	74%	Regenwater	1000 m3/jaar	934
Oppervlakte verliezen	mm	211	26%	Overstortingen	1000 m3/jaar	98
Regenwater afgevoerd door gemaal	mm	552	67%	Totaal	1000 m3/jaar	2.578
Overstortingen	mm	58	7%			
Fictief aangesloten oppervlak bij C = 0,6	ha	214				

HAAS

<b>Waterschap</b>	Velt en Vecht	
<b>Gemeente</b>	Emmen	
<b>Bemalingsgebied</b>	Emmen Centrum	

DroogWeerAfvoer		
Inwoners	Aantal	43300
Tabelbedrijven	VE	8044
Meetbedrijven	m3/dag	642
Theor. dwa	m3/dag	6803
Rioolvreemd water	%	4

Rioleringskenmerken			Verhardingen		
Bruto oppervlak bemalingsgebied	ha	1794			
Oppervlak gemengd stelsel	ha	345,8	Gesloten	%	-
Oppervlak VGS	ha	58,9	Open	%	-
Afgekoppeld / niet-aangesloten opp.	ha	61,1	Dak vlak	%	-
Berging gemengd stelsel	mm	10,9	Dak hellend	%	-
Randvoorzieningen gemengd	mm	2,0			
Berging VGS	mm	4,0	Verhardingen		26%
Geïnstalleerd cap.	m3/h	-			



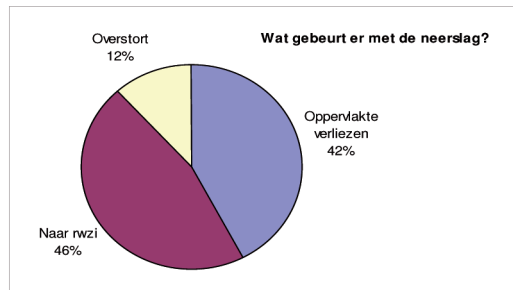
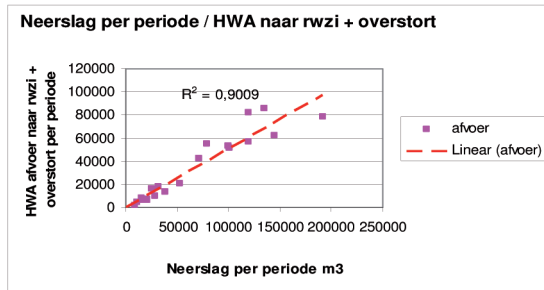
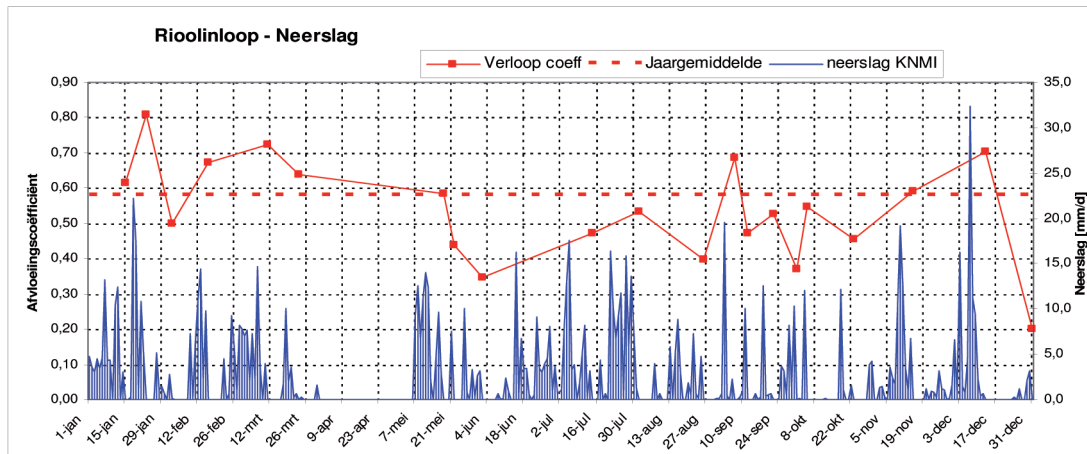
Resultaten HAAS				Afvoer per jaar uit stelsel		
Geanalyseerd jaar		2006		DWA	1000 m3/jaar	2.482
Totaal neerslag	mm	755	100%	Rioolvreemd water	1000 m3/jaar	97
Rioolinloop	mm	441	58%	Regenwater	1000 m3/jaar	1.603
Oppervlakte verliezen	mm	341	42%	Overstortingen	1000 m3/jaar	182
Regenwater afgevoerd door gemaal	mm	396	52%			
Overstortingen	mm	45	6%	Totaal	1000 m3/jaar	4.364
Fictief aangesloten oppervlak bij C = 0,6	ha	393				

