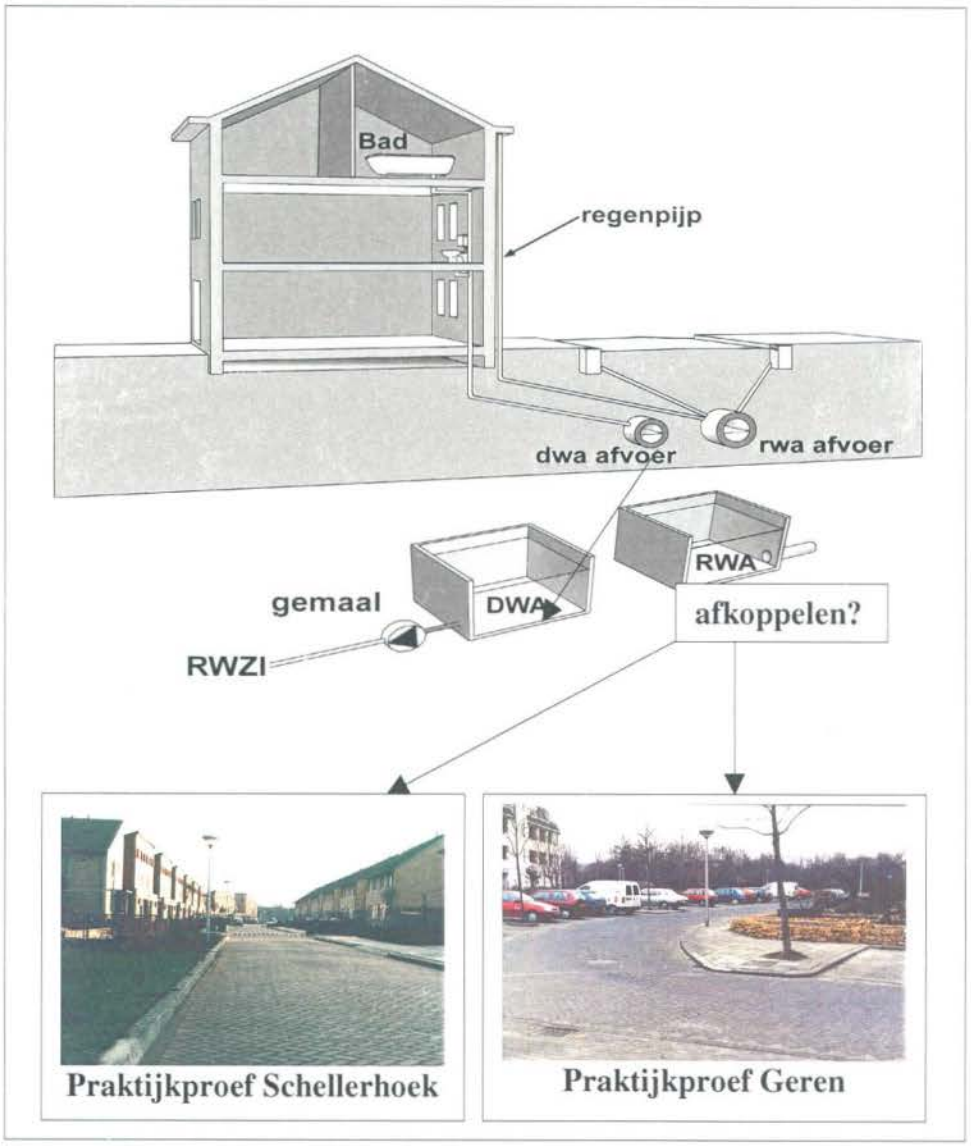
Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid

Deelrapport I
Vooronderzoek



Tauw

gemeente zwolle

Overijssel

Stichting RIONED

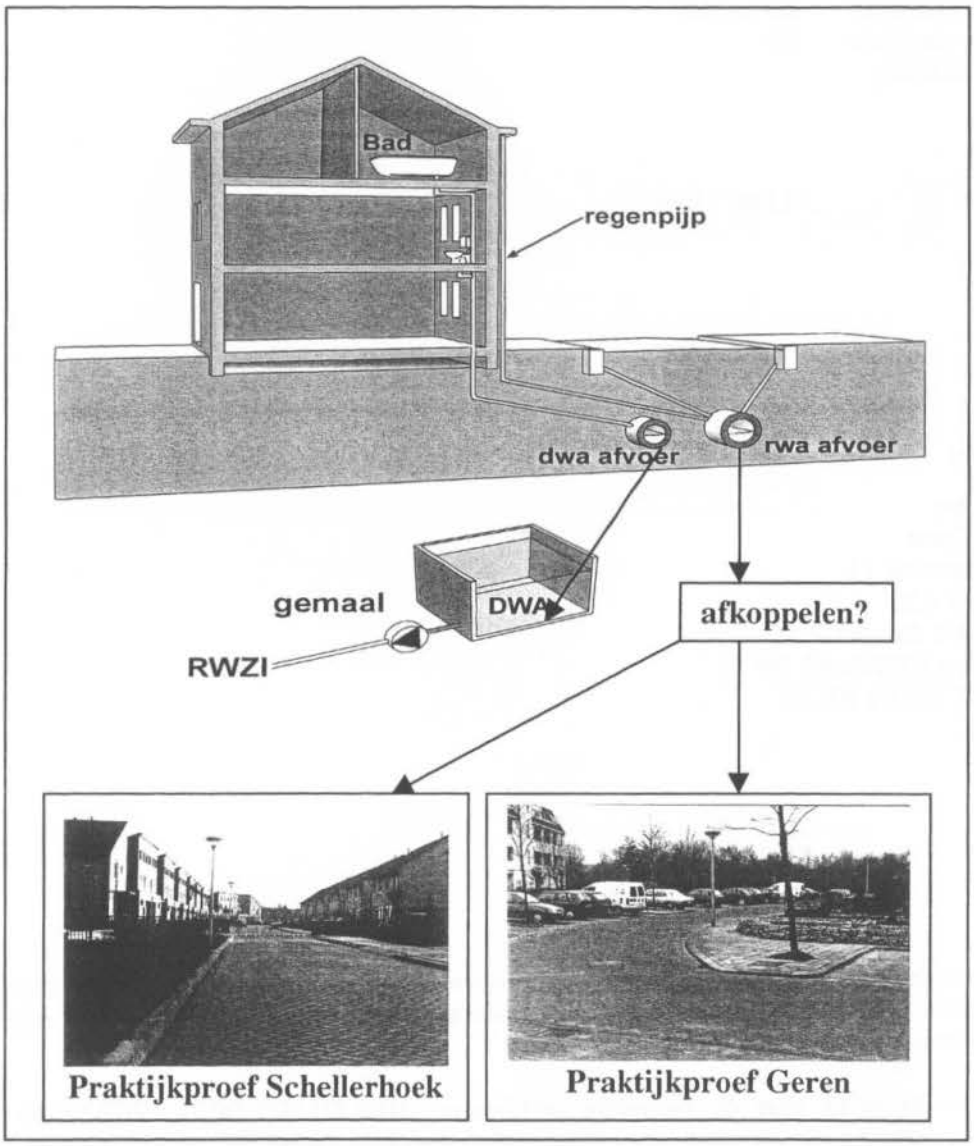
Groot Salland Waterschap

dienst landelijk gebied
voor ontwikkeling en beheer

Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid

Deelrapport I

Vooronderzoek



Tauw

gemeente zwolle

Overijssel

Stichting RIONED

dienst landelijk gebied
voor ontwikkeling en beheer

Groot Salland Waterschap

Tauw

Verantwoording

Titel	Praktijkproef Infiltratie Zwolle-zuid Deelrapport I: Vooronderzoek
Opdrachtgever	Gemeente Zwolle
Projectleider	ing. R. Wentink
Auteur(s)	ir. F.C. Boogaard, drs. S.P. de Jong, ing. R. Wentink
Projectnummer	0010139
Aantal pagina's	76
Handtekening	

Datum 8 juni 1999

Colofon

Tauw bv
Regio Oost
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins zonder voorafgaande, schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Tauw bv beschikt over de volgende certificaten: NEN-EN-ISO 9001, VCA** en KOMO-asbestinventarisatie. De meet- en inspectiediensten van Tauw zijn geaccrediteerd (STERIN I057). Deze accreditaties zijn op de werkzaamheden van toepassing tenzij in dit rapport anders is aangegeven.

ISO-9001 nr. 651023/650421
VCA** nr. 650488
KOMO nr. 651286
STERLAB-register nr L005: Laboratorium
STERIN-register nr I057: Meet- en bemonsteringsactiviteiten bodem, water, lucht en afvalstoffen

Voorwoord

In samenwerking met de sector Stadsontwikkeling van de gemeente Zwolle is door Tauw het proefproject infiltratie Zwolle-zuid opgezet. De bedoeling van dit project is om de mogelijkheden voor toepassing van infiltratiesystemen in Nederland in het algemeen en in Zwolle in het bijzonder te onderzoeken. In het kader van dit onderzoek zijn in Zwolle-zuid in 1993 en 1994 twee kleinschalige infiltratievoorzieningen aangelegd. Dit rapport bevat de beschrijving van het vooronderzoek met betrekking tot infiltratie van regenwater afstromend van verharde oppervlakken. Het betreft een inventarisatie van verschillende aspecten met betrekking tot infiltratie: beleid, planvorming, effecten in het stedelijk waterbeheer en civieltechnische-, ontwerptechnische aspecten.
Dit vooronderzoek is in 1993 uitgevoerd en in concept gerapporteerd. In 1999 heeft een actualisatie plaatsgevonden.

Dit project is tot stand gekomen dankzij financiële bijdragen van:
- Stichting RIONED
- Provincie Overijssel
- Waterschap Groot-Salland
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
- Gemeente Zwolle
- Tauw

De rapportage van het gehele onderzoek is opgesteld door Tauw. De begeleiding heeft plaatsgevonden door een stuurgroep bestaande uit:

- Gemeente Zwolle:	ing. R. Akse ing. A.C.W. van Beek E. Ekkelkamp L. Sinke ing. T. Wolters
- Provincie Overijssel:	drs. M.P.J.M. Kroot ir. W.T. Bosman
- Waterschap Groot Salland:	ing. H. Drost
- Ministerie van Landbouw, natuurbeheer en visserij:	ing. G.P. Roetert-Steenbrugge
- RIONED:	ir. A.S. Beenen

Inhoud

Voorwoord 3

Samenvatting 5

1 Inleiding 7
1.1 Probleemstelling 7
1.2 Doelstelling onderzoek 8
1.3 Methode van aanpak 9

2 Regenwater in stedelijk gebied 11
2.1 Afvoer regenwater 11
2.2 Problemen stedelijk waterbeheer 13
2.3 Infiltratie als mogelijke oplossing 19

3 Beleidsaspecten 23
3.1 Inleiding 23
3.2 Beleid in Nederland 23
3.3 Situatie in het buitenland 25

4 Aspecten met betrekking tot planvorming 31
4.1 Inleiding 31
4.2 Keuzefactoren type rioolstelsel 31
4.3 Infiltratie versus bergbezinkbassins 34
4.4 Afwegingsfactoren infiltratie 37
4.5 Aansluitbare verharde oppervlakken 38
4.5.1 Beslisboom voor dakoppervlakken 39
4.5.2 Beslisboom voor straten en verharde terreinen 41
4.5.3 Infiltratie of afvoer naar oppervlaktewater 42

5 Civieltechnische aspecten 43
5.1 Inleiding 43
5.2 Werking infiltratievoorziening 43
5.3 Infiltratietechnieken 44
5.4 Praktijkvoorbeeld 47

6 Ontwerptechnische aspecten 51
6.1 Inleiding 51
6.2 Ontwerpmethoden 51
6.3 Ontwerpuitgangspunten 62
6.4 Samenvatting 64
6.5 Conclusies 65

Referentielijst 67

Bijlagen

1. Typen rioolstelsels

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van het vooronderzoek van de praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid. Het betreft een inventarisatie van de beschikbare informatie en kennis uit binnen- en buitenland omtrent de infiltratie van het stedelijk regenwater. De inventarisatie richtte zich met name op: beleid (binnen- en buitenland), planvorming en civieltechnische en ontwerptechnische aspecten.
Het beleid in Nederland richt zich sinds de Derde Nota waterhuishouding op het integraal waterbeheer. Hierbij worden de verschillende aspecten van waterbeheer in samenhang beschouwd. De Nota geeft onder andere aan dat de vuiluitworp van rioolstelsels moet worden gereduceerd. De vierde nota waterhuishouding streeft naar samenhang en samenwerking in de waterketen. In deze vierde nota wordt aanbevolen om op nieuwbouwlocaties 60% af te koppelen en in de bestaande bebouwde omgeving 20%.
In het buitenland wordt de toepassing van infiltratiesystemen vaak gestimuleerd door de overheid, waarbij veelal behoedzaam wordt omgesprongen met grondwater- en bodemvervuiling. In vele landen zijn richtlijnen voor infiltratie opgesteld zoals: Zwitserland, Duitsland, Japan, USA en Groot-Brittannië.
Ook de ontwerpmethoden voor infiltratievoorzieningen verschillen van land tot land, waarbij het voornaamste verschil zit in de gehanteerde uitgangspunten (maatgevende bui, het effectief infiltrerend oppervlak, afvloeiingscoëfficiënten en de doorlatendheid van de grond). Door het verschil in aannames is het moeilijk aan te geven welk model het meest geschikt is voor de Nederlandse situatie. Praktijkproeven zullen dit moeten uitwijzen.

Bij de afweging tussen infiltratie en een verbeterd gescheiden stelsel in nieuwbouwwijken spelen voornamelijk de volgende aspecten een rol:
- reductie van piekafvoeren;
- reductie vuiluitworp via overstorten en effluent naar oppervlaktewater;
- belasting bodem met verontreinigd infiltratiewater;
- risico-gevoeligheid;
- ruimtebeslag;
- investerings- en beheerskosten;
- mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen;
- levensduur.

In bestaand stedelijk gebied is infiltratie vaak een alternatief of aanvulling van randvoorzieningen zoals het bergbezinkbassin. In Denemarken en Nederland is een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar de effecten op de totale vuiluitworp van het aanbrengen van bergbezinkbassins en het afkoppelen van verharde oppervlakken door aansluiting op infiltratievoorzieningen. Het afkoppelen van verhard oppervlak heeft een positief effect op het rendement van de RWZI op jaarbasis. Het aanbrengen van een bergbezinkbassin heeft zonder aanvullende maatregelen een negatief effect op de jaarlijkse lozing CZV (chemisch zuurstofverbruik) door de RWZI.

Voor infiltratie zijn verschillende technieken beschikbaar die alle bestaan uit: een blad-, zand- en slibvang, een bergingsgedeelte, een infiltratiegedeelte en een noodoverlaat. Voorbeelden zijn infiltratieputten, infiltratiesleuven en infiltratie bedden.

Niet elk verhard oppervlak is geschikt voor afkoppeling. Aspecten die bepalen of infiltratie van regenwater vanaf het verharde oppervlak mogelijk/wenselijk is zijn: kwaliteit van het

afstromende regenwater, kwaliteit van het grondwater en de bodem, ruimtebeslag van de voorziening, grondwaterstandsverloop, bodemgesteldheid, beheersmogelijkheden, kosten en levensduur.
De mate waarin het afstromend regenwater verontreinigd is hangt af van: de neerslagintensiteit, mobiliteit van stoffen, pH van het water, helling van het oppervlak, droge depositie en de aard van het oppervlak.
Als hulpmiddel bij de afweging welke oppervlakken wel en welke niet voor afkoppelen in aanmerking komen dienen drie beslisbomen: beslisboom daken, beslisboom straten&verharde terreinen en beslisboom infiltratie of afvoer oppervlaktewater. Hierin wordt op basis van het soort oppervlak en het gebruik hiervan aangegeven of het afstromende water afgekoppeld mag/kan worden.

De inventarisatie van de beschikbare informatie en kennis uit binnen- en buitenland omtrent de infiltratie van het stedelijk regenwater geeft niet alle antwoorden. Over de mate waarop infiltratie invloed heeft op de grondwaterstand (grondwateroverlast/verdrogingsbestrijding) is weinig bekend, net als de mate waarop de bodem en grondwater vervuild worden bij infiltratie. De praktijkproeven in Geren en Schellerhoek zullen dit onder meer moeten uitwijzen. Ook aspecten als dichtslibbing van de voorziening en verschijningsvormen van stoffen in afstromend regenwater zullen in de praktijkproeven worden meegenomen.

1 Inleiding

De gemeente Zwolle heeft plannen ontwikkeld voor de realisering van een nieuwe woonwijk aan de westkant van het Zwarte Water. Deze nieuwe woonwijk, Stadshagen geheten, krijgt een omvang van circa 8.500 woningen.
Belangrijk uitgangspunt voor Stadshagen is dat de plannen een duurzame ontwikkeling mogelijk maken. Dit betekent dat zorgvuldig omgegaan moet worden met het milieu, de aanwezige landschappelijke waarden en grondstoffen, zoals bijvoorbeeld water.

In 1992 is door Tauw een onderzoek uitgevoerd naar de optimale combinatie van maatregelen voor Stadshagen op het gebied van bouwrijp maken, riolering en waterhuishouding. Hierbij is gezocht naar een gezond evenwicht tussen de kosten enerzijds en een duurzame ontwikkeling anderzijds. Met betrekking tot de behandeling van het regenwater afstromend van verharde oppervlakken zijn in het onderzoek drie varianten in beschouwing genomen:

1. toepassing van een gescheiden rioolstelsel;
2. toepassing van een verbeterd gescheiden rioolstelsel;
3. toepassing van een zogenaamd geïntegreerd stelsel, waarbij het regenwater vanaf de relatief schone verharde oppervlakken wordt geïnfiltreerd in de bodem.

Naar aanleiding van de resultaten van simulatieberekeningen, waarbij riolering, oppervlaktewater, grondwater en onverzadigde zone in samenhang zijn gemodelleerd, ontstond in het onderzoek het inzicht dat toepassing van het geïntegreerde rioolstelsel voor de wijk Stadshagen enige duidelijke voordelen biedt, met name als gekeken wordt naar het criterium van een duurzame ontwikkeling. Voor de gemeente Zwolle is dit aanleiding geweest om in samenwerking met Tauw serieus de mogelijkheden voor toepassing van een dergelijk type rioolstelsel te onderzoeken en de onzekerheden die bestaan over de effecten van infiltratie van stedelijk regenwater weg te nemen.

1.1 Probleemstelling

Infiltratie in de bodem van regenwater dat van verhard oppervlak afstroomt, heeft verscheidene voordelen in vergelijking met de in Nederland gangbare methoden van regenwaterafvoer, waarbij het regenwater naar een RWZI (rioolwaterzuiveringsinstallatie) of direct naar oppervlaktewater wordt afgevoerd. Infiltratie van regenwater kan, afhankelijk van het type conventionele afvoersysteem waarmee deze techniek vergeleken wordt, de volgende voordelen hebben:

- op waterkwaliteitsgebied:
  - geen vuiluitworp op oppervlaktewater en daarmee samenhangend een verwijdering van een belangrijke verontreinigingsbron van waterbodems;
  - een gelijkmatiger aanvoer van afvalwater op de RWZI, waardoor het zuiveringsproces minder verstoord wordt en er dus betere omstandigheden gecreëerd worden voor een hoog zuiveringsrendement;
  - voorkoming van indringing van zout water bij aan zee gelegen land;

- op waterkwantiteitsgebied:
  - geen grote piekafvoeren naar en op het oppervlaktewater als gevolg van het lozen van regenwater afstromend van verharde oppervlakken;
  - een kleiner aandeel van de verstedelijking in de verdrogingsproblematiek en minder grote zettingen in zettingsgevoelige gebieden door hogere grondwaterstanden in de zomer;

- op zowel waterkwaliteits- als waterkwantiteitsgebied:
  - meer conservering van water in de zomer, waardoor (in de hogere delen van Nederland) de kans op droogvallen van waterpartijen kleiner wordt en in de poldergebieden de noodzaak om gebiedsvreemd water in te laten afneemt.

Toepassing van infiltratiesystemen past gezien deze voordelen in het kader van het streven naar een duurzame ontwikkeling. Door aanvulling van de grondwatervoorraad met afstromend regenwater in plaats van afvoer van dit regenwater naar het oppervlaktewatersysteem wordt een meer natuurlijke kringloop van water verkregen.
Bij de toepassing van infiltratiesystemen kunnen risico's verbonden zijn, zoals:
- de verontreiniging van bodem en grondwater door verspreiding en uitspoeling van verontreinigingen die met het regenwater naar de infiltratievoorziening worden meegevoerd;
- grondwateroverlast door een verhoging van de grondwaterstanden; en
- dichtslibbing van de voorziening door de in het afstromende regenwater meegevoerde onopgeloste stoffen, wat in het ergste geval kan leiden tot de onmogelijkheid van infiltratie.

Op basis van voordelen en risico's alleen kan niet zondermeer gesteld worden wanneer infiltratie wel en wanneer infiltratie niet een goede oplossing is. In het buitenland zijn, met name de laatste jaren, veel onderzoeken uitgevoerd naar de mogelijkheden en de gevolgen van het infiltreren van stedelijk regenwater. Deze onderzoeken nemen echter niet alle onzekerheden ten aanzien van infiltratie van stedelijk regenwater in Nederland weg. Zeker in vergelijking met de situatie in het buitenland wordt die in Nederland gekenmerkt door veelal hogere grondwaterstanden en het vaker voorkomen van storende lagen in de bodem, waardoor infiltratievoorzieningen technisch moeilijker te realiseren zijn.

1.2 Doelstelling onderzoek

Het doel van het proefproject infiltratie is het onderzoeken van de mogelijkheden voor infiltratie van stedelijk regenwater in Nederland. Hiervoor wordt, na een uitgebreid vooronderzoek naar de beschikbare kennis, in de gemeente Zwolle twee proefopstellingen geplaatst.

Door middel van een onderzoek voor, tijdens en na de aanleg van de twee infiltratievoorzieningen worden de werking en de effecten van deze voorzieningen nauwgezet gevolgd. Op deze wijze is het mogelijk de bestaande onzekerheden met betrekking tot de toepassing van infiltratie in Nederland te reduceren.

1.3 Methode van aanpak

In het onderzoek is een gefaseerde aanpak aangehouden. Deze ziet er in grote lijnen als volgt uit:

1. **Inventarisatie van de beschikbare informatie en kennis.**
   Met name de laatste jaren is in het buitenland veel onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden en de gevolgen van het infiltreren van stedelijk regenwater. De van belang zijnde onderzoeksresultaten zijn weergegeven in dit deelrapport 'Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, deelrapport I vooronderzoek' uiteengezet.

2. **Opstellen van het bemonsteringsprogramma, vastlegging van de uitgangssituatie en ontwerp van de infiltratievoorzieningen en meetresultaten.**
   Op basis van de inventarisatie is het mogelijk een bemonsteringsprogramma op te stellen. De bemonstering vormt één van de belangrijkste onderdelen van het onderzoek, aangezien de uiteindelijke resultaten voornamelijk hiervan afhangen. Het is dan ook zeer belangrijk voor de aanleg een duidelijk en tevens op het gewenste eindresultaat afgestemd programma voor de bemonstering op te stellen.
   De bemonstering voorafgaande aan de aanleg van de voorzieningen dient voor het vastleggen van de huidige situatie op de twee locaties en voor het verkrijgen van informatie benodigd voor het maken van het definitieve ontwerp van de voorzieningen. Deze informatie worden in de deelrapporten II 'Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, infiltratievoorziening Geren' [26] en deelrapport III 'Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, infiltratievoorziening Schellerhoek' [27] 'uiteengezet.

3. **Eindresultaten en aanbevelingen.**
   Uit de bemonstering kan een beeld verkregen worden van het functioneren en de effecten van de voorzieningen. Na 4 jaar wordt de proef in principe afgerond. Op basis van de resultaten van de bemonstering van beide voorzieningen worden eindconclusies opgesteld ten aanzien van de mogelijkheden voor infiltratie van stedelijk regenwater in Nederland. De eindconclusies en ontwikkelingen zijn opgenomen in 'Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, deelrapport IV conclusies en ontwikkelingen' [4].

2 Regenwater in stedelijk gebied

2.1 Afvoer regenwater

Neerslag die op het aardoppervlak valt, wordt voor een deel door vegetatie onderschept en verdampt vervolgens. Het neerslagoverschot belandt na verloop van tijd in een meer of minder uitgebreid netwerk van open water en wordt afgevoerd naar de zee.
Er kunnen drie processen onderscheiden worden waardoor regenwater in de waterlopen belandt:

1. oppervlakte-afvoer, waarbij regenwater niet in de bodem infiltreert, maar rechtstreeks afstroomt naar open water;
2. ontwatering, waarbij regenwater via de bodem tot afstroming komt in het gebied; en
3. wegzijging, waarbij regenwater in de relatief hogere delen van Nederland door afstroming via het diepere grondwater in de bodem verdwijnt om in de lagere delen als kwel weer naar boven te komen.

Van deze afvoerprocessen verloopt oppervlakte-afvoer het snelst. Oppervlakte-afvoer treedt met name op in hellende gebieden met een leemhoudende toplaag. Het proces van ontwatering verloopt hiermee vergeleken traag. Afstroming via het diepere grondwater verloopt nog trager.

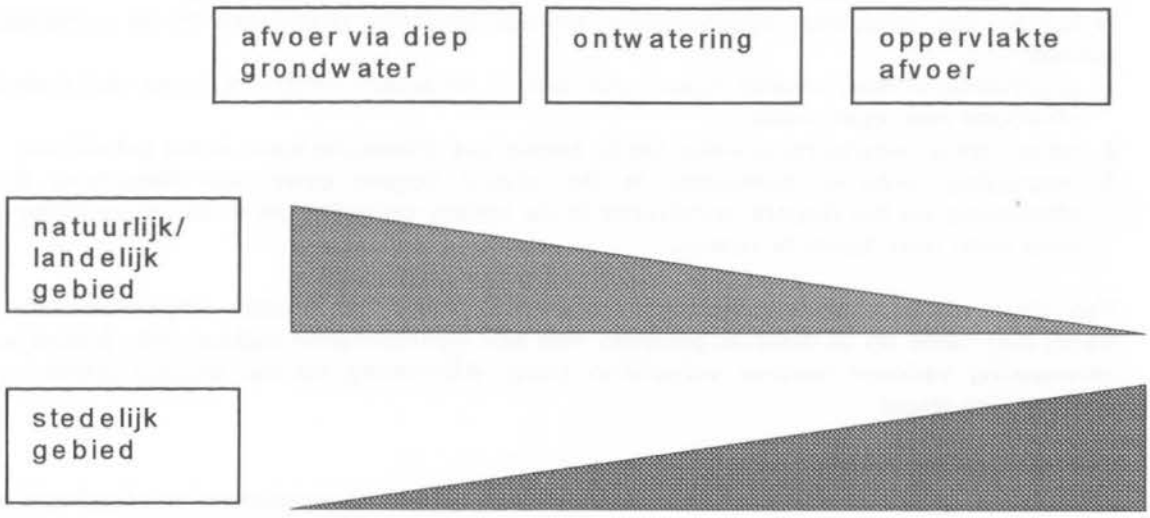
Landelijk gebied
In landelijke gebieden wordt het neerslagoverschot via een gecompliceerd en uitgebreid net van open waterlopen afgevoerd naar zee. In een groot deel van het landelijk gebied in Nederland worden vele ontwateringsmiddelen aangebracht waarmee het optreden van (te) hoge grondwaterstanden voorkomen wordt.

Stedelijk gebied
In landelijke gebieden infiltreert een groot deel van het regenwater in de bodem. Als gevolg van verstedelijking wordt de natuurlijke waterhuishouding aanzienlijk verstoord. Doordat in stedelijke gebieden grote oppervlakken verhard worden uitgevoerd, infiltreert namelijk veel minder water in de bodem. Een geringe hoeveelheid van het regenwater dat op verhard oppervlak terechtkomt infiltreert in de bodem, een groot deel stroomt echter over het oppervlak af zonder in de bodem te infiltreren. Het afstromende regenwater wordt verzameld in een rioolstelsel en vandaar rechtstreeks afgevoerd naar het oppervlaktewater en/of naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).

Voor de inzameling en het transport van regenwater afstromend van verharde oppervlakken staan verschillende typen rioolstelsels ter beschikking:

1. het gemengde stelsel, waarin het regenwater tezamen met het huishoudelijk afvalwater naar een RWZI wordt afgevoerd;
2. het gescheiden stelsel, waarin het regenwater rechtstreeks naar oppervlaktewater wordt afgevoerd en het afvalwater in een apart buizenstelsel naar een RWZI wordt getransporteerd; en
3. het verbeterd gescheiden stelsel, waarin een deel van het ingezamelde regenwater met het afvalwater naar een RWZI wordt afgevoerd en het andere deel van het regenwater - als de berging in het regenwaterriool vol is - onbehandeld op oppervlaktewater wordt geloosd.

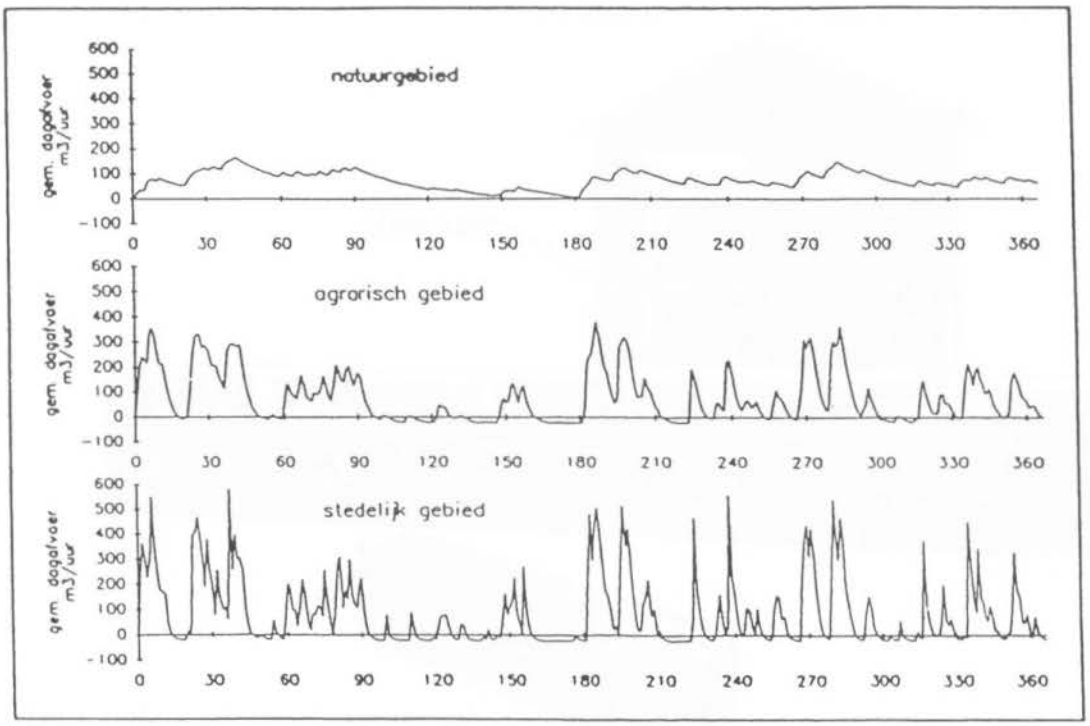
Ten opzichte van ontwatering via de bodem of afvoer via het diepere grondwater gaat afvoer naar en via het riool erg snel. Als gevolg van verstedelijking treedt er dus een verschuiving op van langzame afvoer naar snelle afvoer, waarbij de afvoer via de riolering als een vorm van oppervlakte-afvoer kan worden beschouwd (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1 Verschuiving van trage afvoer naar snelle afvoer.

Beheer gericht op afvoer
Het conventionele waterbeheer, waarbij het accent ligt op de afvoer van water, grijpt nogal in op de natuurlijke waterhuishouding in een gebied. In figuur 2.2 is dit zichtbaar gemaakt.

In het natuurgebied - met een natuurlijke waterhuishouding - wordt zoveel water vastgehouden dat zelfs in lange perioden zonder neerslag water vanuit het grondwater wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. Wordt het gebied ingericht als agrarisch gebied en daarvoor ontwaterd, dan wordt het water sneller en minder gelijkmatig afgevoerd. De situatie in een stedelijk gebied is nog extremer, doordat het overgrote deel van de gevallen neerslag binnen 24 uur wordt afgevoerd. Dit resulteert in grote afvoerpieken en een grote inlaatbehoefte om verdrogingsschade te voorkomen. Hoe sneller water in natte perioden wordt afgevoerd, hoe groter de behoefte aan inlaatwater zal zijn in droge perioden.

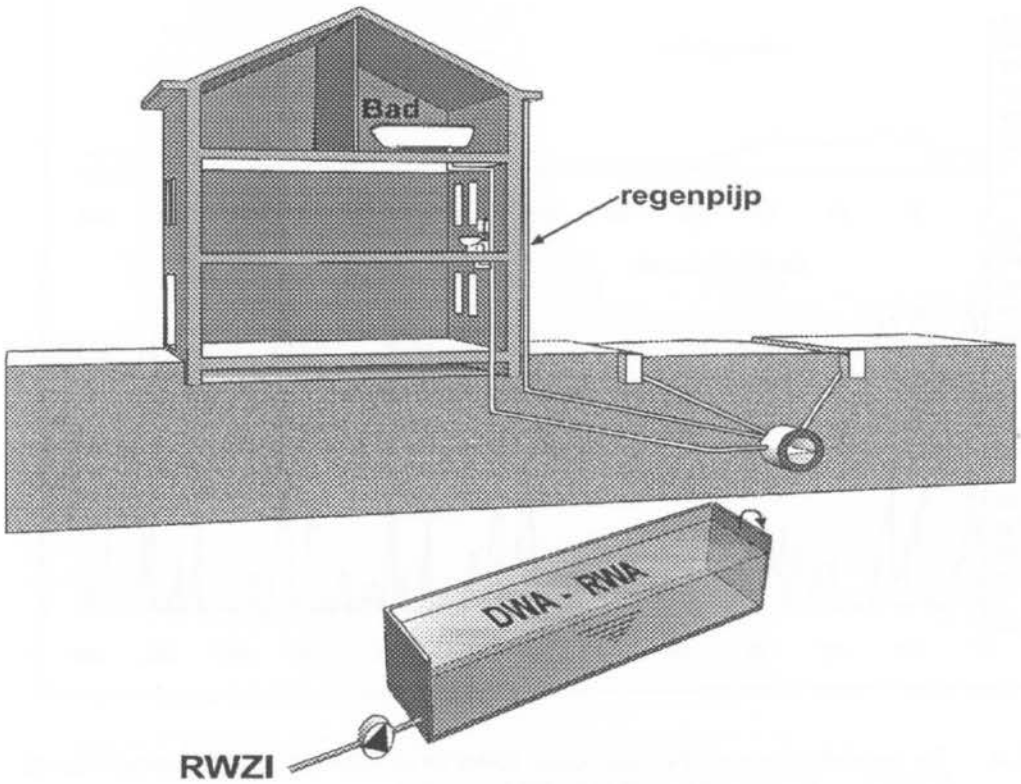


Figuur 2.2 De gemiddelde dagafvoeren over 1988 in m^3/uur vanuit drie verschillende gebieden, berekend met TAUWSIM.

2.2 Problemen stedelijk waterbeheer

Het stedelijk waterbeheer is vooral gericht op een snelle afvoer van regenwater via het rioleringssysteem. De conventionele rioleringssystemen kennen echter, in meer of mindere mate, nadelige effecten. In het hierna volgende worden de effecten van de conventionele rioleringssystemen op een rij gezet.

Gemengde stelsels
Het grootste deel van de Nederlandse rioleringssystemen bestaat uit gemengde stelsels, zie figuur 2.3. Bij geen of weinig neerslag wordt al het rioolwater in een gemengd stelsel naar de RWZI afgevoerd. Bij hevige neerslag kunnen de in het systeem aanwezige berging en pompovercapaciteit tekort schieten, waardoor rioolwater overstort naar het oppervlaktewater. Dit overstortende water bestaat uit regenwater vermengd met afvalwater en opgewoeld rioolslib, dat in droge perioden in het buizenstelsel bezonken is. De gemengde stelsels zijn meestal zodanig ontworpen dat de theoretische overstortingsfrequentie hooguit 7 maal per jaar bedraagt. In de praktijk blijken veel van de stelsels echter vaker over te storten.
Het overstortende water is door de vermenging met huishoudelijk afvalwater van zeer slechte kwaliteit en bedreigt, met name in warme perioden, de kwaliteit van het oppervlaktewater door het hoge gehalte aan zuurstofverbruikende stoffen.

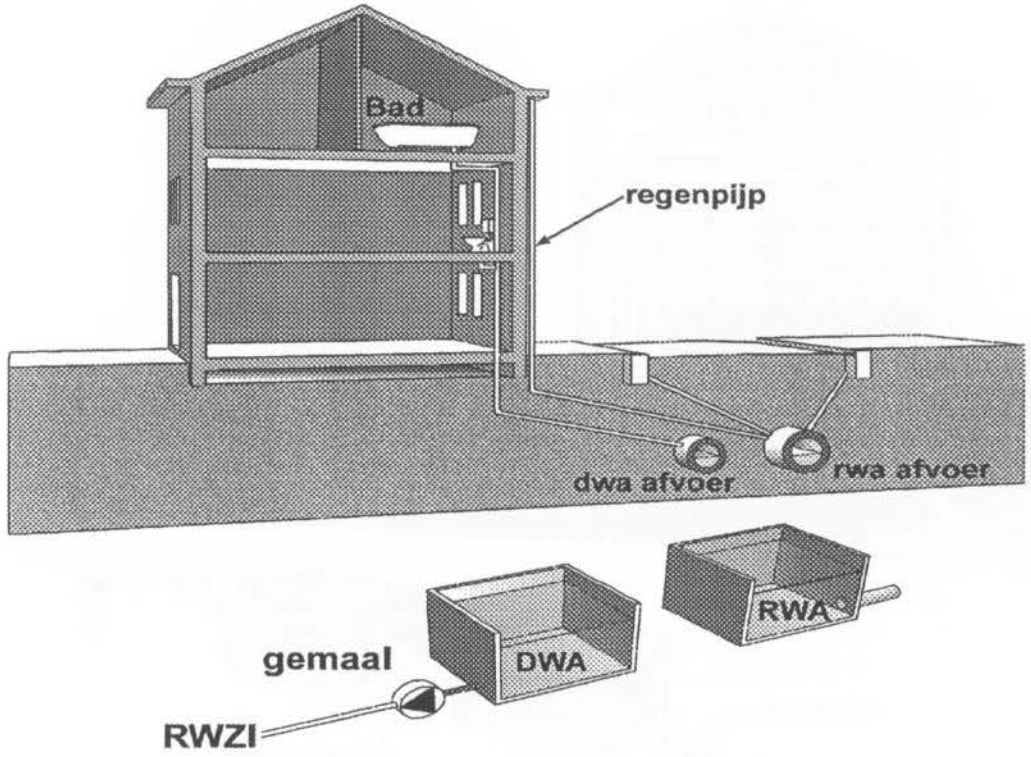


Figuur 2.3 Gemengd rioolstelsel (Bron: Tauw/RIZA)

RWZI's worden ontworpen op een optimale werking van de zuivering bij aanvoer van DWA (droog-weer-afvoer). Wanneer eveneens regenwater wordt aangevoerd via het rioolstelsel, levert dat hydraulisch gezien geen problemen op voor de zuiveringsinstallatie. Door de verdunning van het aangeboden water neemt het zuiveringsrendement van de installatie echter af. Als gevolg hiervan wordt het ontvangende oppervlaktewater extra belast met verontreinigingen.

Het gemengde stelsel wordt tegenwoordig vrijwel niet meer toegepast. De bestaande stelsels kunnen uitgebreid worden met een bergingsvoorziening achter de (interne) overstort, de zogenaamde bergbezinkbassins, om het aantal en de hoeveelheid overstortingen te verminderen. De bergbezinkbassins reduceren het aantal overstortingen en de totale overstortingshoeveelheid. Ze zorgen echter voor een toename in de afvoer (zowel in hoeveelheid als in tijd) naar de RWZI. Het effect van bergbezinkbassins resulteert daardoor slechts in een kleine reductie in de totaalafvoer van RWZI en overstorten, en zorgt in sommige gevallen zelfs voor een toename in de totaalafvoer van verontreinigingen.

Gescheiden stelsels
Bij het gescheiden stelsel wordt regenwater apart van het afvalwater ingezameld en direct geloosd op oppervlaktewater, zie figuur 2.4. Hierdoor treden er geen overstortingen meer op waarin zich huishoudelijk en industrieel afvalwater en opgewoeld rioolslib bevinden. Bovendien wordt de RWZI gelijkmatiger belast, omdat er geen regenwater naar de RWZI wordt getransporteerd.

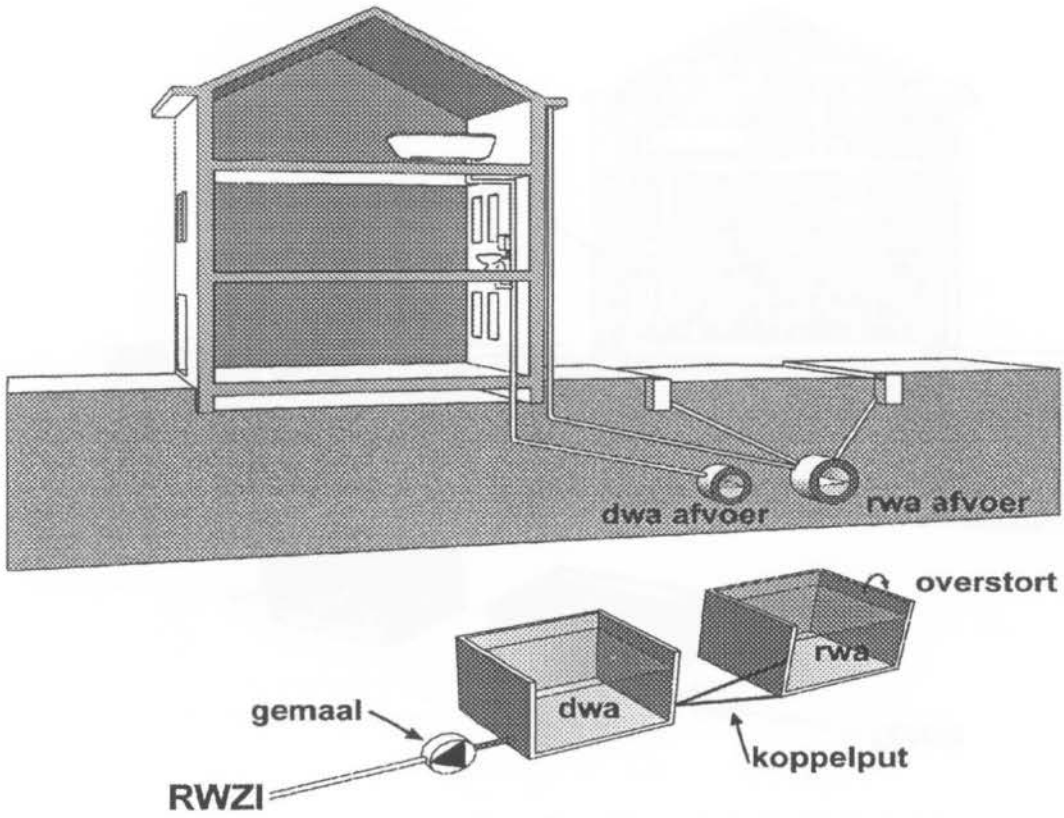


Figuur 2.4 Gescheiden rioolstelsel (Bron: Tauw/RIZA)

Door de snelle afvoer van regenwater via een buizenstelsel naar het oppervlaktewater treden echter hoge piekafvoeren op in het buizenstelsel en het oppervlaktewater. Hoe groter het percentage verhard oppervlak, hoe meer water wordt afgevoerd en hoe groter de optredende piekafvoer wordt.

Daarnaast vindt lozing van onbehandeld regenwater op het locale oppervlaktewatersysteem plaats. Tijdens het afstromen worden er in meer of mindere mate verontreinigingen aan het regenwater toegevoegd, zoals bijvoorbeeld nutriënten (met name fosfaat) en zware metalen die een grote invloed hebben op de waterkwaliteit.

Verbeterd gescheiden stelsels
Het principe van een verbeterd gescheiden stelsel is gelijk aan dat van het gescheiden stelsel, zie figuur 2.5. Het regenwaterstelsel is echter aangesloten op het DWA-stelsel. Lozingen van regenwater op oppervlaktewater treden alleen op als het overstortpeil wordt overschreden.
Niet iedere neerslaggebeurtenis zal dus leiden tot een lozing op oppervlaktewater. Bovendien bevat overstortend water geen afvalwater en opwoelend rioolslib. Ten opzichte van het normale gescheiden stelsel leidt het verbeterd gescheiden stelsel tot een aanzienlijk kleinere vuiluitworp. De afvoer van regenwater naar de RWZI is echter groter (circa 70% van de totale neerslag), waardoor verdunning van het influent optreedt en dus een afname van het zuiveringsrendement van de RWZI.



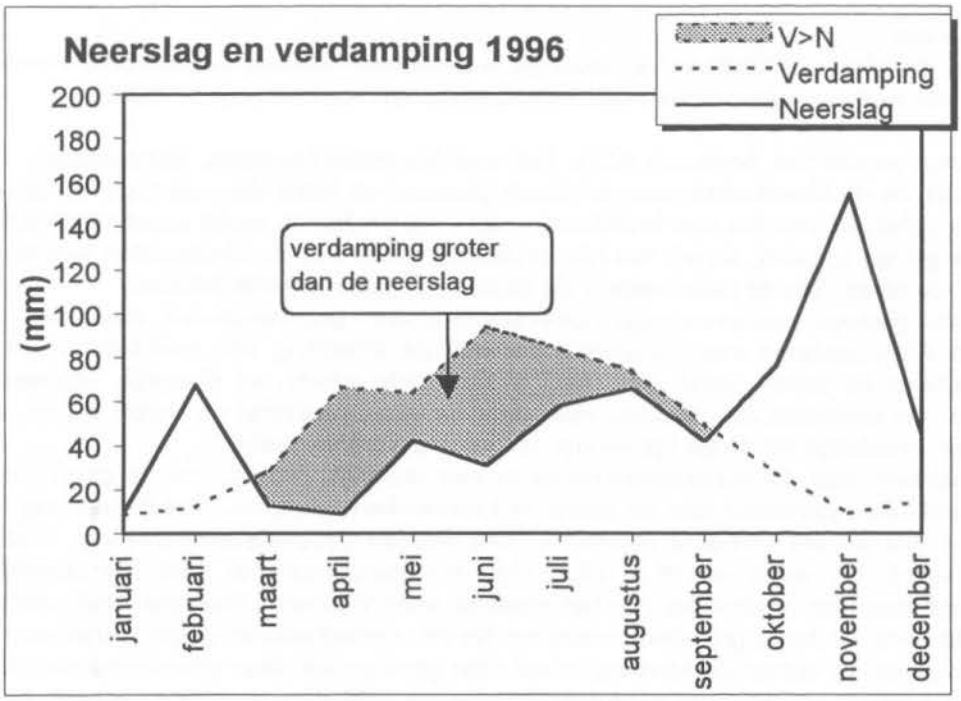
Figuur 2.5 Verbeterd gescheiden rioolstelsel (Bron: Tauw/RIZA)

Grondwatereffecten

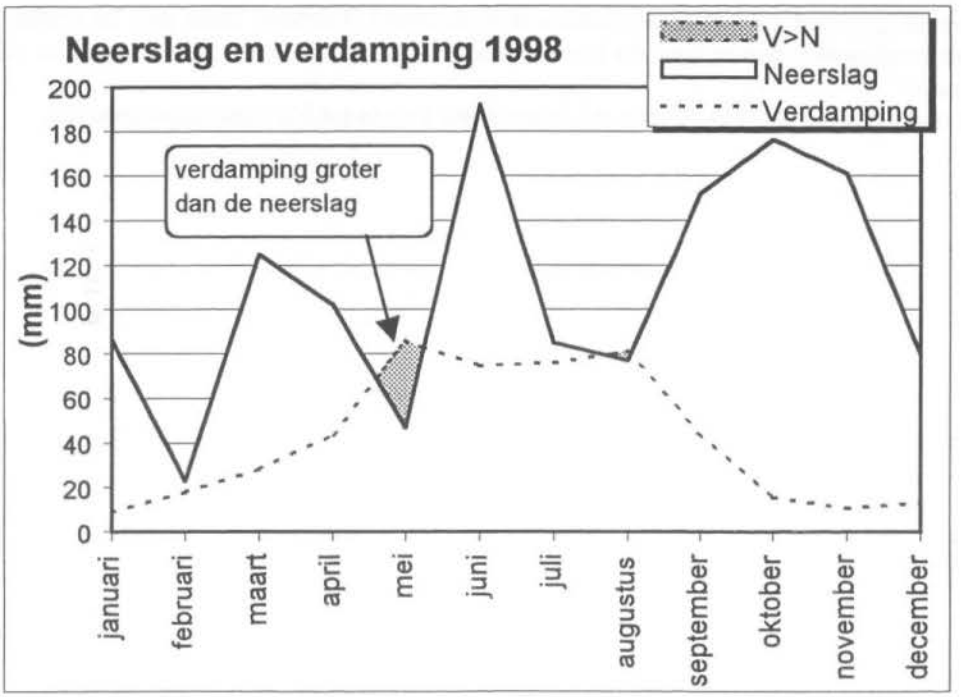
In de zomermaanden is er in Nederland in de regel meer verdamping dan neerslag (zie figuren 2.6 en 2.7 voor een vergelijking van de jaarlijkse neerslag en verdamping: gewasverdamping Makkink, bij de Bilt bron KNMI). Als gevolg hiervan treedt er een uitputting van de bodemvochtvoorraad op, uiteindelijk resulterend in een daling van de grondwaterstand.