HAAS

<b>Waterschap</b>	Veluwe	
<b>Gemeente</b>	Epe	
<b>Bemalingsgebied</b>	rwzi Epe	

DroogWeerAfvoer		
Inwoners	Aantal	18582
Tabelbedrijven	VE	6251
Meetbedrijven	m3/dag	760
Theor. dwa	m3/dag	3740
Rioolvreemd water	%	-6

Rioleringskenmerken			Verhardingen	
Bruto oppervlak bemalingsgebied	ha	280		
Oppervlak gemengd stelsel	ha	118,5	Gesloten	% 17
Oppervlak VGS	ha	9,9	Open	% 33
Afgekoppeld / niet-aangesloten opp.	ha	11	Dak vlak	% 21
Berging gemengd stelsel	mm	7	Dak hellend	% 29
Randvoorzieningen gemengd	mm	0		
Berging VGS	mm	1,5	Verhardingen	50%
Geïnstalleerd cap.	m3/h	1000		



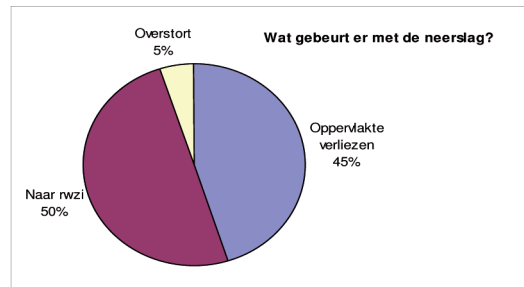
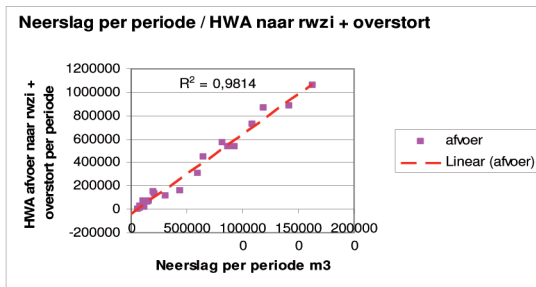
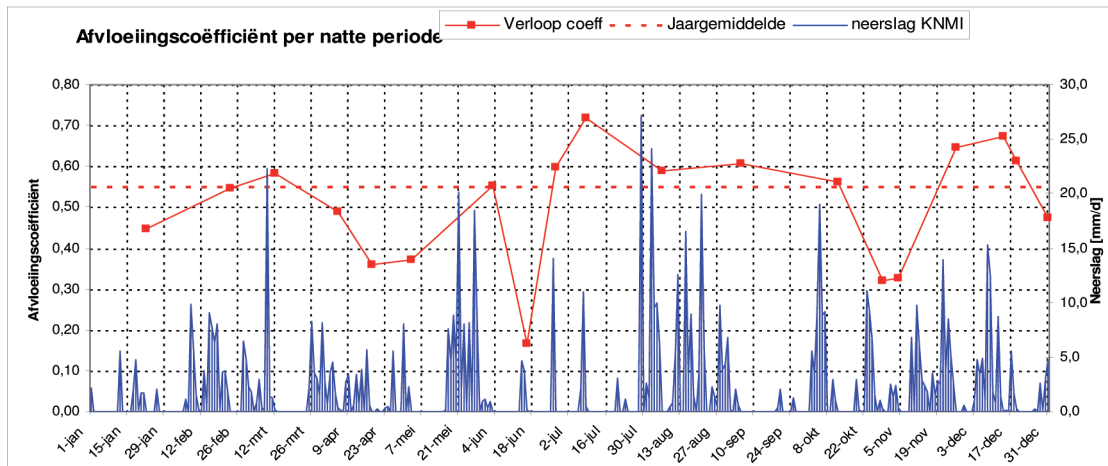
Resultaten HAAS				Afvoer per jaar uit stelsel		
Geanalyseerd jaar		2007		DWA	1000 m3/jaar	1.365
Totaal neerslag	mm	972	100%	Rioolvreemd water	1000 m3/jaar	(84)
Rioolinloop	mm	561	58%	Regenwater	1000 m3/jaar	575
Oppervlakte verliezen	mm	411	42%	Overstortingen	1000 m3/jaar	145
Regenwater afgevoerd door gemaal	mm	448	46%			
Overstortingen	mm	113	12%	Totaal	1000 m3/jaar	2.001
Fictief aangesloten oppervlak bij C = 0,6	ha	122				