Het zo snel mogelijk afvoeren van regenwater, afstromend van verharde oppervlakken, naar de RWZI en/of het oppervlaktewater leidt dan ook tot een afname van de natuurlijke grondwateraanvulling. Als gevolg hiervan kan de grondwaterstand sneller en langduriger dalen, hetgeen ongewenst is onder andere in verband met zetting van de bodem of aantasting van droogvallende houten funderingspalen.

Daarnaast is er de (veronderstelde) bijdrage van een stedelijk waterbeheer gericht op een snelle afvoer van water aan het verdrogingsprobleem. Een vermindering van de grondwateraanvulling heeft bovendien gevolgen voor de basisafvoer van het oppervlaktewater, waar minder grondwater aan nageleverd wordt.



Figuur 2.6 Neerslag en verdamping De Bilt 1996 (relatief droog jaar) [bron KNMI]

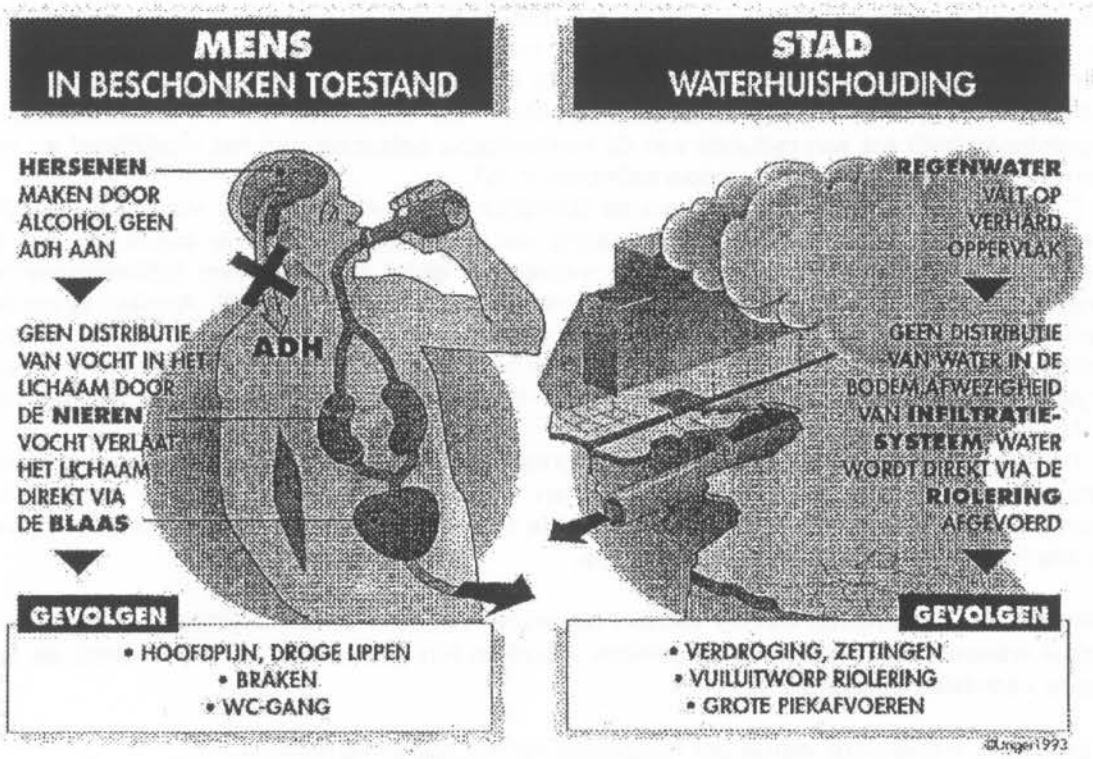


Figuur 2.7 Neerslag en verdamping 1998 (relatief nat jaar) [bron KNMI]

De stedelijke kater

De problemen die zich voordoen in het stedelijk waterbeheer kunnen geïllustreerd worden aan de hand van een analogie met de vochthuishouding van het menselijke lichaam:

"In de hersenen wordt het hormoon ADH, het anti-diuretisch-hormoon, aangemaakt. Dit hormoon wordt via de bloedbanen naar de nieren gestuurd en heeft daar als taak het bruikbare vocht te scheiden van het niet-bruikbare vocht. Het bruikbare vocht wordt gedistribueerd over het gehele lichaam, terwijl het niet-bruikbare vocht met de afvalstoffen wordt afgevoerd naar de blaas. Via de blaas verlaat dit afvalwater het menselijk lichaam.
Wordt door een persoon een overdadige hoeveelheid alcohol geconsumeerd, dan wordt de aanmaak van ADH gestaakt met als gevolg dat ook de scheiding van bruikbaar en niet-bruikbaar vocht in de nieren wordt gestaakt. Al het vocht wordt, zo mogelijk, afgevoerd naar de blaas. De gevolgen zijn: braken, vaak naar de w.c., hoofdpijn en droge lippen, ofwel: een kater. Hoofdpijn en droge lippen zijn verdrogingsverschijnselen.
Wordt nu gekeken naar de waterhuishouding in een stedelijk gebied, dan is daarbij een sterke overeenkomst aanwezig met de mens in beschonken toestand. Met betrekking tot het water dat valt op het verharde oppervlak, kan worden geconstateerd dat een "ADH" volledig ontbreekt. Dit water wordt te allen tijde afgevoerd naar het riool, de stedelijke blaas, en wordt daarmee onttrokken aan het stedelijk watersysteem. Enerzijds heeft dat tot gevolg dat de kans op hoge grondwaterstanden (in de winterperiode) wordt gereduceerd, anderzijds vergroot het echter de kans op schade ten gevolge van lage grondwaterstanden. De waterbalans wordt op een voor verdrogingsgevoelige gebieden ongunstige manier beïnvloedt. Bovendien wordt het regenwater met geringe vertraging afgevoerd naar het oppervlaktewater waar het geborgen en afgevoerd moet worden (w.c.-gang). Bij stedelijke gebieden met een gemengd rioolstelsel treden overstortingen op, waarbij ook huishoudelijk afvalwater wordt geloosd op het oppervlaktewater (braken). Kortom: door een te snelle afvoer ontstaan problemen zowel aan de bovenstroomse als aan de benedenstroomse kant van de rioolbuis."
In figuur 2.8 is de overeenkomst tussen de menselijke en stedelijke kater samengevat.



Figuur 2.8 Analogie tussen de menselijke en de stedelijke kater.

Omdat de problemen, direct of indirect, alle met elkaar samenhangen, is het wenselijk tot integrale oplossingen te komen. Om de effecten van een kater te verminderen kan bijvoorbeeld overwogen worden de blaas te vergroten (of in het stedelijk waterhuishoudkundig systeem het riool). Dit leidt tot een minder frequente gang naar het toilet (of tot een vermindering van de piekafvoeren) en wellicht tot een reductie van het braken (overstorten), maar de problemen worden er niet structureel mee opgelost. Voor een structurele oplossing zal de aanmaak van ADH hersteld moeten worden. In stedelijke gebieden betekent dit dat gezocht moet worden naar maatregelen die leiden tot een beheerst transport van water en verontreinigingen, zowel in de woning als buiten de woning [1].
Door (een deel van) het regenwater dat op verharde oppervlakken valt, niet via de riolering af te voeren maar te infiltreren in de bodem, worden de (negatieve) effecten van de stedelijke kater verminderd. Infiltratie kan dan ook gezien worden als een stedelijke vorm van ADH.

2.3 Infiltratie als mogelijke oplossing

Door het afstromende regenwater van verharde oppervlakken niet af te voeren naar een RWZI of direct naar het oppervlaktewater, maar te infiltreren in de bodem worden de eerdere vermelde problemen met betrekking tot het stedelijk waterbeheer gereduceerd.
In het buitenland worden gezien de negatieve effecten van de bestaande rioleringssystemen meer en meer infiltratiesystemen aanbevolen en/of toegepast in plaats van uitbreiding of renovatie met behulp van de conventionele rioleringssystemen.
In Duitsland moeten veel gemengde systemen aangepast worden. Door stadsuitbreiding in nieuwe wijken en een vergroting van het verharde oppervlak in bestaande gebieden wordt

het bestaande rioleringssysteem te zwaar belast en treden er ontoelaatbare overstortingen op. Renovatie met de bestaande, traditionele methoden is duur en leidt bovendien tot een nog grotere belasting van het rioleringssysteem en het oppervlaktewater en een nog hogere reductie van de natuurlijke grondwateraanvulling. Het toepassen van infiltratietechnieken daarentegen leidt tot een reductie van de hydraulische belasting van het rioolstelsel en een reductie van de vuiluitworp op oppervlaktewater [5].
In Canada is in 1989 op initiatief van de landelijke overheid (Ministerie van Milieu - MOE) een onderzoek gestart voor de ontwikkeling van een handleiding voor methoden om de kwaliteit van afstromend hemelwater te verbeteren en/of te beheersen; infiltratievoorzieningen worden hier, naast helofytenfilters, eveneens onder begrepen [6]. Aanleiding tot het onderzoek vormden de grote problemen die in Canada ontstaan zijn als gevolg van verstedelijking, zoals overstromingen, de toenemende belasting van oppervlaktewater met vervuilingen, de reductie van de basisafvoer van het oppervlaktewatersysteem, grondwatereffecten en dergelijke.
In Tokio heeft de gemeente de hoogste prioriteit gegeven aan het ontwikkelen van stadsuitbreidingen die niet leiden tot het vergroten van de afvoerpiek in verband met de veel voorkomende overstromingen [7]. Het beleid is onder andere gericht op de introductie van on-site beheersmaatregelen, zoals infiltratie.

Infiltratie van regenwater dat op verhard oppervlak valt, kan (afhankelijk van het type rioolstelsel waarmee deze techniek vergeleken wordt en het gebied dat bekeken wordt) de volgende voordelen opleveren:

- geringere vuiluitworp vanuit het rioolstelsel op het oppervlaktewater;
- verlaging van de piekafvoeren en een rustiger afvoerverloop van het oppervlaktewater;
- grotere conservering van water, waardoor de kans op droogvallen van waterpartijen in de hogere delen van Nederland in de zomer kleiner wordt en de noodzaak om in poldergebieden (gebiedsvreemd) water van slechte(re) kwaliteit in te laten afneemt;
- vermindering van het aandeel van verstedelijking in de verdrogingsproblematiek door hogere grondwaterstanden in de zomer;
- verkleining van de zettingen in zettingsgevoelige gebieden door hogere grondwaterstanden in de zomer;
- geen verstoring van het zuiveringsproces door piekaanvoeren van regenwater op RWZI's en dus goede mogelijkheden voor een hoog zuiveringsrendement;
- opheffing van belangrijke verontreinigingsbronnen van waterbodems; en
- voorkoming van de indringing van zout water bij aan zee gelegen land.

Infiltratie sluit dan ook goed aan op de doelstellingen zoals reeds verwoord in de derde Nota Waterhuishouding, paragraaf 3.2, waarvan de hoofdlijnen als volgt zijn samen te vatten [8]:
'het hebben en houden van een veilig en bewoonbaar land en het ontwikkelen en in stand houden van gezonde waterhuishoudkundige systemen die een duurzaam gebruik garanderen'.

Dit betekent echter niet dat infiltratie zonder meer de oplossing vormt voor alle problemen op het vlak van het stedelijk waterbeheer. Aan de toepassing van infiltreren van regenwater afstromend van verharde oppervlakken zijn (mogelijk) ook enige nadelen en beperkingen verbonden:

- een grotere kans op verontreiniging van bodem- en grondwater;

- een grotere kans op verontreiniging van bodem- en grondwater;
- een grotere gevoeligheid voor calamiteiten;
- hogere grondwaterstanden en dus een grotere kans op grondwateroverlast; en
- technische moeilijk realiseerbaar in gebieden met een slecht doorlatende bodem.

Of toepassing van infiltratie van regenwater afkomstig van verharde oppervlakken mogelijk is, zal vooralsnog van geval tot geval bekeken moeten worden.

3 Beleidsaspecten

3.1 Inleiding

Het voor infiltreren of in ruimere zin voor stedelijk waterbeheer geformuleerde beleid komt in dit hoofdstuk aan de orde. Daarbij wordt in de paragrafen 3.2 en 3.3 ingegaan op:
- het beleid in Nederland;
- het beleid in het buitenland.

3.2 Beleid in Nederland

Voor het waterbeheer zijn er afgelopen decennium drie rijksnota's in beeld:
- derde Nota waterhuishouding (NW3), 1989 - 1994;
- Evaluatienota Water (ENW), 1994 - 1998;
- vierde Nota waterhuishouding (NW4), 1998 - heden

Derde Nota waterhuishouding
In 1989 heeft het Ministerie van Verkeer en Waterstaat de derde Nota waterhuishouding (NW3) uitgebracht. Deze nota beschrijft het beleid op het gebied van de waterhuishouding voor de periode van 1990 tot en met 1994. Het geformuleerde beleid in de nota is richtinggevend voor alle natte plannen die worden opgesteld door onder andere provincies, waterschappen en gemeenten.

De derde Nota waterhuishouding introduceert het begrip "integraal waterbeheer". Dit houdt in dat de verschillende aspecten van waterbeheer niet los van elkaar moet worden beschouwd, maar in samenhang. Oppervlaktewater en grondwater hangen met elkaar samen, net als waterkwantiteit en waterkwaliteit. Door deze in samenhang te beschouwen kan een belangrijke meerwaarde worden verkregen en kunnen wellicht kostenbesparingen worden gerealiseerd omdat maatregelen beter op elkaar zijn afgestemd.
De derde Nota waterhuishouding geeft ook aan dat bij een integrale benadering een zorgvuldige afstemming moet plaatsvinden van het waterhuishoudkundige beleid op het beleid van ruimtelijke ordening, milieu, natuurontwikkeling, etc. Kortom: er moet zowel een inhoudelijke als een beleidstechnische afstemming plaatsvinden.

Bij het opstellen van de derde Nota waterhuishouding is als leidend beginsel gehanteerd: "Het stimuleren van een ontwikkeling die voorziet in eigen behoeften zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien in gevaar te brengen". Dit sluit nauw aan op de zienswijze van de commissie Brundtland1. In de nota is de volgende doelstelling geformuleerd:

"Het hebben en houden van een veilig en bewoonbaar land als primaire randvoorwaarde en het ontwikkelen en instandhouden van gezonde waterhuishoudkundige systemen die duurzaam gebruik garanderen."

Het vastgestelde beleid heeft geresulteerd in een aanscherping van milieu-eisen en -normen. Opvallend daarbij is dat de derde Nota waterhuishouding vrij weinig aandacht

1World Commission on Environment and Development: "Our Common Future", 1987. De commissie wordt naar haar voorzitter aangeduid als de commissie Brundtland.

besteedt aan het waterbeheer in de bebouwde omgeving. Zo zijn er geen streefbeelden geformuleerd voor het watersysteem in de bebouwde omgeving. Wel is gesteld dat de grondwateroverlast in bebouwd gebied in 1995 met 50% moet zijn gereduceerd. In de bebouwde omgeving moeten gemeenten, waterbeheerders en particulieren gezamenlijk maatregelen formuleren voor het bestrijden van de grondwateroverlast. De provincie heeft daarbij een coördinerende rol. Bij het formuleren van die maatregelen moet worden gekeken naar de relatie met de verdrogingsproblematiek. Naast het feit dat in veel bebouwde gebieden sprake is van grondwateroverlast zijn vele gebieden in Nederland te droog.

De nota geeft aan dat lozingen vanuit rioolstelsels op het oppervlaktewater - vaak aangeduid als vuiluitworp - moeten worden gereduceerd. Om de gewenste reductie van de vuiluitworp te bereiken heeft een werkgroep van de Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (CUWVO) in 1992 aanbevelingen gedaan voor een twee-sporenaanpak: de basisinspanning en het waterkwaliteitsspoor. De basisinspanning is voor alle gemeenten in Nederland gelijk. Elk rioolsysteem kenmerkt zich door berging om rioolwater te bufferen en een zogenaamde pompovercapaciteit om rioolwater te verpompen naar een rioolwaterzuiveringsinrichting (RWZI). Hoe groter de berging en de pompovercapaciteit zijn, hoe kleiner de vuiluitworp is. De basisinspanning betreft referentiewaarden voor de berging en de pompovercapaciteit en is als beleid overgenomen door vrijwel alle waterkwaliteitbeheerders in Nederland. Een beschrijving van de in Nederland voorkomende typen rioolstelsels is opgenomen in bijlage 1.

Basisinspanning zoals geformuleerd door de CUWVO
- nieuwe stelsels: verbeterd gescheiden met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit
- bestaande gemengde stelsels: 7 mm berging, 0,7 mm/h pompovercapaciteit en 2 mm aanvullende berging in bergbezinkbassins
- bestaande gescheiden stelsels: verbeterd gescheiden met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit

Het tweede spoor van de CUWVO-richtlijnen, het waterkwaliteitsspoor, levert een mogelijkheid voor provincies en waterkwaliteitsbeheerders om de basisinspanning aan te scherpen, afhankelijk van locale omstandigheden. Als de vuiluitworp na realisatie van de basisinspanning nog steeds te groot is om te kunnen voldoen aan waterkwaliteitsdoelstellingen, worden strengere eisen gesteld.

Een belangrijke nuancering van de CUWVO-richtlijnen is hier van belang. De richtlijnen geven wel doelen aan, maar schrijven geen middelen voor. De basisinspanning wordt weliswaar beschreven in termen van berging en pompovercapaciteit, maar dit houdt niet in dat de vuiluitworp uitsluitend mag worden gereduceerd door vergroting van berging of pompovercapaciteit. Als met alternatieve technieken dezelfde reductie van de vuiluitworp kan worden verkregen is dat ook goed.

Evaluatienota Water

In de ENW is het integrale waterbeleid, dat in de NW3 is geformuleerd, geëvalueerd en waar nodig verduidelijkt. Ook zijn aanvullende maatregelen geformuleerd om de realisering van de doelstellingen van de NW3 te bevorderen. Voor het waterbeheer in de bebouwde omgeving is in de ENW aangegeven dat de basisinspanning, die is gedefinieerd door de CUWVO, als uitgangspunt geldt voor de beoordeling van rioolstelsels.

Vierde Nota waterhuishouding
Met het verschijnen van de NW4, voorlopig nog als regeringsvoornemen, is duurzaam waterbeheer in de bebouwde omgeving formeel rijksbeleid. In de nota is het zelfs als één van de belangrijkste speerpunten aangemerkt. Het beleid in de NW4 kan worden samengevat als:

"*Het streven naar samenhang en samenwerking in de waterketen*"

Dit betekent dat in de bebouwde omgeving zorgvuldig moet worden gekeken naar de verschillende waterstromen en hun onderlinge samenhang. Verontreiniging en verspilling dienen zoveel mogelijk te worden vermeden. Het is daarbij noodzakelijk dat de verschillende betrokken partijen nauw samenwerken. Geen enkele actor is in staat de beleidsdoelen volledig zelfstandig te realiseren. Naast het streven naar samenhang en samenwerking in de waterketen, vraagt de NW4 speciale aandacht voor de afstemming van water en ruimtelijke ordening. Water kan een belangrijk ordenend principe zijn, ook in de bebouwde omgeving. Ook wordt in de NW4 aanbevolen om op nieuwbouwlocaties 60% af te koppelen en in de bestaande bebouwde omgeving 20%.

Het beleid komt voort uit een omslag in het denken over water, welke wel wordt aangeduid als "Van last tot lust". Voorheen lag het accent op de afvoer van water. De verschillende waterstromen moesten zo snel en efficiënt mogelijk worden afgevoerd. Dit heeft enerzijds geleid tot grote piekafvoeren, zowel in beken als de grote rivieren, en anderzijds tot verdroging. Hoe sneller water uit een gebied wordt afgevoerd, hoe eerder er een watertekort optreedt. Tevens bleek het moeilijk en duur om verontreinigingen goed te beheersen. Omdat aan water in de bebouwde omgeving slechts een geringe waarde werd toegekend, kreeg het relatief weinig aandacht bij de inrichting van bebouwde gebieden. Door bewust te kijken naar de verschillende waterstromen in de bebouwde omgeving en na te gaan in hoeverre die waterstromen op goede wijze kunnen worden benut en door water als een attractief element bij de inrichting te betrekken (water als blauw-groen lint), wordt een belangrijke bijdrage geleverd aan een meer duurzame leefomgeving. Water is dan eerder een lust dan een last.

3.3 Situatie in het buitenland

Infiltratie van regenwater dat van verharde oppervlakken afstroomt is in het buitenland veel gangbaarder dan in Nederland, zij het dat met name de toepassing op grote schaal (stadswijken, b.v.) slechts beperkt is tot een paar landen.
In veel landen wordt de toepassing van infiltratiesystemen in plaats van de conventionele rioleringssystemen vanuit de overheid gestimuleerd in verband met de positieve effecten van infiltratie. Daarbij wordt veelal behoedzaam omgesprongen met het risico van bodem- en grondwatervervuiling door uitgebreide bemonsteringsprogramma's.

Duitsland
De laatste jaren is in Duitsland zowel in het landelijk parlement als ook in de federale parlementen veel gediscussieerd over de mogelijke toepassing van regenwater als vervanging van drinkwater voor verschillende speciale doeleinden. De discussies zijn gevoerd in het kader van de milieuproblematiek.
In Hamburg zijn proefprojecten opgezet waarvan de resultaten aangeven dat meer dan 50% van het drinkwatergebruik in huizen kan worden vervangen door regenwater. Osnabrück heeft sinds 1991 een ondersteuningsprogramma dat het nuttig gebruik of de

infiltratie van regenwater in de stad stimuleert. Zo wordt een subsidie van DM 1000,- uitgekeerd als een aantal van de toiletten of wasmachines wordt aangesloten op een regenwaterbassin. Een subsidie van DM 2000,- wordt uitgekeerd als alle toiletten of wasmachines worden aangesloten op een regenwaterbassin Tenslotte wordt DM 5,- uitgekeerd voor elke vierkante meter afgekoppeld dakoppervlak waarvan het afstromende regenwater wordt geïnfiltreerd in de bodem.
Een aantal stadsbesturen van grote Duitse steden voert een actief beleid ten aanzien van het aanleggen van begroeide daken. Hierbij gaat de overheid zo ver, dat zij bij het aanleggen of vervangen van een plat dak in een stedelijk gebied een vegetatiedak voorschrijft.