HAAS

Waterschap	Aa en Maas	
Gemeente	s Hertogenbosch	
Bemalingsgebied	rwzi Den Bosch	

DroogWeerAfvoer		
Inwoners	Aantal	160000
Tabelbedrijven	VE	22100
Meetbedrijven	m3/dag	8580
Theor. dwa	m3/dag	30400
Rioolvreemd water	%	23

Rioleringskenmerken			Verhardingen	
Bruto oppervlak bemalingsgebied	ha	2100		
Oppervlak gemengd stelsel	ha	1143	Gesloten	% 22
Oppervlak VGS	ha	332	Open	% 36
Afgekoppeld / niet-aangesloten opp.	ha		Dak vlak	% 24
Berging gemengd stelsel	mm	7	Dak hellend	% 18
Randvoorzieningen gemengd	mm	2		
Berging VGS	mm	4	Verhardingen	70%
Geïnstalleerd cap.	m3/h	13400		



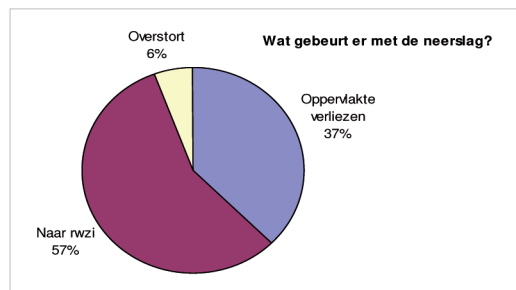
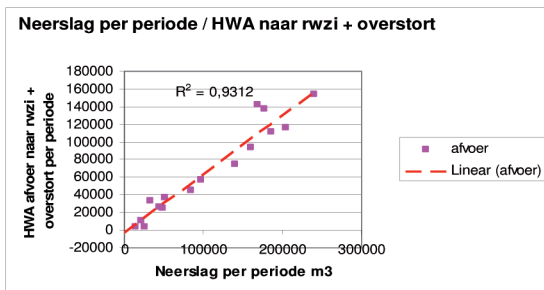
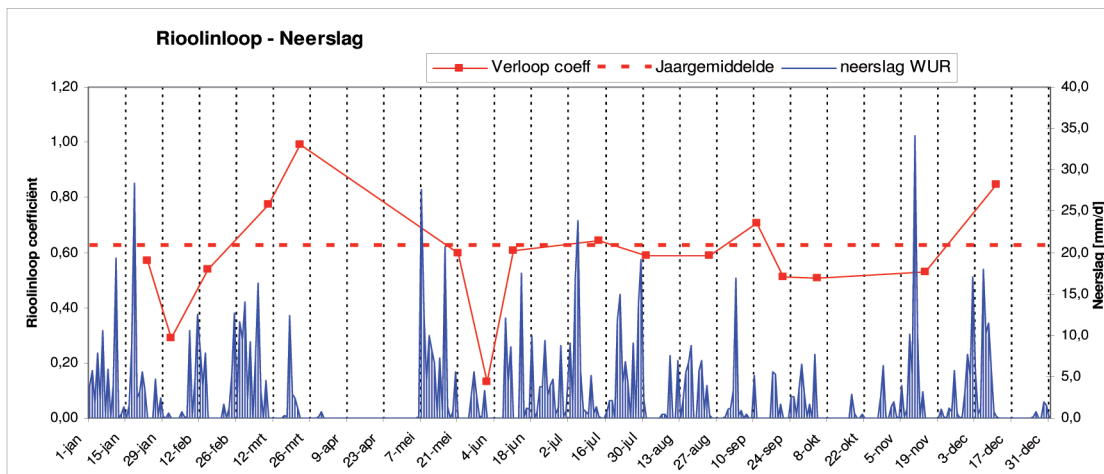
Resultaten HAAS				Afvoer per jaar uit stelsel		
Geanalyseerd jaar		2006		DWA	1000 m3/jaar	11.096
Totaal neerslag	mm	784	100%	Rioolvreemd water	1000 m3/jaar	2.546
Rioolinloop	mm	433	55%	Regenwater	1000 m3/jaar	5.782
Oppervlakte verliezen	mm	351	45%	Overstortingen	1000 m3/jaar	605
Regenwater afgevoerd door gemaal	mm	392	50%			
Overstortingen	mm	41	5%	Totaal	1000 m3/jaar	20.029
Fictief aangesloten oppervlak bij C = 0,6	ha	1350				

HAAS

<b>Waterschap</b>	Vallei &Eem	