België
In België ligt de insteek van het afkoppelingsbeleid bij 'het voorkomingsprincipe ten aanzien van de overstromingsproblematiek' (het vertragen van de afvoer van hemelwater dat via de riolering steeds massaler en sneller naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd) en bij bronmaatregelen (versus end of pipe).
Afvloeiend hemelwater van daken, wegen en verharde oppervlakten wordt beschouwd als niet verontreinigd hemelwater tenzij door de mens via vergunningsplichtige ('ingedeelde') activiteiten stoffen aan het hemelwater worden toegevoegd. In het laatste geval wordt het hemelwater gezien als verontreinigd water dat wordt beschouwd als bedrijfsafvalwater en moet voldoen aan de hiervoor gestelde lozingsvoorwaarden.
Op basis van deze benadering is gesteld dat het afkoppelen van hemelwater van verharde oppervlakken op diverse terreinen dient doorgevoerd te worden:
- afkoppelen van hemelwater op het niveau van woningen (daken en opritten)
- afkoppelen van afstromend hemelwater van wegen
- afkoppelen van niet-verontreinigd hemelwater van vergunningsplichtige inrichtingen (bedrijfsgebouwen etc)
- afkoppelen van verharde oppervlakken die behoren tot al dan niet vergunningsplichtige inrichtingen zoals parkeerplaatsen voor auto's van grootwarenhuizen, ziekenhuizen etc.

Indien het risico bestaat dat het hemelwater verontreinigd wordt, kunnen in de vergunning aanvullende voorwaarden opgelegd worden (o.a. het plaatsen van een koolwaterstofafscheider).
Men acht het essentieel dat een strikte invulling wordt gegeven aan dit afkoppelingsbeleid omdat op die wijze op termijn een oplossing gegeven wordt aan de problematiek van onder andere: overstromingen, verdroging en overstorten.

Zwitserland
In 1992 is in Zwitserland een nieuwe wet van kracht geworden ter bescherming van de waterkwaliteit, ter vervanging van de oude wet uit 1971 (Gewässerschutzgesetz). In deze wet wordt infiltratie van regenwater verplicht gesteld indien het niet vervuild is, dat wil zeggen indien het regenwater het ontvangende water niet fysisch, chemisch of biologisch wijzigt. Regenwater mag alleen in rioleringen ingezameld en in RWZI's behandeld worden als dit noodzakelijk is voor de veiligheid en hygiëne in stedelijke gebieden en voor de beheersing van de vervuiling van het oppervlaktewater [9, 10]. Met de verplichting van infiltratie van regenwater wordt een reductie in de afvoer van oppervlaktewater beoogd, evenals een toename in de effectiviteit van het transport en de behandeling van afvalwater. Met deze wet is Zwitserland het enige land waar infiltratie wettelijk geregeld is. De locale overheden beslissen wanneer infiltratie is toegestaan.

In tabel 3.1 zijn de richtlijnen weergegeven voor de toepassing van infiltratie. Hieruit blijkt dat toepassing gebonden is aan de te verwachten mate van vervuiling en het gebied waarin de voorziening aangelegd wordt.

Tabel 3.1 Vereenvoudigd voorstel voor toepassing van infiltratie van regenwater (bron: [10])

Type oppervlak (risico verontreiniging)	Type infiltratieconstructie	Type gebied in het kader van drinkwaterbescherming				
		SI + SII	SIII	A	B	C
Daken, fiets- of wandelpaden	oppervlakte-infiltratie	-	+	+	+	+
	ondergrondse infiltratie	-	-	+	+	+
Wegen in woonwijken, parkeerplaatsen	oppervlakte-infiltratie	-	-	+	+	+
	ondergrondse infiltratie	-	-	-	-	-
Rijks- en provinciale wegen	oppervlakte-infiltratie	-	-	a	a	a
	ondergrondse infiltratie	-	-	-	-	-

-	infiltratie niet toegestaan;
+	infiltratie toegestaan, toestemming noodzakelijk
a	infiltratie alleen toegestaan in bijzondere situaties
A	gebieden waar het grondwater van groot belang is voor de drinkwaterbereiding
B	gebieden waar het grondwater van minder belang is voor de drinkwaterbereiding
C	andere gebieden
SI, SII, SIII	drinkwaterbeschermingsgebieden.

Groot-Brittannië

In gebieden die op grote afstand van rioleringsstelsel zijn gelegen, worden in Groot-Brittannië traditioneel infiltratieputten aangelegd.
Indien er echter op redelijke afstand een rioolstelsel of waterloop ligt, heeft afvoer naar één van deze ontwateringsmiddelen altijd de voorkeur gehad [12].
In 1992 heeft de National Rivers Authority (NRA) een document naar buiten gebracht met betrekking tot een nationaal grondwaterbeschermingsbeleid. In dit document zijn richtlijnen geformuleerd voor het infiltreren van water [13]. De laatste jaren is er een toenemende bezorgdheid over het gevaar van vervuiling van de grondwatervoorraad in Groot-Brittannië, die een belangrijke bron voor drinkwater vormen. De richtlijnen zijn dan ook afgestemd op bescherming van drinkwatergebieden en de kwetsbaarheid van grondwater De richtlijnen komen globaal overeen met de richtlijnen die in Zwitserland zijn voorgesteld.

In tabel 3.2 zijn de richtlijnen weergegeven zoals deze zijn voorgesteld door de NRA.
Regenwater afkomstig van daken mag in alle gevallen zonder problemen worden geïnfiltreerd (met de veronderstelling dat het niet-vervuild water betreft); dit in tegenstelling tot het Zwitserse beleid waar in de buurt van drinkwateronttrekkingen in geen geval geïnfiltreerd mag worden. Infiltratie vanaf andere oppervlakken binnen drinkwaterbeschermingsgebieden wordt in Groot-Brittannië eveneens onacceptabel geacht. Buiten de drinkwaterbeschermingsgebieden wordt infiltratie veelal toegestaan, zij het dat een onderzoek zal moeten uitwijzen dat infiltratie geen nadelige effecten met zich meebrengt en dat er veelal een extra voorziening voor zuivering van het water wordt vereist.

Tabel 3.2 Aanvaardbaarheid infiltratie (bron: [13]

Type oppervlak	Type gebied in kader van drinkwaterbescherming		
	I	II	III
Daken	+ +	+ +	+ +
Openbare verharde terreinen	-	+	+
Parkeerplaatsen	-	+v	+v
Ontsluitingswegen	-	0+	+ov
Industriegebieden	-	0	+ov

+ + geen bezwaar
+ aanvaardbaar
+v aanvaardbaar met randvoorziening
+ov aanvaardbaar na gunstig onderzoek en met geschikte voorzorgsmaatregelen
0+ onaanvaardbaar verondersteld (alleen in exceptionele gevallen aanvaardbaar)
0 onaanvaardbaar verondersteld
- onaanvaardbaar

Uit een enquête onder hoofdzakelijk locale overheden in 1992 is gebleken dat iets minder dan de helft van de ondervraagden een beleid ten aanzien
van de toepassing van infiltratievoorzieningen heeft geformuleerd [13]. Het beleid loopt uiteen van een verbod tot een aanmoedigingsbeleid. Locale overheden in gebieden met een kleigrond of in dichtgebouwde gebieden zijn tegen de toepassing van infiltratiesystemen. De reden voor het aanmoedigingsbeleid bij andere locale eenheden is meestal de reductie van de oppervlaktewaterbelasting en een aanvulling van de grondwatervoorraad door toepassing van infiltratievoorzieningen.

Zweden
In Zweden worden de laatste jaren in toenemende mate infiltratietechnieken toegepast [15]. In Stockholm bijvoorbeeld kunnen huiseigenaren sinds 1963 zelf bepalen of het huis aangesloten wordt op een conventioneel rioolstelsel of een infiltratievoorziening. Bij aansluiting op een infiltratievoorziening resulteert dit in een reductie van gemeentewege op de aansluitingskosten voor water, riolering en regenwater met 20%. Hierbij wordt de mogelijkheid geboden om bij onvoldoende functioneren van de voorziening alsnog aansluiting op de regenwaterriolering te verkrijgen. In 1989 had ongeveer de helft van de eigenaren van nieuwe woningen het huis laten aansluiten op een infiltratievoorziening. De voorzieningen blijken naar ieders tevredenheid te functioneren; nog niemand heeft het huis alsnog laten aansluiten op een regenwaterriolering.

USA
Sinds een aantal jaren bestaan er in de Verenigde Staten uitgebreide ontwerp-richtlijnen voor infiltratievoorzieningen. Het aannemen van een beleid gericht op behandeling van regenwater zo dicht mogelijk bij de bron waar het vandaan komt heeft geleid tot een extensief gebruik van infiltratietechnieken.

Japan
In Japan dienen huiseigenaren zelf zorg te dragen voor de aansluiting van hun huizen op het rioolstelsel. In verband met de veelvuldige overstromingen van rivieren door de te geringe afvoercapaciteit, de uitputting van de grondwatervoorraad en de basisafvoer van het oppervlaktewater, en de optredende zettingen van de bodem bevelen veel gemeenten hun

hun bewoners aan de huizen aan te sluiten op een infiltratiesysteem [11]. De burgers worden hier niet toe verplicht en draaien zelf voor de kosten op. Door een uitgebreide voorlichting over de problemen met de bestaande rioolstelsels zijn veel mensen overgegaan op aansluiting op een infiltratiesysteem.
De eerste -experimentele- voorzieningen zijn ongeveer 25 jaar geleden aangelegd. De laatste 10 jaar zijn er meer en meer systemen op grotere schaal aangelegd. De verwachting is dat dit aantal nog sterk zal toenemen. Tot voor kort werden hoofdzakelijk bergingsbassins aangelegd voor de reductie van piekafvoeren, waarvoor grote oppervlakken nodig zijn. Met name het geringere ruimtebeslag van infiltratievoorzieningen heeft ervoor gezorgd dat deze systemen nu vaker worden aangelegd [11].

Andere landen
Hoewel ook in andere landen dan de hiervoor genoemde de noodzaak voor een geheel andere aanpak van regenwaterafvoer duidelijk is geworden gezien de steeds grotere problemen bij de conventionele rioleringssystemen, is er in deze landen nog geen beleid vastgelegd ten aanzien van infiltratie van stedelijk regenwater. Met het oog op de mogelijke risico's van infiltratie (en dan met name de kans op grondwater- en bodemvervuiling) is besloten eerst onderzoek te doen naar deze risico's. Daarvoor zijn in Frankrijk, Duitsland, Noorwegen, Denemarken en Australië proefprojecten opgestart.

4 Aspecten met betrekking tot planvorming

4.1 Inleiding

Bij de inrichting van nieuwe stedelijke gebieden zal een keuze moeten worden gemaakt voor de wijze waarop het regenwater afgevoerd zal worden. Hierbij spelen tal van factoren een rol.
Wanneer de voorkeur uitgaat naar infiltratie van het regenwater, zal onderzocht moeten worden of dat in het betreffende plangebied mogelijk is en welke consequenties dit heeft op het vlak van de verdere planvorming.

4.2 Keuzefactoren type rioolstelsel

De keuze voor het type rioolstelsel wordt veelal ingegeven door de beschikbare kennis en ervaring over rioleringssystemen. Daarnaast kan het provinciaal of waterschapsbeleid van invloed zijn op de keuze, maar dit beleid is niet dwingend.

De waterkwaliteitsbeheerder in het stedelijke gebied, veelal een waterschap, formuleert wensen ten aanzien van de te handhaven of te bereiken waterkwaliteit in het gebied. Op basis hiervan wordt een aanvaardbare vuiluitworp aangegeven en eventueel een type rioolstelsel. De gemeente kan dit advies overnemen, maar is vrij een ander stelsel te kiezen, mits dat niet leidt tot een grotere vuiluitworp.

Tegenwoordig wordt voor nieuw te ontwikkelen gebieden doorgaans het verbeterd gescheiden stelsel als uitgangspunt gehanteerd. Ten opzichte van het gemengde stelsel heeft dit type stelsel het voordeel dat minder relatief schoon regenwater naar de RWZI wordt afgevoerd en dat overstorten op oppervlaktewater geen huishoudelijk afvalwater bevatten. Ten opzichte van het gescheiden stelsel is er het voordeel van een lagere belasting van het oppervlaktewater, echter met als bijkomend effect een hogere belasting van de RWZI. Daarnaast is er mogelijk nog een voordeel. Vaak wordt aangenomen dat de eerste hoeveelheid regenwater die tot afstromend komt de grootste hoeveelheid verontreinigingen bevat (het zogenaamde 'first-flush'-effect). Als deze veronderstelling klopt, wordt bij het verbeterd gescheiden stelsel het overgrote deel van de 'first flush' afgevoerd naar de RWZI en de vuiluitworp op oppervlaktewater dus aanzienlijk gereduceerd.

Voor nog te ontwikkelen stedelijke gebieden zal de toepassing van infiltratie voornamelijk afgewogen moeten worden tegen de aanleg van een verbeterd gescheiden stelsel. De volgende factoren spelen bij deze afweging een rol:
1. reductie piekafvoeren;
2. reductie vuiluitworp via overstorten en effluent naar oppervlaktewater;
3. belasting bodem/grondwater met verontreinigingen;
4. risico-gevoeligheid;
5. ruimtebeslag;
6. investerings- en beheerskosten;
7. mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen;
8. levensduur; en
9. overige positieve en/of negatieve effecten.

Piekafvoeren
Door regenwater te infiltreren nemen de piekafvoeren af. Immers het geïnfiltreerde regenwater wordt niet via buizen afgevoerd naar oppervlaktewater, maar via het ondiepe of diepe grondwater. Deze twee laatste afvoerprocessen verlopen langzamer dan de afvoer via buizen, hetgeen resulteert in geringere piekafvoeren.

Reductie vuiluitworp via overstortingen en effluent
Door het stedelijk regenwater af te voeren naar infiltratievoorzieningen wordt er minder of geen water meer via overstortingen vanuit het verbeterd gescheiden rioolstelsel rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd. Ook wordt minder regenwater afgevoerd naar de rioolwaterzuiveringsinrichting, waardoor de hoeveelheid effluent afneemt en het zuiveringsrendement gunstig wordt beïnvloed. Dit betekent dus dat de vuiluitworp op het oppervlaktewater geminimaliseerd wordt. Bij toepassing van een verbeterd gescheiden stelsel kan nog wel een behoorlijke vuiluitworp optreden.

Belasting bodem/grondwater met verontreinigingen
Het regenwater kan verontreinigingen opnemen van de oppervlakken waarover het afstroomt in de richting van de infiltratievoorziening. Bekende voorbeelden hiervan zijn de zinken dakgoten en regenpijpen, druk bereden wegen, marktterreinen, grote parkeerplaatsen, etc. De verontreinigingen kunnen ontstaan doordat materialen uitlogen of omdat er verontreinigingen op het oppervlak aanwezig zijn door het gebruik hiervan. Deze verontreinigingen kunnen opgelost in het regenwater aanwezig zijn of in gebonden vorm aan de slibfractie in het water. Als vervolgens het regenwater in de bodem terecht komt, kunnen deze stoffen accumuleren in de bodem of het grondwater bereiken.

Risico-gevoeligheid
Infiltratievoorzieningen zijn veel gevoeliger en kwetsbaarder voor calamiteiten dan het verbeterd gescheiden rioolstelsel. Een illegale lozing van verontreinigingen kan bij een infiltratievoorziening geruime tijd onopgemerkt blijven met veel grotere negatieve gevolgen.

Ruimtebeslag
In principe hoeft het voor de infiltratievoorzieningen benodigde ruimtebeslag niet veel groter te zijn dan de ruimte nodig voor een rioleringssysteem van het verbeterd gescheiden stelsel. Bij toepassing van infiltratievoorzieningen voor de afvoer van regenwater zal een DWA-riool moeten worden aangelegd voor de afvoer van huishoudelijk afvalwater. Daarnaast moeten infiltratievoorzieningen worden aangelegd voor de afvoer van het regenwater afstromend van verharde oppervlakken als wegen en daken. Het geringste ruimtebeslag is benodigd wanneer voorzieningen ten behoeve van openbaar terreinen (wegen) aangelegd worden in het openbare terrein, eventueel geïntegreerd met andere functies (plantsoenen, bermen, parkeerplaatsen), en voorzieningen ten behoeve van particulier terrein (daken) in particulier terrein. Hierbij dienen wel duidelijke afspraken gemaakt te worden over beheer, onderhoud, verantwoordelijkheden en plichten. Bindende voorwaarden kunnen bijvoorbeeld opgenomen worden in bepalingen in de bouwvergunning, de vergunning voor waterlozing of het koopcontract.

Kosten
Uit een indicatieve kostenvergelijking (in 1992) voor een woonwijk in Almere Stad is gebleken dat de aanlegkosten voor een zogenaamd geïntegreerd rioolstelsel (een stelsel met infiltratievoorzieningen) nagenoeg gelijk zijn aan die van een verbeterd gescheiden stelsel [16]. In de kostenvergelijking zijn bij het verbeterd gescheiden stelsel de kosten

inbegrepen voor aanleg van het DWA-stelsel en het RWA-stelsel (inclusief overstort- en koppelputten) en bij het geïntegreerde stelsel de kosten voor het gemengde stelsel (inclusief nooduitlaatput), infiltratiebedden, extra ontwateringsmiddelen en overstortvoorzieningen.
In de vergelijking zijn niet de kosten meegenomen die in beide situaties nagenoeg gelijk zijn, zoals de aansluitingen op de stelsels, de kosten voor gemaal en persleiding en kosten die verband houden met het bouwrijp maken van het terrein.

Uitgangspunt bij een kostenvergelijking zou in principe de laagst maatschappelijke kosten moeten zijn. Dit betekent dat ook de kosten voor de RWZI meegenomen zouden moeten worden. Doordat bij het geïntegreerde stelsel minder regenwater naar de RWZI wordt afgevoerd, kan volstaan worden met een geringere hydraulische capaciteit van de installatie.

Ten aanzien van de exploitatiekosten kan gesteld worden dat bij het verbeterd gescheiden stelsel een dubbel buizensysteem volgens de reguliere reinigingsfrequentie onderhouden dient te worden en bij het geïntegreerde stelsel een enkel buizensysteem [16].

Het onderhoud van de infiltratiebedden beperkt zich tot het doorspuiten van de invoerdrains. De frequentie van onderhoud van de invoerdrains is onder meer afhankelijk van de samenstelling van het te infiltreren water. Het lijkt aannemelijk om de aanslibbing aan de binnenzijde van de drains te verwijderen met dezelfde frequentie als die voor het onderhoud van het drainagestelsel ten behoeve van de ontwatering [16].

Onderhoud van de infiltratievoorziening zelf is alleen noodzakelijk indien in de voorziening een verstopping optreedt waarmee in het ontwerp geen rekening is gehouden. In de praktijk blijkt verstopping nauwelijks voor te komen. In de gemeente Kapellen aan den IJssel is bijvoorbeeld enkele decennia geleden op kleine schaal een grindbed aangelegd welke heden ten dage nog functioneert.

Ook voor nieuwbouwwijken in Zwolle en Enschede is aangetoond dat de aanlegkosten van infiltratievoorzieningen vrijwel gelijk zijn aan die van een verbeterd gescheiden stelsel. Ook de onderhoudskosten van beide stelsels ontlopen elkaar niet veel.

Mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen
Doordat bij het geïntegreerde stelsel een locale afhandeling van regenwater wordt toegepast zonder lange en grote transportleidingen, treden er minder snel capaciteitsproblemen op bij een uitbreiding van het stedelijke gebied. Voor het nieuwe gebied kunnen eenvoudig nieuwe voorzieningen worden aangelegd. Wil men bij het verbeterd gescheiden stelsel capaciteitsproblemen voorkomen, dan dient men in sterkere mate op de hoogte te zijn van toekomstige ontwikkelingen en deze beter te kunnen voorspellen.

Levensduur
De levensduur van een infiltratievoorziening is afhankelijk van de mate van dichtslibbing en het moment waarop in het regenwater aanwezige verontreinigingen het grondwater naderen. In principe wordt hiermee in het ontwerp van de voorziening rekening gehouden, zodat de levensduur even lang kan zijn als die van de conventionele rioolstelsels (50-60 jaar).

Overige factoren

- Andere overwegingen die een rol kunnen spelen bij de keuze van het type rioolstelsel zijn:
- de positieve beïnvloeding van de effluentkwaliteit van de RWZI bij toepassing van het geïntegreerde stelsel, doordat minder regenwater aangevoerd wordt op de RWZI;
- de meer natuurlijke kringloop van water als gevolg van infiltratie en een vermindering van de invloed van de ontwatering op omliggende gebieden bij toepassing van een geïntegreerd stelsel; en
- de grotere kans op hoge grondwaterstanden bij toepassing van het geïntegreerde stelsel.

4.3 Infiltratie versus bergbezinkbassins

Infiltratie van regenwater is niet alleen een optie bij nieuwbouw. Ook in bestaand stedelijk gebied kan regenwater worden geïnfiltreerd in de bodem mits de grondwaterstanden en doorlatendheden dit toelaten. Omdat door afkoppelen de vuiluitworp vanuit het rioolstelsel naar oppervlaktewater afneemt kan afkoppelen een alternatief of aanvulling zijn op een bergbezinkbassin. Daarnaast wordt minder regenwater naar de RWZI afgevoerd, hetgeen een gunstig effect heeft op het zuiveringsrendement van de RWZI. In deze paragraaf worden de effecten van infiltratie en bergbezinkbassins in beschouwing genomen, waarbij zowel de overstortvrachten als de effluentvrachten aan bod komen.

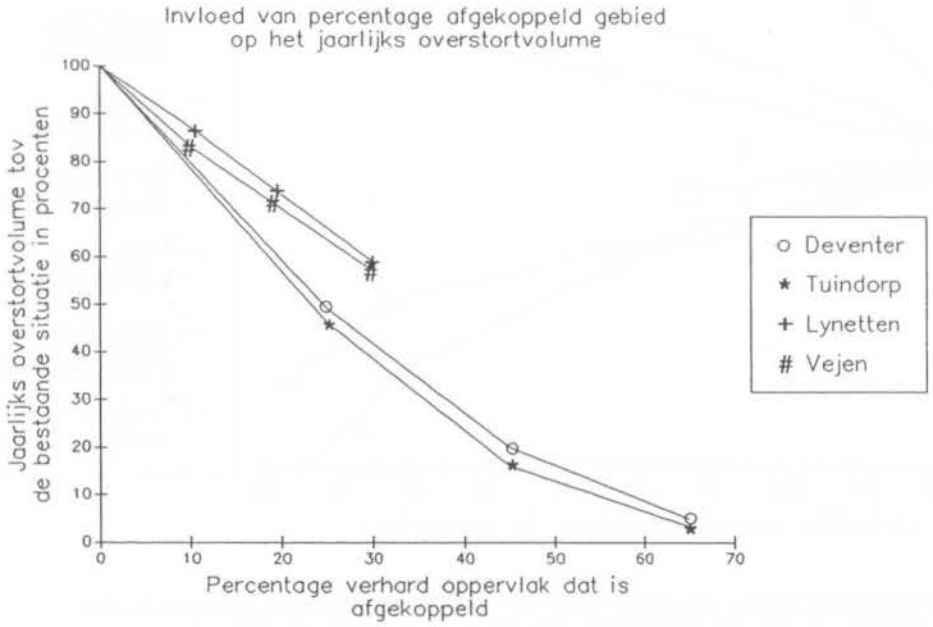
Ten einde de vuiluitworp van bestaande (gemengde) rioolstelsels te verminderen is het in Nederland de laatste jaren gebruikelijk om dit te doen door de berging van het rioolstelsel te vergroten of door voorzieningen aan te brengen aan de rand van het stelsel. Een veel toegepaste randvoorziening is het bergbezinkbassin. Het doel van een bergbezinkbassin is het reduceren van de vuiluitworp door het verlagen van de overstortfrequentie (door middel van vergroting van de berging) en het laten bezinken van zwevende deeltjes, waaraan de verontreiniging is gebonden. Het vergroten van de berging heeft als neveneffect dat er meer water wordt afgevoerd naar de RWZI. Het totale vuilaanbod op de RWZI neemt nauwelijks toe door de extra hoeveelheid, relatief schoon, afstromend regenwater. In perioden met zware neerslag wordt gedurende langere tijd sterk verdund rioolwater aangeboden. Doordat het rendement van een RWZI bij een toenemende verdunning afneemt, wordt er in die periode minder vuil verwijderd.

Door het afstromend regenwater naar infiltratievoorzieningen te leiden wordt minder water naar het rioolstelsel gevoerd. Het rioolstelsel zal minder vaak overstorten en de vuiluitworp als gevolg hiervan vermindert. Door het regenwater af te voeren naar infiltratievoorzieningen vermindert tevens de aanvoer van verdund rioolwater op de RWZI. De vuilverwijdering op de RWZI zal minder beïnvloed worden.

In Denemarken en Nederland is een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar de effecten van het aanbrengen van bergbezinkbassins en het afkoppelen van verharde oppervlakken (door aansluiting op infiltratievoorzieningen) op de totale vuiluitworp [3]. In het onderzoek zijn met een computermodel de vuiluitworp via overstorten en de restlozingen op de RWZI berekend. Het onderzoek is uitgevoerd voor vier rioolstelsels, waarvan twee in Nederland en twee in Denemarken zijn gelegen.

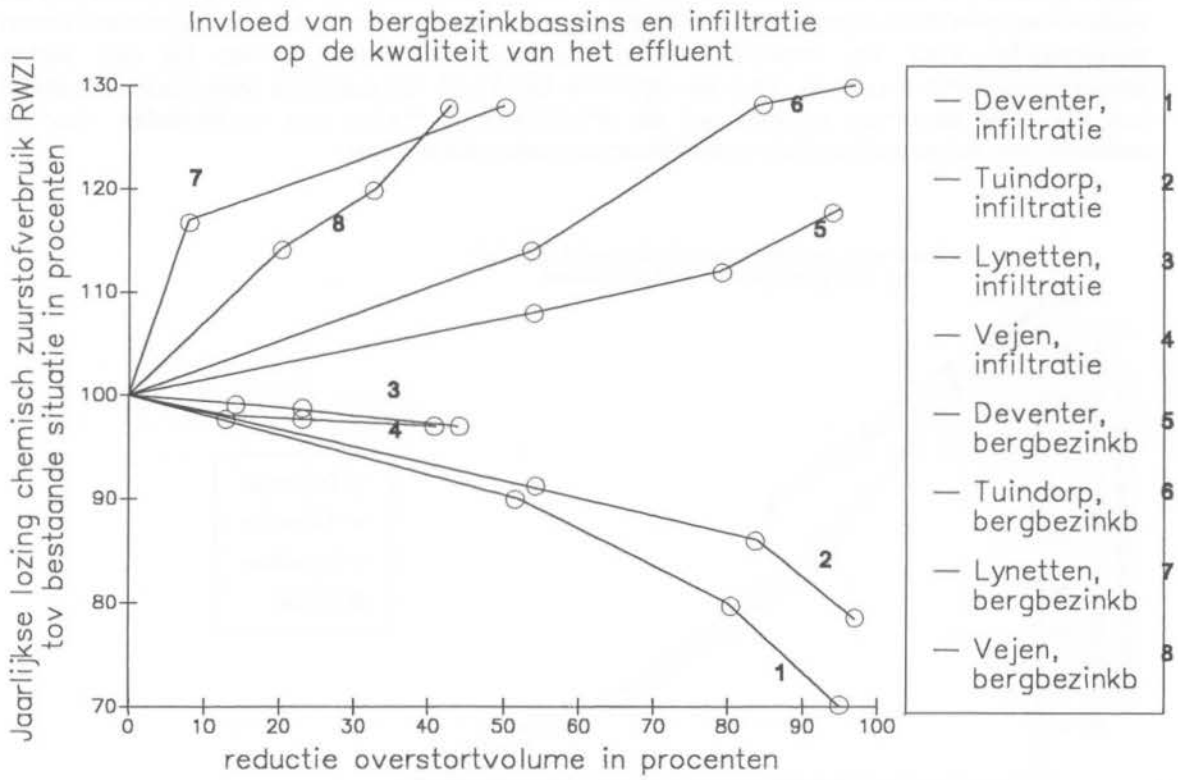
In figuur 4.1 is af te lezen met welk percentage de jaarlijkse overstorthoeveelheid gereduceerd wordt door het afkoppelen van een bepaald percentage verhard oppervlak. Uit

deze figuur blijkt voor de twee nederlandse stelsels (Deventer en Tuindorp-Utrecht) dat de vuiluitworp met 60% wordt gereduceerd wanneer 30% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld. Voor de Deense stelsels (Lynetten en Vejen) wordt bij een zelfde afkoppelingspercentage een reductie van 40% berekend. De jaarlijkse overstorthoeveelheid kan als maat genomen worden om de effectiviteit te meten van maatregelen voor de reductie van de vervuiling door overstorten op oppervlaktewater.



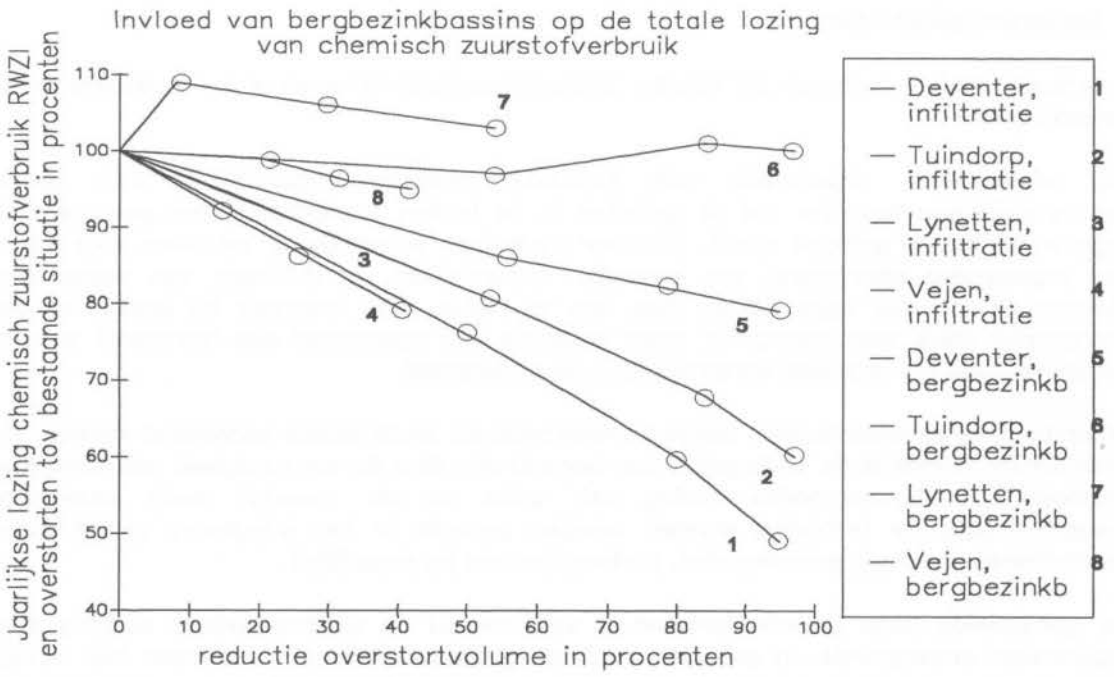
Figuur 4.1 Reductie van de jaarlijkse overstorthoeveelheid van een gemengd stelsel bij een gegeven percentage afgekoppeld oppervlak.

In figuur 4.2 is weergegeven wat het effect is van het aanbrengen van bergbezinkbassins of het afkoppelen van verharde oppervlakken op de jaarlijkse lozing van CZV (chemisch zuurstofverbruik) bij de RWZI. Uit de figuur blijkt dat het aanbrengen van een bergbezinkbassin een negatief effect heeft op de jaarlijkse lozing van CZV door de RWZI. Het afkoppelen van verhard oppervlak heeft daarentegen een positief effect.



Figuur 4.2 De jaarlijkse lozing van CZV door de RWZI's versus een reductie in het overstortvolume bij toepassing van respectievelijk infiltratie en bergbezinkbassins.

In figuur 4.3 zijn de gesommeerd jaarlijkse vrachten CZV van overstorten en effluentlozing weergegeven voor de vier onderzochte rioolstelsels. Voor alle stelsels is de reductie in de jaarlijkse vrachten CZV groter wanneer de vermindering van de overstorthoeveelheden wordt bereikt met infiltreren. Voor de RWZI Lynetten in Denemarken blijkt zelfs dat bij het aanbrengen van bergbezinkbassins meer CZV in het oppervlaktewater komt.



Figuur 4.3 De totale jaarlijkse lozing van CZV door RWZI's en overstorten versus een reductie in overstortvolume bij toepassing van respectievelijk infiltratie en bergbezinkbassins.

Het aanbrengen van bergbezinkbassins en het afkoppelen van verharde oppervlakken zijn effectieve middelen om de vuiluitworp via overstorten te reduceren. Het afkoppelen van verhard oppervlak heeft daarnaast een positief effect op het rendement van de RWZI op jaarbasis.
Bergbezinkbassins hebben zonder aanvullende maatregelen op de zuivering een negatief effect op het rendement van de RWZI's op jaarbasis.

4.4 Afwegingsfactoren infiltratie

In het kader van het onderzoek van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit naar de invloed van het afkoppelen van verhard oppervlak op de vuilemissie is een rapport gepubliceerd, getiteld 'Afkoppeltechnieken voor verharde oppervlakken', met praktische richtlijnen en aanwijzingen voor de keuze, de dimensionering en het beheer van afkoppelingsvoorzieningen. Infiltratievoorzieningen maken hiervan onderdeel uit. In dit rapport worden randvoorwaarden vermeld die hier beknopt weergegeven worden [14].

Technische aspecten die bepalen of infiltratie van regenwater vanaf het verharde oppervlak mogelijk is, zijn:
- kwaliteit van het afstromende regenwater;
- kwaliteit van het grondwater en de bodem;
- ruimtebeslag van de voorziening;
- grondwaterstandverloop;
- bodemgesteldheid; en;

- beheersmogelijkheden.

Daarnaast spelen aspecten als kosten, betrouwbaarheid, levensduur en inpassing in de omgeving een rol.

Het afstromende regenwater van bepaalde verharde oppervlakken kan zoveel verontreinigingen bevatten dat de gehalten in de bodem toenemen in het geval dat dit regenwater hierop geloosd wordt. Wanneer de bodem verontreinigd zal raken door lozing van regenwater afstromend van bepaalde oppervlakken, is infiltratie van regenwater afstromend van die oppervlakken niet aan te raden. Ook wanneer de bodem of het grondwater sterk verontreinigd is, moet infiltratie van regenwater niet bevorderd worden gezien de kans op versnelde verspreiding in de ondergrond.

Infiltratievoorzieningen kunnen zowel bovengronds als ondergronds aangelegd worden. De beschikbare ruimte in de ondergrond kan beperkt zijn door de aanwezigheid van kabels en leidingen. Bij bovengrondse aanleg zal, gelet op de meestal reeds aanwezige bestemmingen, de oplossing moeten worden gezocht in het integreren van functies (plantsoenen, bermen, geluidswallen, parkeerplaatsen en dergelijke).

De gemiddelde hoge grondwaterstand is van invloed op de beschikbare berging voor regenwater ondergronds. In gebieden waar de grondwaterstand na perioden met hevige neerslag dicht onder het maaiveld staat, is de bergingsmogelijkheid ondergronds beperkt. De doorlatendheid van de ondergrond en de bodemopbouw spelen eveneens een belangrijke rol bij de bepaling van de benodigde berging.

Bij beheersmogelijkheden als afwegingsfactor voor de toepassing van infiltratie kan onder andere gedacht worden aan aspecten als:
- realisatie van voorzieningen op openbaar of particulier terrein;
- gemak van onderhoud;
- controlemogelijkheden; en
- vergunningen.

Op een aantal van de hiervoor vermelde afwegingsfactoren wordt in de volgende paragrafen dieper ingegaan.

4.5 Aansluitbare verharde oppervlakken

Tijdens neerslagsituaties stromen verontreinigingen van verharde oppervlakken af, waardoor de verontreinigingslast in regenwater dat afstroomt van verharde oppervlakken groter is dan in neerslag. De hoeveelheid verontreinigingen die tijdens neerslagsituaties van verhard oppervlak afstroomt, is afhankelijk van factoren als: neerslagintensiteit, oplosbaarheid, sorptiegedrag, reactie met andere componenten, pH, helling van het verharde oppervlak en droge depositie. De kwaliteit van regenwater dat afstroomt van verhard oppervlak is dan ook mede afhankelijk van het soort verhard oppervlak.

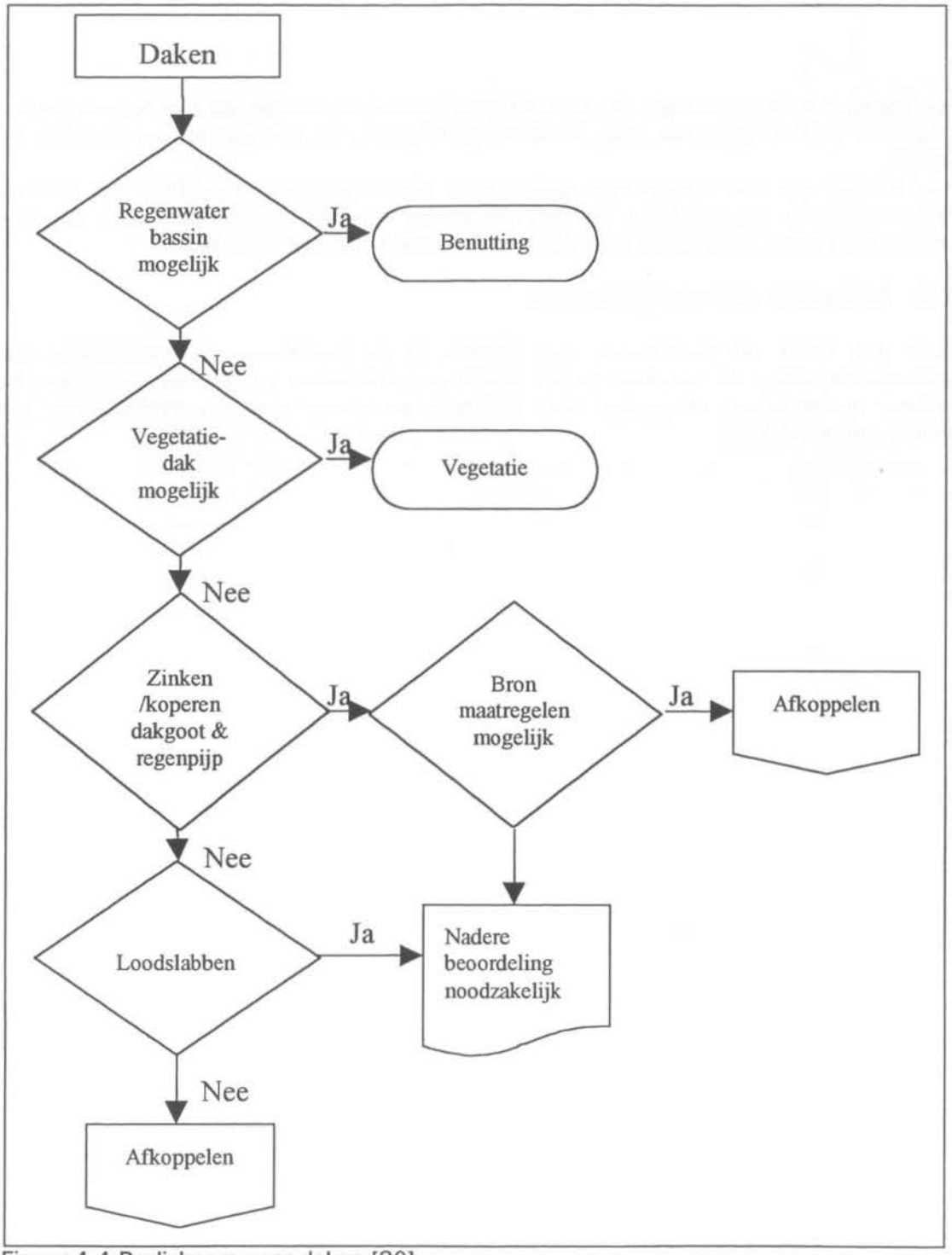
Omdat regenwater dat afstroomt van verharde oppervlakken in bepaalde mate is verontreinigd kan infiltratie van het regenwater bijvoorbeeld leiden tot een hogere belasting van de bodem met verontreinigingen dan wenselijk. Om een afweging te kunnen maken welke oppervlakken wel en welke oppervlakken niet in aanmerking komen voor afkoppelen heeft de Werkgroep Riolering West-Nederland de "Leidraad aan- en afkoppelen verharde

oppervlakken" [30] opgesteld[2]. De leidraad dient gezien te worden als een hulpmiddel om te bepalen of een oppervlak mag worden afgekoppeld. De leidraad is niet bedoeld als richtlijn.
In de leidraad zijn drie beslisbomen opgenomen: één voor dakoppervlakken, één voor de overige verharde oppervlakken en één de keuze van de afkoppeltechniek. De drie beslisbomen komen in de paragrafen 4.5.1 tot en met 4.5.3 aan de orde.

4.5.1 Beslisboom voor dakoppervlakken

Figuur 4.4 toont de beslisboom voor daken. In de beslisboom is aangegeven dat regenwaterbenutting de voorkeur geniet boven vegetatiedaken en dat vegetatiedaken de voorkeur geniet boven afkoppelen door infiltratie en afvoer naar oppervlaktewater (zie verder paragraaf 4.5.3).

[2] De leidraad is verspreid door RIONED [31]

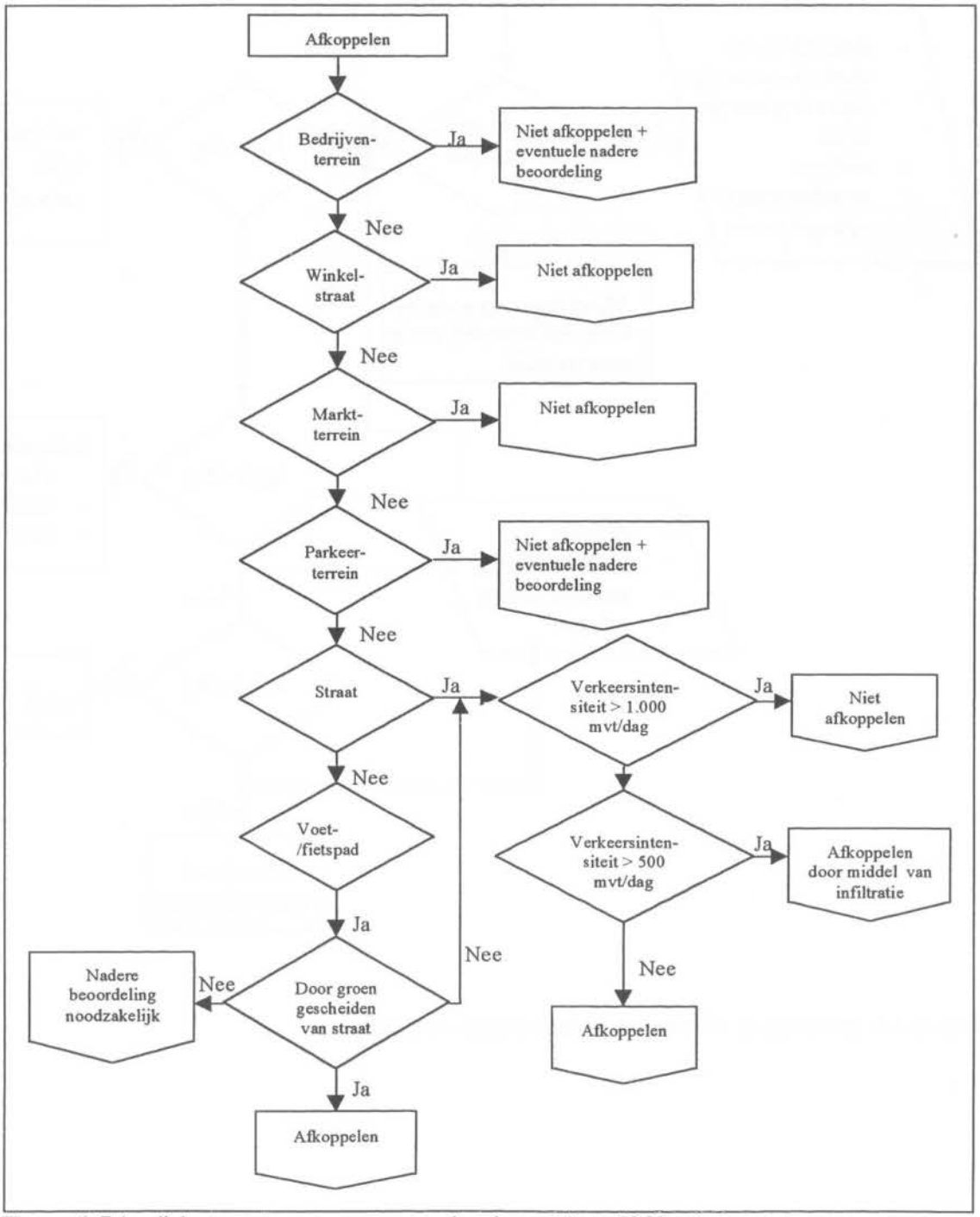


Figuur 4.4 Beslisboom voor daken [30].

In de beslisboom zijn de keuzeblokken "zinken + koperen dakgoot & regenpijp" en "loodslabben" opgenomen. Dit omdat corrosie van zink en koper uit dakgoten en regenpijpen en corrosie van lood uit loodslabben de kwaliteit van het regenwater in aanzienlijke mate beïnvloed. Vervanging van bijvoorbeeld zinken dakgoten door dakgoten die niet uitlogen (een bronmaatregel) resulteert in aanzienlijk lagere zinkconcentraties in het regenwater. Lagere concentraties leiden tot een geringere belasting van de bodem met

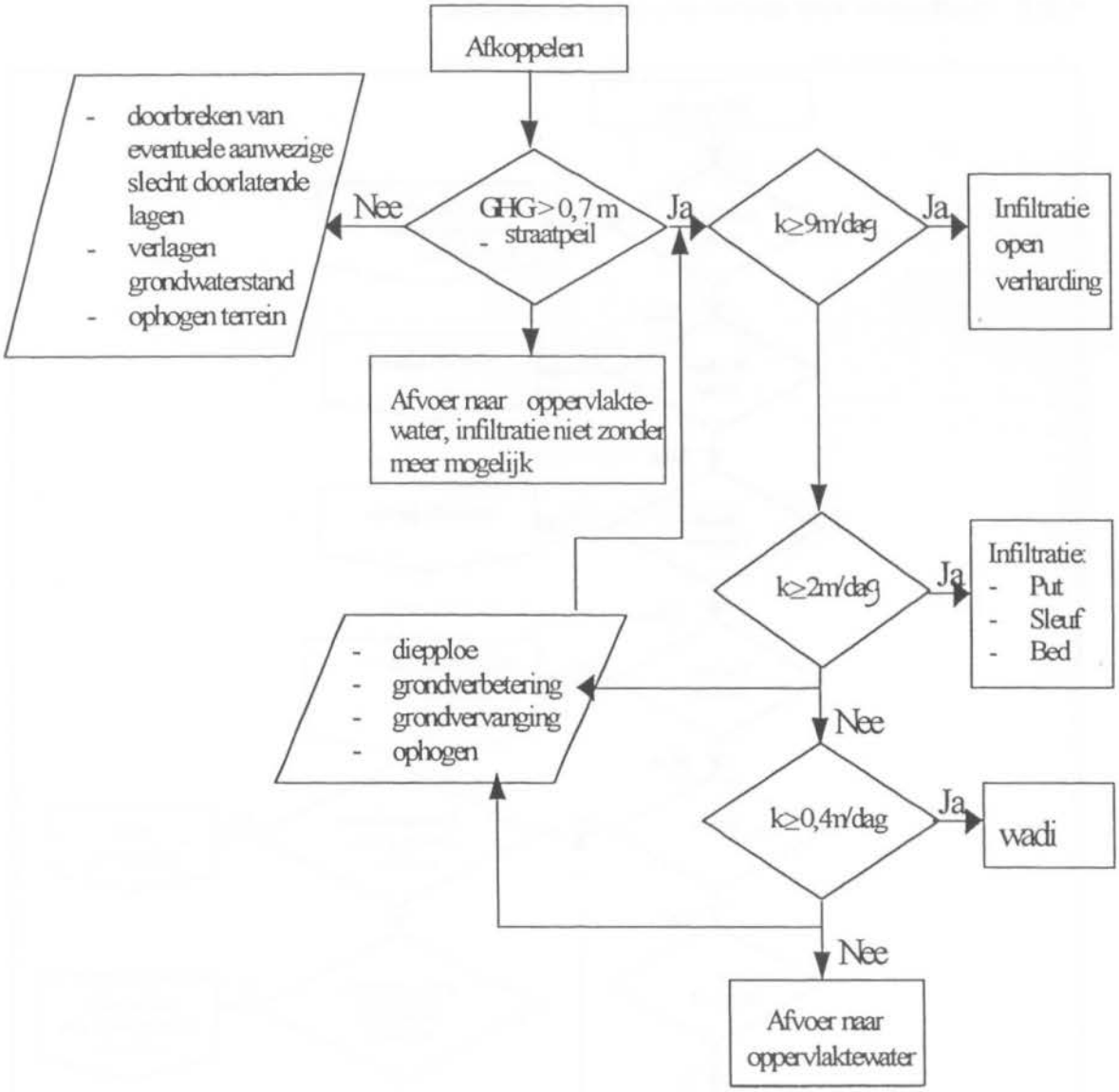
verontreinigingen bij infiltratie of een geringere belasting van het oppervlaktewater bij afvoer naar oppervlaktewater.