<b>Gemeente</b>	Wageningen	
<b>Bemalingsgebied</b>	Hoofdrioolgemaal	

DroogWeerAfvoer		
Inwoners	Aantal	36273
Tabelbedrijven	VE	10500
Meetbedrijven	m3/dag	nvt
Theor. dwa	m3/dag	5612
Rioolvreemd water	%	37

Rioleringskenmerken			Verhardingen	
Bruto oppervlak bemalingsgebied	ha	670		
Oppervlak gemengd stelsel	ha	174,5	Gesloten	% 18
Oppervlak VGS	ha	0	Open	% 35
Afgekoppeld / niet-aangesloten opp.	ha	118,5	Dak vlak	% 20
Berging gemengd stelsel	mm	7,1	Dak hellend	% 27
Randvoorzieningen gemengd	mm	2		
Berging VGS	mm	0	Verhardingen	44%
Geïnstalleerd cap.	m3/h	1650		



Resultaten HAAS				Afvoer per jaar uit stelsel		
Geanalyseerd jaar		2007		DWA	1000 m3/jaar	2.048
Totaal neerslag	mm	982	100%	Rioolvreemd water	1000 m3/jaar	752
Rioolinloop	mm	614	63%	Regenwater	1000 m3/jaar	995
Oppervlakte verliezen	mm	368	37%	Overstortingen	1000 m3/jaar	97
Regenwater afgevoerd door gemaal	mm	558	57%	Totaal	1000 m3/jaar	3.892
Overstortingen	mm	56	6%			
Fictief aangesloten oppervlak bij C = 0,6	ha	181				

**stowa**

STICHTING  
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)  
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66  
Arthur van Schendelstraat 816  
POSTBUS 8090 35 03 RB UTRECHT