4.5.2 Beslisboom voor straten en verharde terreinen



Figuur 4.5 beslisboom voor straten en verharde terreinen [30].

4.5.3 Infiltratie of afvoer naar oppervlaktewater



Figuur 4.6 Infiltratie of afvoer naar oppervlaktewater [30]

5 Civieltechnische aspecten

5.1 Inleiding

Voor infiltratie kunnen verschillende technieken worden gebruikt waarbij het water ofwel via het oppervlak ofwel via aanvoerdrains in de voorziening wordt gebracht. Vanuit de voorziening infiltreert het water vervolgens in de ondergrond. Het water dat niet meteen infiltreert, wordt in de voorziening geborgen totdat het alsnog infiltreert.

5.2 Werking infiltratievoorziening

De verschillende onderdelen waaruit een infiltratievoorziening bestaat, zijn:

1. blad-, zand- en slibvang;
2. bergingsgedeelte;
3. infiltratiegedeelte;
4. noodoverlaat.

De blad-, zand- en slibafvang is nodig voor het voorkomen van dichtslibbing van de voorziening door bladeren, takken, zand- en slibdeeltjes die door het afstromende regenwater worden meegevoerd. Zonder een dergelijke voorziening is het mogelijk dat de bergingscapaciteit van de voorziening in een snel tempo afneemt en infiltratie uiteindelijk onmogelijk wordt. Het vooraf verwijderen van vast materiaal is de beste preventie hiervoor.
Het regenwater dat in de voorziening belandt, zal in eerste instantie geborgen moeten worden alvorens het infiltreert. Om berging te creëren wordt het bergingsgedeelte opgebouwd uit materiaal met een grote porositeit.
In het geval dat de bergings- en infiltratiecapaciteit van de infiltratievoorziening te klein zijn, wordt het aangevoerde regenwater via een noodoverlaat afgevoerd naar bijvoorbeeld het riool, een groenvoorziening of oppervlaktewater. Aangezien het aangevoerde water relatief schoon is, is het minder bezwaarlijk als er een overstorting optreedt dan bij toepassing van een gemengd rioolstelsel. In principe mag de overstortingsfrequentie bij een geïntegreerd stelsel dan ook hoger liggen.

In de huidige praktijk (ofwel bij toepassing van de conventionele rioleringsstelsels) is de afvoer van regenwater naar het open water grotendeels niet zichtbaar. Gezien de grotere gevoeligheid van geïntegreerde stelsels voor calamiteiten brengt dit onzichtbare afvoeren een extra risico met zich mee. Bij geïntegreerde stelsels is signalering van vervuiling en/of een ongewenste lozing meestal niet direct zichtbaar aan de oppervlakte. Bovendien is het mogelijk dat na signalering van vervuiling blijkt dat de verontreiniging al geruime tijd via de voorzieningen in de bodem terecht komt en wijd verspreid is.
Het zo lang mogelijk zichtbaar houden van het afstromende regenwater totdat het in de infiltratievoorziening voor het oog verdwijnt, maakt het mogelijk een eventuele ongewenste lozing in een zeer vroeg stadium op te sporen en te verhelpen. Door het regenwater in open goten naar de infiltratievoorziening af te voeren blijft het zichtbaar.

5.3 Infiltratietechnieken

Een infiltratievoorziening bestaat uit een bergingsgedeelte en een infiltratiegedeelte. Voor het infiltreren kan het water afgevoerd worden naar [14]:
- onverhard terrein, meestal overdekt met vegetatie;
- terrein met doorlatende verharding;
- een aan het oppervlak gelegen infiltratievoorziening; en
- een doorlatend ondergronds reservoir.

Infiltratievoorzieningen komen in verschillende vormen voor, waarbij het onderscheid hoofdzakelijk gebaseerd is op de verhouding tussen breedte, lengte en diepte (hoogte) van de voorziening. Zo wordt er gesproken over:
- infiltratieput;
- infiltratiesleuf;
- infiltratiebed.

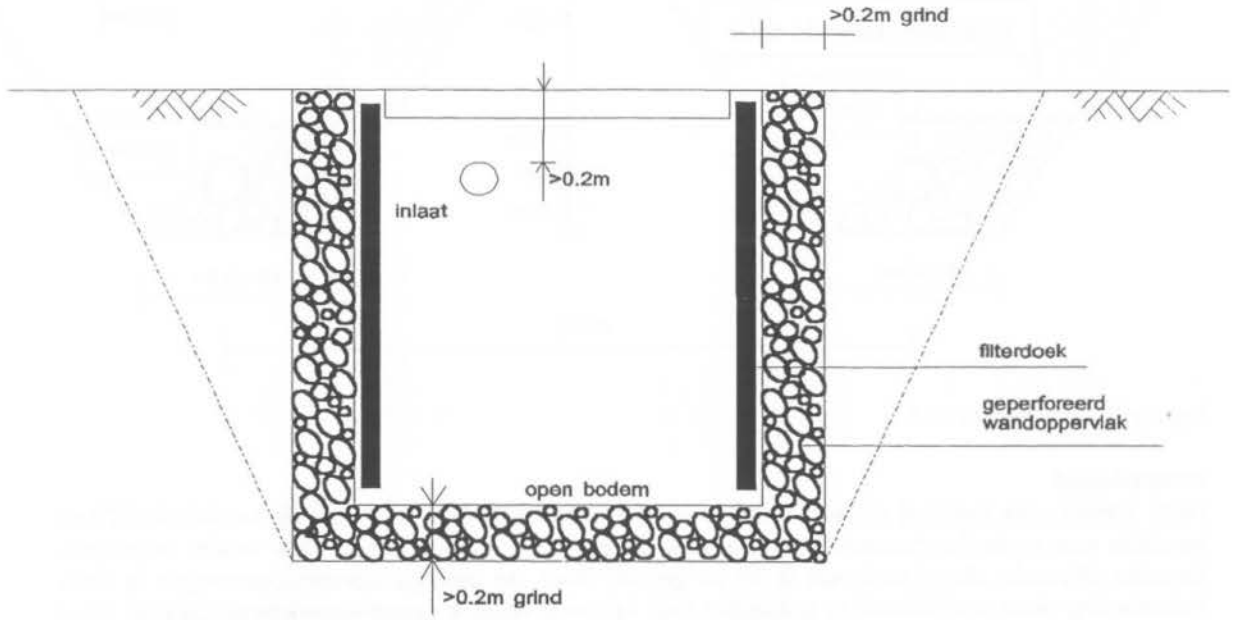
De verschillende infiltratietechnieken worden hieronder uiteengezet[3].

Infiltratieput
Deze bestaat uit een put waarvan de bodem, en vaak ook de wanden, doorlatend zijn. Door het aanbrengen van een grof aggregaat, zoals grind, onder en rond de put wordt de doorlatendheid verbeterd danwel verzekerd (zie figuur 5.1). Een dergelijke voorziening komt het meest tot zijn recht bij een lage grondwaterstand omdat dan de berging in de put het grootst is. Een infiltratieput neemt zeer weinig ruimte in, zeker vergeleken met het aansluitbare verhard oppervlak. Daarom is deze voorziening vaak goed inpasbaar in (bestaand) stedelijk gebied.
Door het kleine oppervlak aan doorlatende putbodem is een infiltratieput gevoelig voor dichtslibben. Dit is eventueel op te lossen door een vorm van voorbezinking te creëren.

Voordelen:
- gering ruimtebeslag;
- daardoor goed te integreren in bestaand stedelijk gebied;
- zeer geschikt bij lage grondwaterstanden.

Nadelen:
- er kan slechts een beperkt oppervlak op afwateren;
- bij dichtslibben van de bodem neemt de totale infiltratiecapaciteit af, waardoor de infiltratie alleen nog via de wanden kan plaatsvinden.

[3] Het betreft hier de technieken die beschikbaar waren in 1992/1993. Op basis hiervan is een besluit genomen voor het proefproject Zwolle-zuid in 1993.



Figuur 5.1 infiltratieput

Infiltratiesleuf

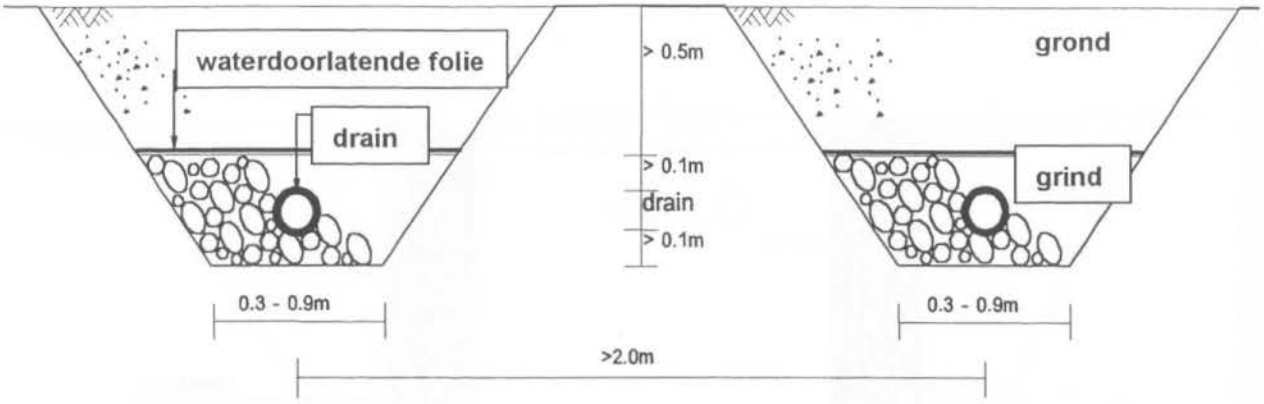
Een infiltratiesleuf bestaat uit een met grof materiaal gevulde sleuf waaromheen een filterdoek is aangebracht. In figuur 5.2 is een voorbeeld getoond. Dit filterdoek dient om vermenging met de omliggende grond tegen te gaan. De bovenzijde van deze voorziening bevindt zich minimaal 0,30 m onder het maaiveld. Bij een beperkte breedte en voldoende lengte (bijvoorbeeld onder een trottoir) is het mogelijk om een groot deel van het stedelijk verhard oppervlak hierop aan te sluiten.

Het voordeel van een dergelijke voorziening is dat het water zowel via de bodem als de wanden infiltreert. Slibt de bodem in de loop der jaren dicht, dan kunnen de wanden deze functie (mits hierop ontworpen !) overnemen.

Met name in stedelijk gebied verdient de uitvoering de nodige aandacht in verband met de kruising van aanwezige kabels en leidingen.

Voordelen:
- geschikt voor een relatief groot afwaterend verhard oppervlak;
- bij dichtslibben bodem blijft nog groot infiltrerend wandoppervlak over;
- bij toepassing goede aggregaat voorzuivering mogelijk.

Nadelen:
- mogelijk problemen bij kruising kabels en leidingen.



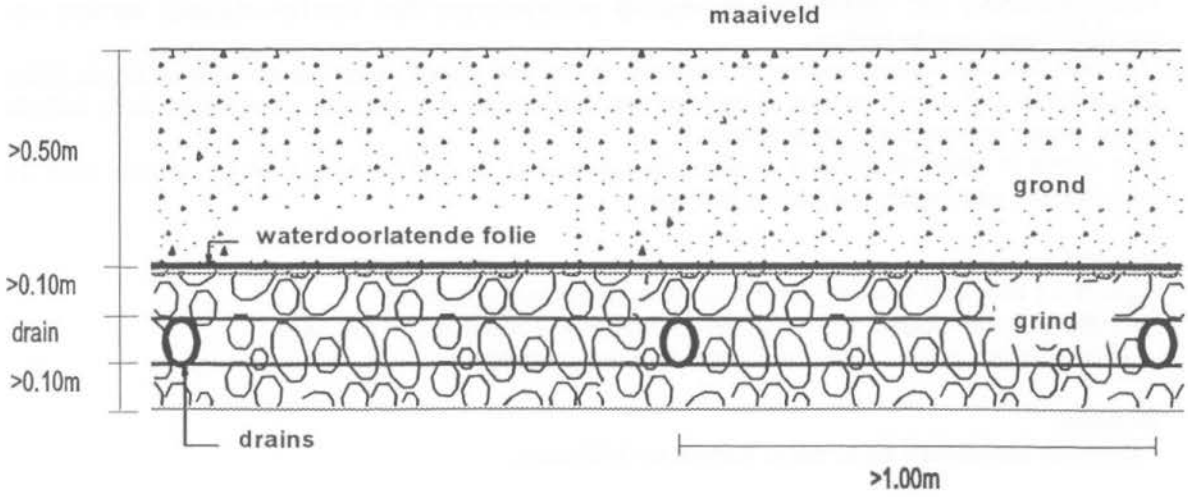
Figuur 5.2 Infiltratiesleuf.

Infiltratiebed

Deze constructie bestaat uit een vrij dun pakket grof materiaal met aan de onder- en/of bovenzijde een waterdoorlatend filterdoek (zie figuur 5.3). Aan de bovenzijde wordt deze constructie afgedekt door minimaal 0,30 m grond. Door de geringe constructiehoogte is deze voorziening goed toepasbaar in gebieden met een wat hogere grondwaterstand. Daarbij moet wel bedacht worden dat deze voorziening een groot oppervlak vergt omdat het bergend vermogen gering is. Daarom is een infiltratiebed zeer moeilijk inpasbaar in bestaand stedelijk gebied.

Voordelen:
- zeer geschikt bij hogere grondwaterstanden.

Nadelen:
- groot ruimtebeslag;
- zeer moeilijk inpasbaar in bestaand stedelijk gebied.



Figuur 5.3 Infiltratiebed.

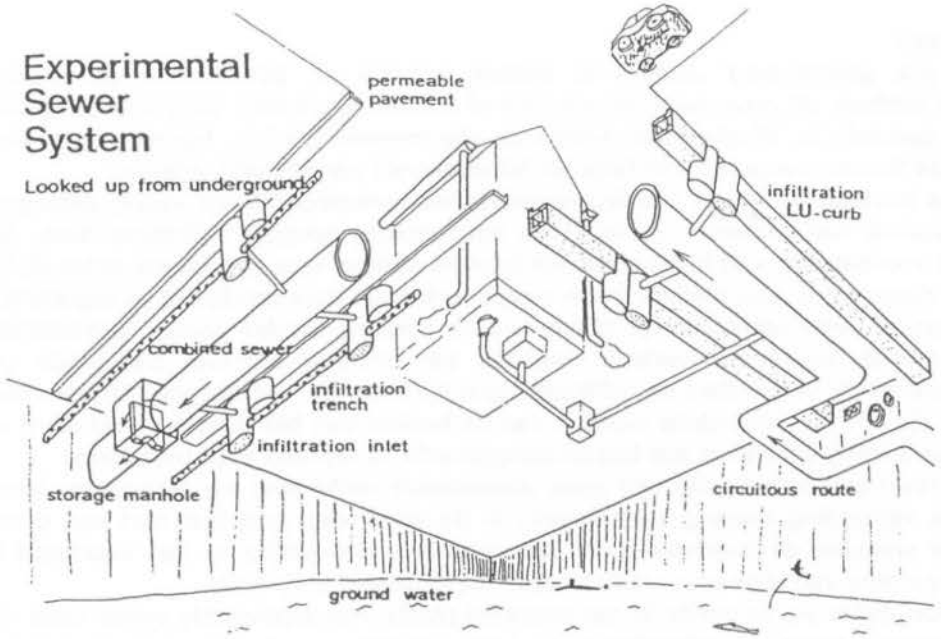
Andere technieken
Infiltratie kan ook gerealiseerd worden in velden, bassins en doorlatende verharding. *Infiltratievelden* bestaan uit onverhard terrein met of zonder begroeiing waar infiltratie van water mogelijk gemaakt is. Wegbermen, tuinen en plantsoenen kunnen, hoewel veelal niet primair voor deze functie aangelegd, in feite als infiltratieveld aangemerkt worden.
Infiltratiebassins bestaan uit in het terrein aangebrachte verlagingen waar water geborgen kan worden alvorens het infiltreert. In feite zijn het verdiept gelegen infiltratievelden. De bassins kunnen voorzien zijn van begroeiing. De bassins komen voor in ondiepe vorm (0,10 tot 0,30 m) en diepe vorm. Een diepere vorm wordt verkregen door omdijking of ingraving.
Infiltratie in bassins vindt hoofdzakelijk plaats via de bodem. Omdat zonder aanvullende voorzieningen op de bodem na verloop van tijd een sliblaag ontstaat bestaande uit bezonken fijn materiaal, vermindert de infiltratiecapaciteit van de voorziening. Ofwel moet de sliblaag van tijd tot tijd verwijderd worden van de bodem van het bassin ofwel dient er een speciale voorziening voor of in het bassin aangebracht te worden voor bezinking.
Voor infiltratie staat ook de mogelijkheid open *doorlatende verharding* toe te passen. Vaak wordt onder de verharding berging aangebracht in de vorm van materiaal met een grote porositeit, zeker wanneer de doorlatendheid van de ondergrond gering is. Een voorbeeld is ZOAB of de toepassing van elementenverhardingen (bijvoorbeeld graskeien).
Bij ZOAB vindt de afvoer via de poriën in het materiaal plaats. Het afgevoerde water komt via horizontale afstroming naast de verharding in de berm terecht, waar het in verticale richting kan infiltreren, of komt in naast de verharding gelegen goten terecht. Via deze goten wordt het water dan verder getransporteerd.

5.4 Praktijkvoorbeeld

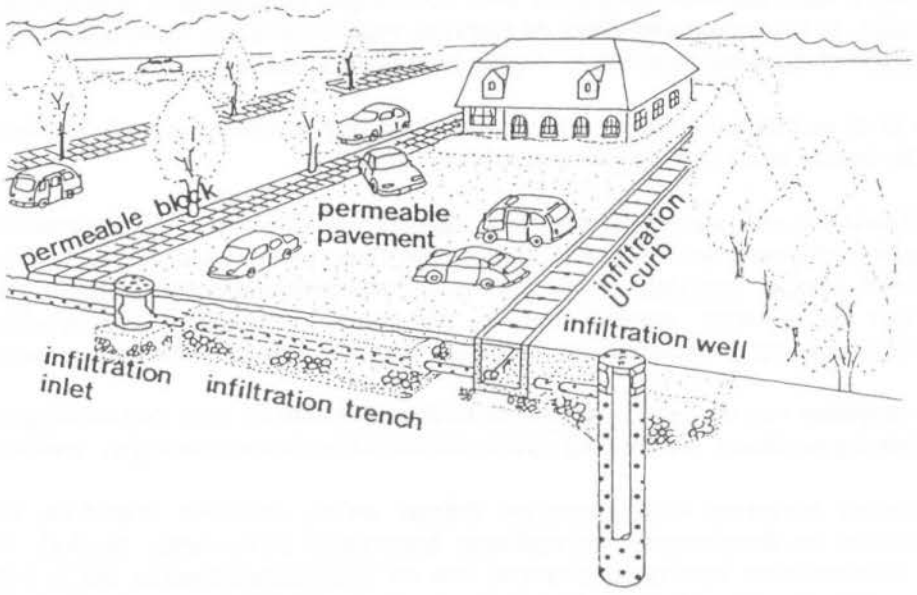
Infiltratie van regenwater werd in het verleden hoofdzakelijk toegepast in het geval dat de verharding niet in de buurt lag van een bestaande riolering maar wel op of nabij goed doorlatende gronden.
Ook in Nederland werd deze techniek toegepast voor autowegen en afgelegen bebouwing, zij het zeer sporadisch. In het buitenland werd de techniek meer toegepast, maar omdat het hier geen systematisch afkoppelen betrof is er weinig over vastgelegd.

De laatste jaren is er in een aantal landen ervaring opgedaan met systematisch afkoppelen. In Japan worden de laatste jaren veel infiltratiesystemen aangelegd.

In Tokio is bijvoorbeeld een nieuwe rioolstelsel, het zogenaamde ESS-stelsel (Experimental Sewer System), geïntroduceerd om de snelle afvoer van regenwater naar de rivieren te verminderen. Tijdens hevige neerslag traden er vaak overstromingen op, omdat de afvoercapaciteit van de rivieren waarop het in gemengde rioolstelsels verzamelde regenwater bij hevige neerslag overstortte, onvoldoende was. Dit leverde elke keer schade en hinder op.
In plaats van het vergroten van de capaciteit van de rivieren is gekozen voor het aanleggen van een nieuw rioleringssysteem waarbij op grote schaal infiltratievoorzieningen worden toegepast.
Uitgevoerde technieken omvatten infiltratieputten (inlets, wells), -sleuven (trenches, U-curbs), bassins (ponds) en doorlatende verhardingen (permeabel pavements, blocks). In figuur 5.4 is een schematische weergave gegeven van de infiltratietechnieken die in het ESS worden toegepast. In figuur 5.5 is het ESS weergegeven zoals dat in de stad Amagasaki wordt toegepast.



Figuur 5.4 Infiltratietechnieken in het Japanse ESS-systeem (bron: [11]).



Figuur 5.5 ESS-systeem in Amagasaki [11]

Metingen hebben aangetoond dat door de toepassing van infiltratie de piekafvoeren met 60% zijn afgenomen en het totale volume met 50% in vergelijking met het conventionele gemengde rioolstelsel. Uit simulatieberekeningen met gegevens uit 1975 blijkt dat het aantal overstortingen terug gebracht kan worden van 36 naar 7 door toepassing van infiltratietechnieken, waarbij de totale BZV-vracht gereduceerd wordt met 45% [22].
Een proefproject in Akishima Tsutsujigoaka Heights, waarbij een wijk met een ESS-systeem vergeleken werd met de ernaast gelegen wijk waar een traditioneel ontwateringssysteem toegepast was, toonde eveneens aan dat gebruik van infiltratievoorzieningen zowel de piekafvoeren als de totale afvoer van het oppervlaktewater sterk reduceert [23].

6 Ontwerptechnische aspecten

6.1 Inleiding

In veel landen bestaat een lange traditie in de toepassing van infiltratievoorzieningen. Oorspronkelijk werden dergelijke voorzieningen aangelegd indien aansluiting van verharde oppervlakken op een rioolstelsel of waterloop in de omgeving niet te realiseren was. Het op verharde oppervlakken terecht gekomen regenwater werd afgevoerd naar met stenen gevulde ondergrondse putten of bedden. Het ontwerp van deze voorzieningen werd hoofdzakelijk geschat op basis van ervaring en kennis welke niet waren vastgelegd in richtlijnen.

Het beleid inzake de afvoer van regenwater in stedelijk gebied in steeds meer landen tendeert in de richting van brongerichte maatregelen, waardoor infiltratietechnieken meer en meer toegepast worden.

In de loop der jaren zijn vele ontwerpmethoden ontwikkeld om een infiltratievoorziening zo economisch mogelijk aan te leggen. Deze ontwerpmethoden verschillen van land tot land, het basisprincipe blijft echter gelijk. De werking van een infiltratievoorziening berust op berging, gecombineerd met infiltratie van water vanuit de voorziening in de omliggende bodem. In de uitgangspunten die gehanteerd worden, zitten echter wel verschillen.

6.2 Ontwerpmethoden

Nederlandse methode

De Nederlandse methode is ontwikkeld door de NWRW [14]. De methode is geschikt voor de berekening van verschillende soorten infiltratievoorzieningen. Hierbij valt te denken aan infiltratievelden, -sleuven en -bassins. Om een goede vergelijking met andere ontwerpmethoden mogelijk te maken is in de hiernavolgende beschrijving uitgegaan van de berekening van een infiltratiesleuf. Dit betekent dat bepaalde delen van de oorspronkelijke berekening komen te vervallen, daar deze niet van toepassing zijn op een infiltratiesleuf. De ontwerpstappen worden hieronder beschreven.

1 Bereken het op de voorziening aangesloten verharde oppervlak A_a (m^2). Het regenwater dat op dit oppervlak valt wordt door middel van kolken en regenwaterleidingen naar de infiltratievoorziening geleid. Voor de afvloeiingscoëfficiënt wordt dan ook 1 genomen. Zou het water via het oppervlak naar de infiltratievoorziening stromen dan kan met behulp van een formule de hoeveelheid water berekend worden die onderweg 'verloren' gaat aan oppervlakte-infiltratie. Dit aspect is in het onderhavige geval niet van toepassing.

2 Schat de afmetingen van de voorziening. Vaak worden de afmetingen bepaald door de beschikbare ruimte en de ter plaatse heersende grondwaterstand. De grondwaterstand is voor het infiltreren op zich geen probleem; er gaat echter berging verloren wanneer de voorziening voor een deel beneden de grondwaterstand is gelegen.

3 Bereken het effectief doorlatend wandoppervlak:

$A_e = (b + l) * h$

waarin: A_e = effectief doorlatend wandoppervlak (m^2)
b = breedte van de infiltratiesleuf (m)
l = lengte van de infiltratiesleuf (m)
h = hoogte van de infiltratiesleuf (m)

Hieruit blijkt dat bij deze methode de helft van het totale wandoppervlak als effectief doorlatend wordt gerekend. De gedachte hierachter is dat door vullen en ledigen van het reservoir per saldo slechts de helft van het wandoppervlak beschikbaar is voor infiltratie. De bodem van de voorziening wordt niet meegeteld bij het effectieve wandoppervlak, omdat de kans groot is dat deze op den duur dicht zal slibben.

4 De specifieke ontwerpafvoer kan nu berekend worden:

$q_s = (K_b * A_e) / A_s$

waarin: q_s = infiltratiecapaciteit ($m^3/s\ km^2$)
K_b = berekeningsdoorlatendheid ($m^3/s\ km^2$)
= $c * K_w$
K_w = werkelijke doorlatendheid ($m^3/s\ km^2$)
c = 0,3 als K_w door schatting bekend is
= 0,5 als K_w door meting bekend is

De specifieke ontwerpafvoer wordt ook wel eens vermeld als infiltratiecapaciteit. Het is een waarde voor de totale hoeveelheid water die per tijdseenheid door de voorziening in de ondergrond geïnfiltreerd wordt.

5 De voorziening wordt berekend op een maatgevende bui. De herhalingstijd van de betreffende bui moet worden vastgesteld, omdat deze direct van invloed is op de afmetingen van de voorziening. De aannames die gedaan worden verschillen per ontwerpmethode. Voor de Nederlandse methode is men uitgegaan van een maatgevende bui met een herhalingstijd van eens in de twee jaar (T = 2).

6 Lees de berging af uit de grafiek (figuur 6.1) en bepaal het benodigde volume voor het reservoir:

$V_b = d * A_s$

waarin: V_b = benodigd volume (m^3)
d = hoeveelheid neerslag (m)
De berging wordt uitgedrukt in regenhoogte over het gehele oppervlak.

7 Bereken het waterbergend vermogen van de geschatte voorziening:

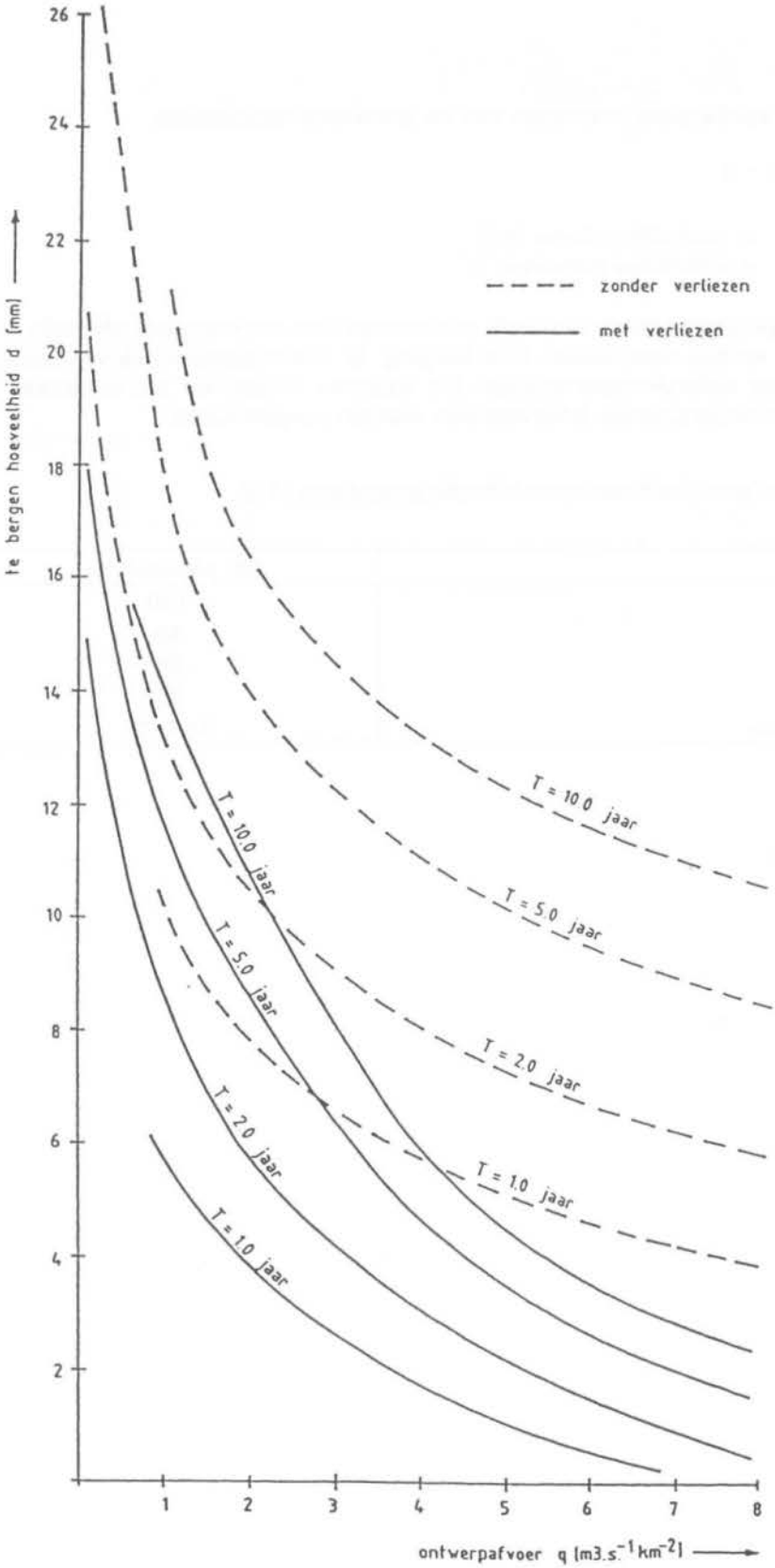
$V_w = e * b * l * h$

waarin: V_w = werkelijk volume (m^3)
e = effectieve porositeit (-)

De effectieve porositeit geeft aan welk percentage van het materiaal als holle ruimte aanwezig is en dus beschikbaar voor berging. Er wordt daarom ook wel eens gesproken van het holleruimtepercentage. De waarden verschillen per materiaal. Als richtlijn kunnen onderstaande tabelwaarden worden aangehouden.

Tabel 6.1 Effectieve porositeit van verschillende granulaten [14]

Aggregaat	Eff. porositeit (%)
Lucht (bassin)	100
Grof grind	40
Fijn grind	30
Zand	25
Ongesorteerd natuursteen	15 - 25



Figuur 6.1 Bergings - ontwerp afvoerlijnen [14].

8 Vergelijk V_b met V_w

Als :
$V_b = V_w$ dan heeft de voorziening de juiste afmetingen
$V_b > V_w$ dan moet de voorziening groter worden
$V_b < V_w$ dan moet de voorziening kleiner worden

Zijn de juiste afmetingen nog niet gevonden, dan dienen de aannames bij stap twee aangepast te worden. Door het berekeningsschema opnieuw te doorlopen, kan het optimale ontwerp worden gevonden.

Japanse methode
De Japanse berekening begint met het bepalen van de infiltratiecapaciteit van de voorziening. Hierbij wordt rekening gehouden met verschillende aspecten, zoals het gevaar voor dichtslibben en een variabele grondwaterstand. Met behulp van deze waarde kan vervolgens de hoeveelheid water bepaald worden die reeds infiltreert gedurende de regenperiode. De methode gaat er van uit dat breedte en hoogte van de voorziening bekend zijn. Aan de hand hiervan kan de beschikbare berging worden bepaald. Uit voorgaande gegevens kan tenslotte de benodigde lengte van de voorziening worden bepaald. Hieronder volgen de ontwerpstappen in formulevorm:

1 $f_c = C * Y * (1-D) * (1-E) * I_r$

waarin:
f_c = infiltratiecapaciteit ($m^3/hr.m^2.m$)
C = veiligheidsfactor (0.8)
D = neerslageffect (zie toelichting 1)
E = grondwaterinvloed (zie toelichting 2)
Y = dichtslibreductie (zie toelichting 3)
I_r = doorlatendheid van de omringende grond aan het einde van de levensduur van de voorziening (= ± 0.7 $m^3/hr.m^2.m$)

Toelichting

1 Effect van neerslag (D):

Volgens het Japanse model is uit experimenten gebleken dat de infiltratiecapaciteit tijdens een regenperiode daalt met 5 à 10% ten opzichte van een droge periode. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door verzadiging van de grond rond de infiltratievoorziening. Voor de berekening wordt een reductiefactor aangehouden van 10%.

2 Invloed van de grondwaterstand (E):

De grondwaterspiegel beïnvloedt, volgens het Japanse model, eveneens de infiltratiecapaciteit. Stijgt de grondwaterstand tot binnen één meter van de onderkant van de infiltratievoorziening, dan dient een reductiefactor toegepast te worden. Deze factor kan op de volgende manier bepaald worden:

$E = 0.47 - 0.47 * X$

waarin: E = reductiefactor grondwaterspiegel (-)

X = afstand tussen grondwaterspiegel en onderkant van de infiltratievoorziening (m) (0 m < x < 1.0 m)

In tabel 6.2 is de reductiefactor voor een aantal waarden van x gegeven.

Tabel 6.2 Reductiefactor E in relatie tot de grondwaterstand onder de infiltratievoorziening (0 < x < 1 m)

Afstand x (m)	Reductie E	Afstand x (m)	Reductie E
0.05	0.45	0.55	0.21
0.10	0.42	0.60	0.19
0.15	0.40	0.65	0.16
0.20	0.38	0.70	0.14
0.25	0.35	0.75	0.12
0.30	0.33	0.80	0.09
0.35	0.31	0.85	0.07
0.40	0.28	0.90	0.05
0.45	0.26	0.95	0.02
0.50	0.24	1.00	0.00

3 Reductie ten gevolge van dichtslibben (Y):

Het effect van dichtslibben hangt grotendeels af van de levensduur van de infiltratievoorziening, de oorspronkelijke dichtheid van de voorzieningen en de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal dat aangevoerd wordt met het afstromende regenwater. Voorzieningen die getroffen zijn om slib te verwijderen uit het aangevoerde water, zoals filters en zandvangers in kolken, kunnen niet voorkomen dat toch kleine deeltjes de infiltratievoorziening binnendringen. Om deze reden is het nodig een reductiefactor toe te passen. Deze factor kan op de volgende manier berekend worden:

$$Y = e^{(-0.015 * x)}$$

waarin: Y = reductiefactor (-)
x = volume van het slib (kg/m3)

Berekening x:

$$x = S_o * (A_f/L) * R_o * T$$

waarin: S_o = dichtheid slib (kg/m^3)
R_o = totale neerslag (m/jaar)
A_f/L = aangesloten oppervlak (m^2/m)
T = levensduur (jaren)

De dichtheid van het slib is niet altijd bekend. In tabel 6.3 wordt een indicatie van deze dichtheid gegeven. De gegevens komen voort uit een Japans onderzoek waarbij 69800 m^3 afstromend regenwater is bemonsterd.

Tabel 6.3 Gemeten volume slib in afstromend regenwater (Japans onderzoek)

Volume slib in afvloeiend regenwater (kg/m^3)			
Wegen	**Onverhard terrein**	**Daken**	**Totaal**
0.027	0.017	0.031	0.075

Voor deze waarde van het volume van slib en een aanname omtrent de gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland (± 800 mm) kan een tabel samengesteld worden met de reductiefactor Y (tabel 6.4).

Tabel 6.4 Reductiefactor Y (S_o = 0.075 kg/m^3 ; R_o = 0.8 m)

Aangesloten oppervlak (m^2/m)	Levensduur (T) in jaren				
	1	5	10	20	30
15	0.99	0.93	0.87	0.76	0.67
25	0.98	0.89	0.80	0.64	0.51
35	0.97	0.85	0.73	0.53	0.39
45	0.96	0.82	0.67	0.44	0.30
55	0.95	0.78	0.61	0.37	0.23

2 $q_i = f_c * H * A$

waarin:
- q_i = geïnfiltreerd volume (m^3/h.m)
- f_c = infiltratiecapaciteit (m^3/h.m^2.m)
- H = waterdiepte in voorziening (m)
- A = bodemoppervlak (m^2)

3 $q_b = (b * h - S_1) * n + S_2$

waarin:
- q_b = bergend vermogen (m^3/m)
- b = breedte voorziening (m)
- h = hoogte voorziening (m)
- n = holleruimtepercentage (%)
- S_1 = buitenoppervlak buis (m^2)
- S_2 = binnenoppervlak buis (m^2)

4 $Q = C * I * A$

waarin:
- Q = aangevoerde hoeveelheid water (m^3/h)
- C = afvloeiingscoëfficiënt (-)
- I = regenintensiteit (m/h)
- A = aangesloten verhard oppervlak (m^2)

In tabel 6.5 is de afvloeiingscoëfficiënt gegeven voor een aantal oppervlakken.

Tabel 6.5 Standaard afvloeiingscoëfficiënten voor verharde en onverharde oppervlakken

Soort oppervlak	Afvloeiingscoëfficient
Daken	0.85 - 0.95
Wegen	0.80 - 0.90
Overige ondoorlatende oppervlakken	0.75 - 0.85
Wateroppervlak	1
Onbegroeid terrein	0.10 - 0.30
Terrein met gras en bomen	0.05 - 0.25
Licht hellend terrein	0.20 - 0.40
Sterk hellend terrein	0.40 - 0.60

5 $l_v = Q / (q_b + q_i)$

waarin:
- l_v = lengte van de voorziening (m)
- Q = aangevoerde hoeveelheid water (m^3/h)
- q_b = berging in de voorziening (m^3/m)
- q_i = geïnfiltreerd volume ($m^3/m.h$)

Hiermee is dan de benodigde lengte van de infiltratievoorziening bepaald. In plaats van de lengte kunnen ook de hoogte of breedte als variabelen worden gekozen. Blijkt na de berekening dat er niet voldoende ruimte is voor de voorziening, dan zal de berekening herhaald moeten worden met andere afmetingen. Deze procedure dient herhaald te worden totdat afmetingen gevonden zijn die wel voldoen.

Deense methode

De Deense methode maakt gebruik van twee variabelen. Het betreft hier de infiltratiecapaciteit en het bergend volume van de infiltratievoorziening. In een grafiek kan afgelezen worden of aan de eis van de gewenste herhalingstijd tegemoet wordt gekomen. Is dat het geval, dan zijn de juiste afmetingen van de voorziening gekozen. Is de herhalingstijd te groot of te klein, dan dienen de afmetingen aangepast te worden. Hieronder zijn de beide variabelen in formulevorm weergegeven.

1 $V_r = (l * b * h * \Phi) / A_{red}$

waarin:
- l = lengte van de voorziening (m)
- b = breedte van de voorziening (m)
- h = hoogte van de voorziening (m)
- Φ = holle ruimte percentage (-)
- A_{red} = gereduceerd afwaterend opp. (m^2)
  = $\lambda * A_v$

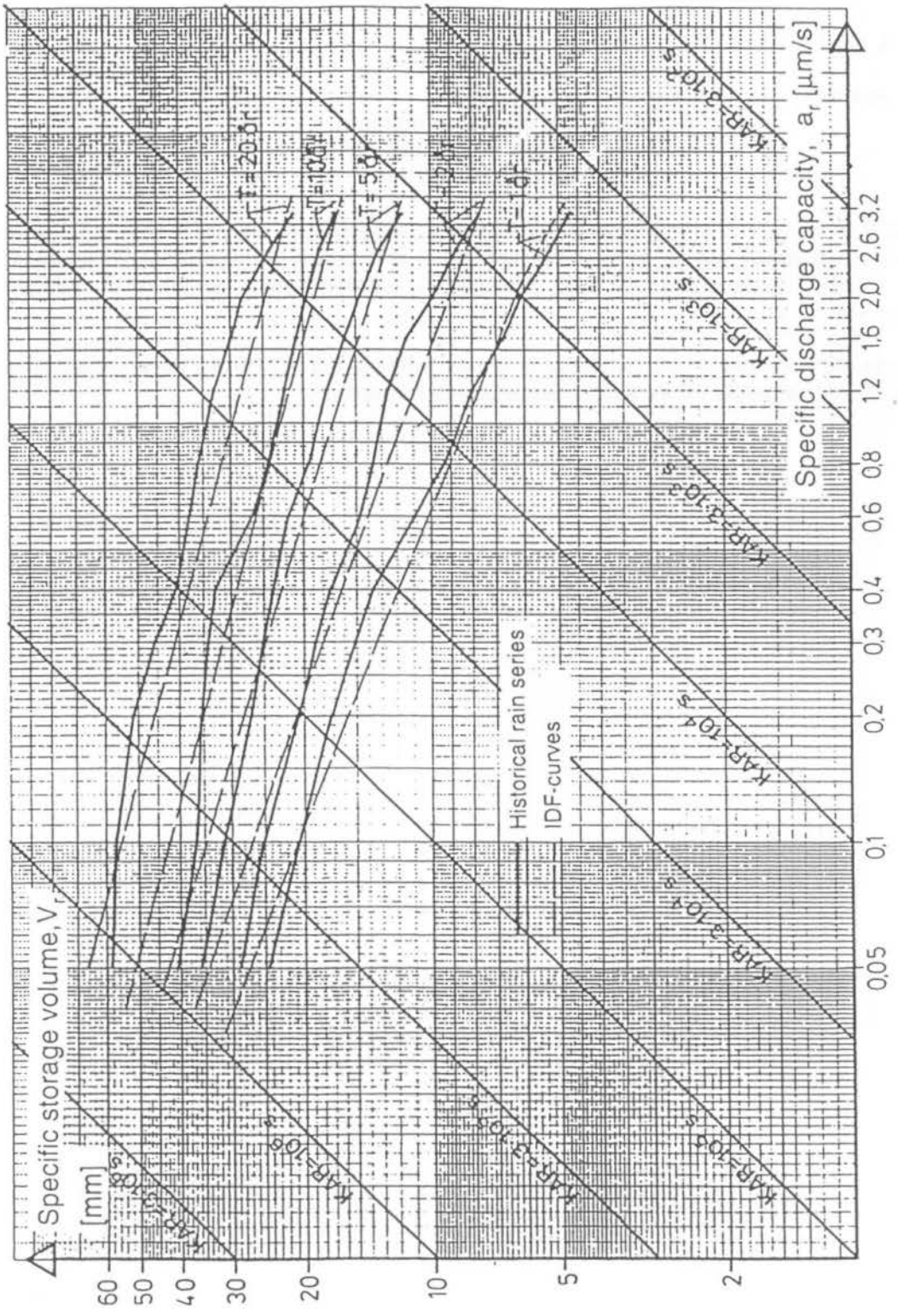
waarin:
- A_v = totaal afwaterend opp. (m^2)
- λ = afvloeiingscoëfficiënt (-)

2 $a_r = (K * l * h) / A_{red}$

waarin:
- a_r = infiltratiecapaciteit (m/s)
- K = doorlatendheid van de grond (m/s)
- l = lengte van de voorziening (m)
- h = hoogte van de voorziening (m)

In figuur 6.2 is de grafiek weergegeven waarin afgelezen kan worden of de gewenste herhalingstijd gehaald wordt. Is dat niet het geval dan zullen de afmetingen aangepast moeten worden. Deze procedure dient herhaald te worden totdat de juiste afmetingen gevonden zijn.

De Deense methode geeft ook een formule om de ledigingstijd (KAR) van de voorziening te bepalen. Deze is afgeleid uit de twee bovenstaande formules.



Figuur 6.2 Bergings - ontwerp afvoerlijnen [24]

3 $KAR = V_r / a_r \Rightarrow KAR = (b * \Phi) / K$

waarin: KAR = ledigingstijd (s)
b = breedte voorziening (m)
Φ = effectieve porositeit (-)
K = doorlatendheid van de grond (m/s)

De grafiek die bij de Deense methode gebruikt wordt, is in principe dezelfde als die van de nederlandse methode. Hieruit blijkt dat de overeenkomst tussen de nederlandse en Deense buien groot is. Het verschil is dat de Deense grafiek op logaritmisch papier is uitgezet, waardoor de buien als een rechte lijn voorgesteld worden.

Engelse methode
Het Engelse model berekent de hoeveelheid aangevoerd regenwater en de hoeveelheid water die tijdens de regenbui infiltreert in de ondergrond. Het verschil tussen deze twee waarden is de berging die in de grond benodigd is. Hieruit kan tenslotte de lengte van de voorziening berekend worden. In formulevorm ziet dit er als volgt uit:

1 $S = I - O$

waarin: S = berging in de voorziening (m^3)
I = hoeveelheid afstromend regenwater (m^3)
O = infiltratievolume tijdens regenbui (m^3)

2 $I = A * R$

waarin: A = aangesloten verhard oppervlak (m^2)
R = totale regenintensiteit (T=10) (m)

In tabel 6.5 is de regenintensiteit R gegeven voor verschillende buiduren.

Tabel 6.5 Gecumuleerde neerslaghoeveelheid van een bui met een gemiddelde herhalingstijd van 10 jaar, geldig voor de nederlandse situatie

Buiduur D (min)	10	15	30	60	120	240
Neerslag R (mm)	15	18	23	27	32	37

3 $O = a_{s\,50} * f * D$

waarin: $a_{s\,50}$ = 50% van het wandoppervlak (m^2)
f = doorlatendheid grond (m/s)
D = tijdsduur van de bui (s)

4 De doorlatendheid van de grond (f), wordt bij de Engelse methode via praktijkmetingen bepaald. Uitgangspunt is een proefvoorziening met afmetingen van tussen de 0,3 m en 1 m breed en 1 tot 3 m lang. De diepte dient gelijk te zijn aan die van de uiteindelijke voorziening. Aanvuiling met granulair materiaal is in principe alleen noodzakelijk, indien de grond niet voldoende stabiliteit bezit. In dat geval dient tevens een peilbuis geplaatst te worden om het verloop van de waterstand in de voorziening waar te nemen.

De proefvoorziening dient tot drie maal toe aangevuld te worden, telkens nadat de inhoud geïnfiltreerd is in de ondergrond. De doorlatendheid van de grond kan via de volgende formule bepaald worden.

$$f = V_{p75\text{-}25} / (a_{p50} * t_{p75\text{-}25})$$

waarin:
- $V_{p75\text{-}25}$ = berging tussen 25% en 75% vulling (m^3)
- a_{p50} = infiltratieopp. van de proefvoorziening (m^2)
  = 50% wandoppervlak + bodemoppervlak
- $t_{p75\text{-}25}$ = tijdsduur tussen 75% en 25% vulling (s)

Uiteindelijk kan de basisformule (1) ingevuld worden. Hieruit volgt dan de benodigde lengte van de infiltratievoorziening. Deze geldt echter alleen voor een bui van 10 minuten en een vastgestelde herhalingstijd van eens in de tien jaar. Voor bepaling van de maximale waarde van de hoeveelheid afstromend regenwater dient de berekening herhaald te worden voor verschillende buiduren.

6.3 Ontwerpuitgangspunten

Het blijkt dat de verschillende ontwerpmethoden allen uitgaan van hetzelfde basisprincipe. De werking van een infiltratievoorziening berust in alle gevallen op berging en infiltratie in de ondergrond. Desondanks worden door de verschillende methoden andere uitgangspunten gehanteerd ten aanzien van de maatgevende bui, het effectief infiltrerend oppervlak, de afvloeiingscoëfficiënt, de doorlatendheid van de grond en de berekeningsintensiteit.

Effectief infiltrerend oppervlak
Het oppervlak waardoor regenwater infiltreert in de ondergrond, varieert tussen zeer klein bij aanvang van de bui en maximaal tijdens volledige vulling van de voorziening. De werkelijke grootte van het effectief infiltrerend oppervlak is van belang voor het bepalen van de benodigde berging in de voorziening. Deze kan namelijk kleiner zijn naarmate het effectief oppervlak toeneemt.

Alle ontwerpmodellen, met uitzondering van het Japanse, gaan ervan uit dat de bodem van een infiltratievoorziening in de loop der jaren dichtslibt. Het Japanse model gaat er juist van uit dat alleen infiltratie via de bodem plaatsvindt. Bij dit model wordt echter wel een reductie toegepast ten gevolge van het intreden van zand en andere kleine deeltjes in de voorziening.

De overige methoden veronderstellen dat infiltratie alleen plaatsvindt via de wanden van de voorziening. Het Nederlandse en Engelse model rekenen met de helft van het totale wandoppervlak. Het Deense model gaat ervan uit dat infiltratie alleen via de zijwanden plaatsvindt en niet via de kopse kanten van de infiltratiesleuf.

Deze drie modellen doen hun aannames op grond van het feit dat door vullen en ledigen van de voorziening per saldo slechts de helft van het absolute wandoppervlak beschikbaar is voor infiltratie.

Afvloeiingscoëfficiënt
De afvloeiingscoëfficiënt is een reductiefactor voor de totale hoeveelheid neerslag die valt op het op de voorziening aangesloten verharde oppervlak. De mogelijkheid bestaat dat een deel van de neerslag de infiltratievoorziening niet bereikt. Dit kan gebeuren door bevochtiging van het oppervlak bij aanvang van een bui, plasvorming, infiltratie in aansluitende plantsoenen of spatverliezen ten gevolge van verkeer.

De Nederlandse en Engelse methode houden geen rekening met deze factoren. Er wordt vanuit gegaan dat al het regenwater afgevoerd wordt naar de infiltratievoorziening. Dit betekent een extra veiligheid in de berekening.

Het Japanse en Deense model passen wel een afvloeiingscoëfficiënt toe. Het betreft hier een variabele coëfficiënt welke door de ontwerper zelf gekozen kan worden. De grootte van de factor zal afhankelijk zijn van het soort oppervlak, de verkeersintensiteit, etc.

Doorlatendheid van de grond
Het bepalen van een juiste waarde voor de doorlatendheid van de grond rond de infiltratievoorziening is van groot belang voor de berekening. De doorlatendheid kan bepaald worden door het vaststellen van de grondsoort ter plaatse van de voorziening, waarna uit tabellen een waarde afgelezen kan worden. Een onzekerheid zit in het feit dat het grondmonster mogelijk niet representatief is voor het gehele grondpakket waarin de voorziening gelegen is. Verder kan de praktische waarde verschillen van de theoretische, doordat het monster vaak bestaat uit een mengsel van grondsoorten en dus een exacte waarde moeilijk te bepalen is. Een tweede methode is het proefondervindelijk vaststellen van de doorlatendheid van de grond. Er wordt een proefgat gegraven dat met water gevuld wordt en vervolgens wordt de tijd van ledigen opgemeten. Ook hier is het de vraag of de vastgestelde waarde representatief is voor de gehele voorziening. Een voordeel is wel dat ter plaatse van de proefneming de exacte waarde wordt benaderd.

De Nederlandse methode heeft beide mogelijkheden. Is de doorlatendheid bekend door schatting, dan dient voor de veiligheid een reductiefactor van 0,3 toegepast te worden. Is de waarde bekend door meting dan hoeft slechts een reductie aangehouden te worden van 0,5. Dit laatste geeft al aan dat de praktische meting meer zekerheid levert omtrent de werkelijke waarde van de doorlatendheid.

De Deense en Japanse methode gebruiken beide de theoretische k-waarde zonder gebruik te maken van enige reductiefactor. Bij de keuze van de doorlatendheid kan deze natuurlijk wel aan de veilige kant gekozen worden waardoor toch een zekere mate van veiligheid aanwezig is.

De Engelse methode geeft voorschriften omtrent het proefondervindelijk vaststellen van de doorlatendheid. De voorschriften zijn gegeven in de beschrijving van het model. Uiteraard kan voor de doorlatendheid ook een theoretische waarde ingevoerd worden.

Berekeningsintensiteit
De berekeningsintensiteit is direct van belang voor de afmetingen van de infiltratievoorziening. De ontwerpmethoden hanteren ieder verschillende uitgangspunten ten aanzien van de berekeningsintensiteit.

Het Nederlandse en Deense model gaan uit van een maatgevende bui met een herhalingstijd van twee jaar. Dit betekent theoretisch dat de infiltratievoorziening eens in de twee jaar het aangevoerde water niet kan verwerken en dat de overstort in werking zal treden. Is geen overstort aangebracht, dan zal zich een water-op-straat situatie voordoen.

De Engelse methode maakt gebruik van hetzelfde principe; alleen heeft de maatgevende bui een herhalingstijd van tien jaar. Dit levert dus een veel hogere intensiteit, waardoor de afmetingen van de voorziening ook sterk toenemen.

De Japanse methode maakt gebruik van een constante regenintensiteit welke door de ontwerper gekozen kan worden. Er wordt dus geen rekening gehouden met het werkelijke verloop van een bui, in tegenstelling tot de andere methoden.

6.4 Samenvatting

De werking van infiltratievoorzieningen berust op berging en infiltratie. Deze aspecten vormen dan ook de basis van de verschillende ontwerpmethoden. Er worden wel verschillende uitgangspunten gehanteerd, die hieronder nog eens overzichtelijk zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 6.6 Vergelijking van uitgangspunten van de verschillende ontwerpmethoden

Uitgangspunt	Nederlands	Japans	Deens	Engels
Infiltratie via zijwand	1/2	0	< 1/2	1/2
Infiltratie via bodem	0	1	0	0
Afvloeiingscoëfficiënt	1	var.	var.	1
Doorlatendheid bodem	0.3 à 0.5*K	theorie	theorie	praktijk
Bui intensiteit	T = 2	var.	T = 2	T = 10

Het is gebleken dat in de vier ontwerpmethoden verschillende symbolen gebruikt worden voor dezelfde grootheid. Om een betere vergelijking van de verschillende methoden mogelijk te maken zijn in tabel 5.7 de grootheden weergegeven met daarachter voor elke rekenmethode het betreffende symbool. Het kan voorkomen dat een symbool als zodanig niet in de tabel vermeld wordt terwijl de grootheid wel benodigd is in de berekening. Zo worden bij de Engelse methode geen symbolen vermeld voor hoogte en breedte van de voorziening, terwijl de waarden echter wel benodigd zijn voor de berekening van de berging in de voorziening.

In de tabel is verder met een kruisje aangegeven welke waarden als invoer voor de berekening benodigd zijn. De symbolen waarachter geen kruisje vermeld is, kunnen afgeleid worden uit de ingevoerde gegevens. Op deze manier is eenvoudig te zien welke methode het best toegepast kan worden bij beschikbaarheid van bepaalde specifieke gegevens. In het geval dat gebruik wordt gemaakt van een methode waarvan niet alle gegevens beschikbaar zijn, kunnen voor de ontbrekende waarden aannames gedaan worden.

Tabel 6.7 Overzicht van grootheden en symbolen van de ontwerpmethoden

Grootheid	Nederlands		Japans		Deens		Engels	
Verhard oppervlak	A_e	*	A_f	*	A_v	*	A	*
Neerslaghoogte	d		R_o	*	--		R	*
Neerslagintensiteit	--	*	I		--	*	--	
Tijdsduur bui	--		--		--		D	*
Afvloeiingscoëfficiënt	--		C	*	λ	*	--	
Debiet van oppervlak	V_b		Q		--		I	*
Lengte voorziening	l	*	l_v		l	*	L	
Breedte voorziening	b	*	b	*	b	*	--	*
Hoogte voorziening	h	*	h	*	h	*	--	*
Peil in voorziening	--		H	*	--		--	
Bodemoppervlak	--		A		--		--	
Effectieve porositeit	e	*	n	*	Φ	*	--	*
Bergend volume	V_w		q_b		--		S	
Effectief wandoppervlak	A_e		--		--		a_s	
Doorlatendheid	K_b	*	l_r	*	K	*	f	*
Infiltratie capaciteit	q_s		f_c		a_r		--	
Geïnfiltreerd volume	--		q_i		--		O	
Dichtheid slib	--		S_o	*	--		--	
Levensduur voorziening	--		T	*	--		--	

6.5 Conclusies

De vergelijking van de verschillende ontwerpmethoden geeft als opmerkelijkste verschil de complexiteit van de Japanse methode ten opzichte van de overige methoden. Dit zou voort kunnen vloeien uit de jarenlange ervaring die er in Japan is opgedaan op het gebied van infiltratievoorzieningen.

De Nederlandse methode maakt als enige, bij het doorlopen van de berekening, een onderscheid tussen verschillende soorten voorzieningen. Hierbij valt te denken aan infiltratievelden, -sleuven en -bassins. De in dit rapport beschouwde ontwerpmethode heeft betrekking op het berekenen van een infiltratiesleuf.

De grafiek die bij de Deense methode wordt gebruikt gaat uit van Deense regenbuien. Voor toepassing van het model in de nederlandse situatie kan gebruik worden gemaakt van de grafiek uit het NWRW-model. Deze grafiek heeft betrekking op buien zoals deze in de nederlandse situatie voorkomen. Ook voor de berekening volgens de Japanse en Engelse methode dient van Nederlandse gegevens gebruik gemaakt te worden.

Voor een goede beoordeling van de verschillende ontwerpmethoden voor de nederlandse situatie biedt een praktijktoets uitkomst. Alle modellen zijn namelijk gestoeld op, overigens zorgvuldig gekozen, aannames die onderling nogal verschillen. Hierdoor is moeilijk aan te geven welk model het meest geëigend is voor de nederlandse omstandigheden.

Referentielijst

[1] Woningbouw en integraal waterbeheer
G.D. Geldof, Tauw Civiel en Bouw bv
Deventer, maart 1993

[2] Duurzaam bouwen en grondexploitatie
Tauw Civiel en Bouw bv
Deventer, augustus 1993

[3] Assessment of Combined Sewer Overflow Reduction Techniques
M. Bruun, T. Kristiansen, F.H.M. van de Ven, P. Jacobsen
Proceedings of NOVATECH 92, pp. 375-384
Lyon, Frankrijk, november 3-5, 1992

[4] Urban Stormwater Infiltration Perspectives
G. Geldof, P. Jacobsen, S. Fujita
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 963-968.
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[5] Stormwater Infiltration as a Part of an Environmentally Compatible Drainage Concept
R. Adams
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 975-980
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[6] Ontario Stormwater Quality Best Management Practices (BMP) Planning and Design Manual
J.C. P'ng, G.J. Bryant, D.J. Andrews
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 1055-1061
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[7] Basic Study on the Prospective Effect of On-site Stormwater Control
H. Yokoyama, H. Matsui
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 1062-1067
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[8] Derde Nota Waterhuishouding 'Water voor nu en later'
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Den Haag, 1989

[9] Administrative Aspects of Stormwater Infiltration in Switzerland
V. Krejci

Proceedings of the Second European Junior Scientist Workshop 'Hydrological and Pollutional Aspects of Stormwater Infiltration', pp. 37-48
Kastanienbaum, Zwitserland, april 4-7, 1991

[10] Administrative Aspects of Stormwater Infiltration in Switzerland
V. Krejci, P. Haldimann, M. Grottker
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 999-1004
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[11] Infiltration Facilities in Tokyo: their Purpose and Practice
S. Fujita
Proceedings of the Fifth European Junior Scientist Course 'Urban Stormwater Infiltration', pp. 179-191
Klintholm Havn, Møn, Denemarken, oktober 1-4, 1992

[12] A New UK Approach for the Design of Sub-surface Infiltration Systems
C.J. Pratt, J.J.M. Powell
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 987-992
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[13] Manual on Infiltration Methods for Stormwater Source Control
J. Payne, A. Davies
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 981-986
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[14] Afkoppeltechnieken voor verharde oppervlakken, Rapport nr. NWRW 7.2.2
Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Den Haag, februari 1989

[15] Urban Stormwater Infiltration Design Practice and Technology:
State of the Art Assessment
C.R. Petersen, T. Faarbaek, G.H. Jensen, G. Weyer, S. Fujita, K. Ishikawa, G. Geldof, C. Stenmark, C.J. Pratt
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 969-974
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[16] Rioleringen en integraal waterbeheer; infiltratievoorzieningen in stedelijke gebieden
J.J. Poppen, DSBV ingenieurs en architecten bv
Rotterdam, maart 1992

[17] How the Urban Situation affects Groundwater Quality around Constructions in Göteborg
M. Arebäck
Proceedings of the Fifth European Junior Scientist Course 'Urban Stormwater Infiltration', pp. 167-169

Klintholm Havn, Møn, Denemarken, oktober 1-4, 1992

[18] Pollution from Urban Stormwater Infiltration
P.S. Mikkelsen, G. Weyer, C. Berry, Y. Walden, V. Colandini, S. Poulsen, D. Grotehusmann, R. Rohlfing
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 1187-1194
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[19] De kwaliteit van afstromend regenwater, Rapport nr. NWRW 7.2.1
Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Den Haag, februari 1989

[20] Roof Runoff Pollution
J. Förster
Proceedings of the Second European Junior Scientist Workshop 'Hydrological and Pollutional Aspects of Stormwater Infiltration', pp. 145-158
Kastanienbaum, Zwitserland, april 4-7, 1991

[21] Afkoppelen van verhard oppervlak en infiltreren van regenwater in de bodem in de gemeente Eindhoven, Haalbaarheidsstudie
A.C.W. Lambrechts, G.D. Geldof, A.F. Hofmeijer, Tauw Civiel en Bouw bv
Deventer, december, 1993

[22] Pollution Abatement in the Experimental Sewer System
S. Fujita, T. Koyama
Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage
Osaka, Japan, 1990

[23] Evaluation of Basin Scale Effects of Infiltration Systems
S. Herath, K. Musiake, S. Hironaka
Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 1181-1186
Niagara Falls, Canada, september 12-17, 1993

[24] Stormwater Infiltration Design based on Rainfall Statistics and Soil Hydraulics
P.S. Mikkelsen
Proceedings of the Fifth European Junior Scientist Course 'Urban Stormwater Infiltration', pp. 11-15
Klintholm Havn, Møn, Denemarken, oktober 1-4, 1992

[25] Stormwater Infiltration in the Netherlands
G.D. Geldof
Proceedings of the Second European Junior Scientist Workshop 'Hydrological and Pollutional Aspects of Stormwater Infiltration', pp. 11-20
Kastanienbaum, Zwitserland, april 4-7, 1991

[26] Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid,
Deelrapport II: Infiltratievoorziening Geren

Tauw Deventer, 1999

[27] Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid,
Deelrapport III: Infiltratievoorziening Schellerhoek
Tauw Deventer, 1999

[28] Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid,
Deelrapport IV: Conclusies en ontwikkelingen
Tauw Deventer, 1999

[29] Circulaire Interventiewaarden Bodemsanering,
Staatscourant nr. 95, dinsdag 24 mei 1994.

[30] Leidraad aan- en afkoppelen verharde oppervlakken
Tauw, in opdracht van de WRWN
Tauw Deventer, 1996

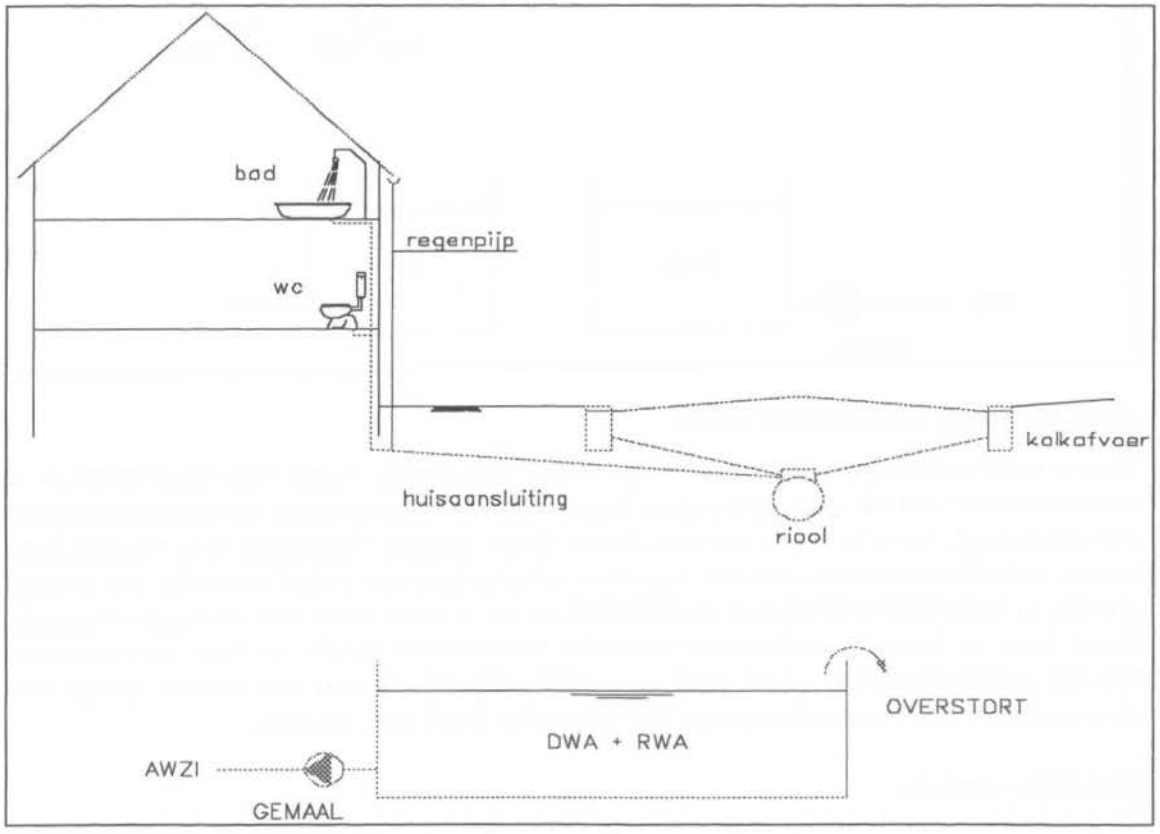
Bijlage 1

Typen rioolstelsels

Inleiding

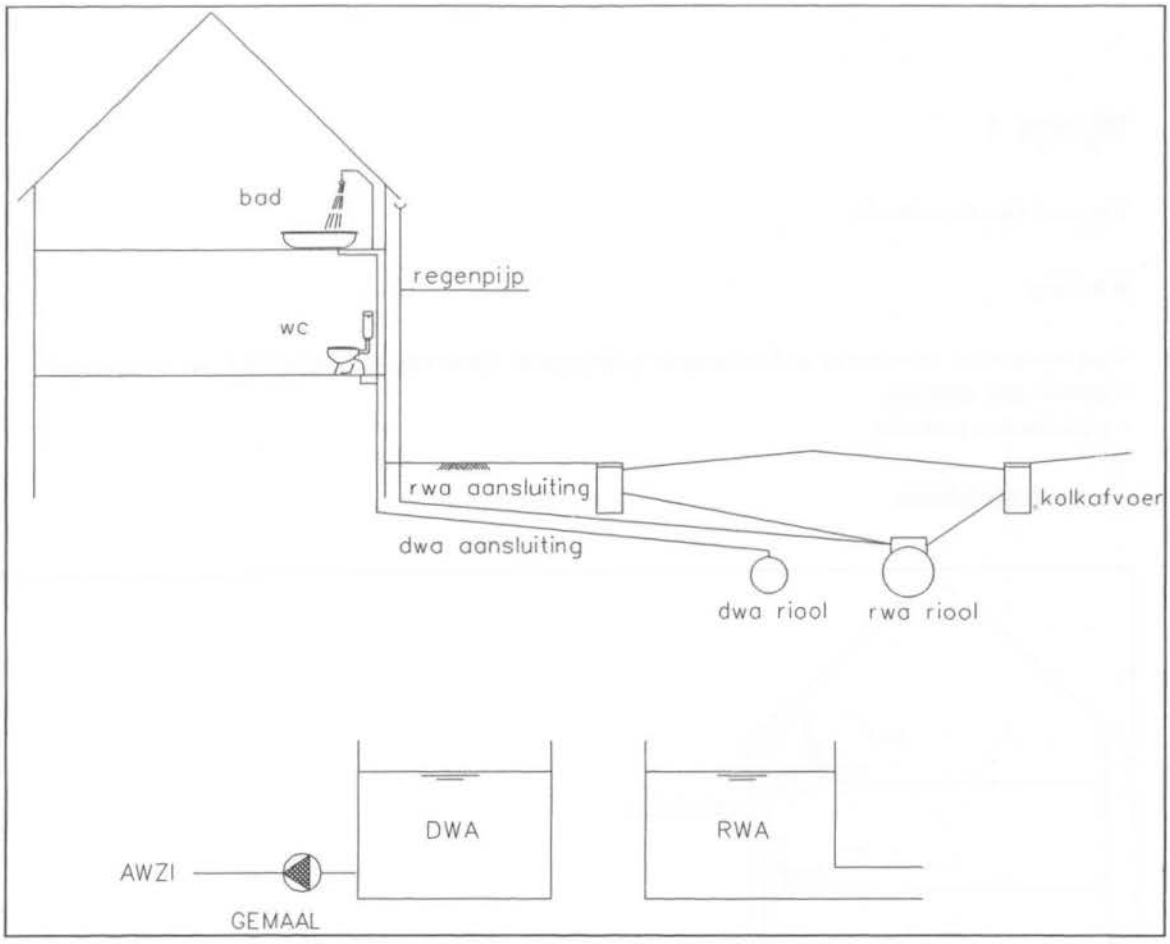
Van oorsprong worden er in Nederland twee typen rioolstelsels ontworpen en aangelegd:
- gemengde stelsels
- gescheiden stelsels

Gemengde stelsels:



Principetekening 1 Gemengd stelsel

Gemengde stelsels (zie principetekening 1) zijn rioolstelsels waarbij zowel het huishoudelijk en industrieel afvalwater alsmede het regenwater dat afstroomt van daken en wegen verzameld wordt in één buizenstelsel. Onder droogweeromstandigheden wordt alleen afvalwater door een gemaal naar de afvalwaterzuiveringsinrichting getransporteerd (de zgn. Droog Weer Afvoer). Het grootste deel van de rioolinhoud zal dan leeg zijn (berging).



Principetekening 2 Gescheiden stelsel

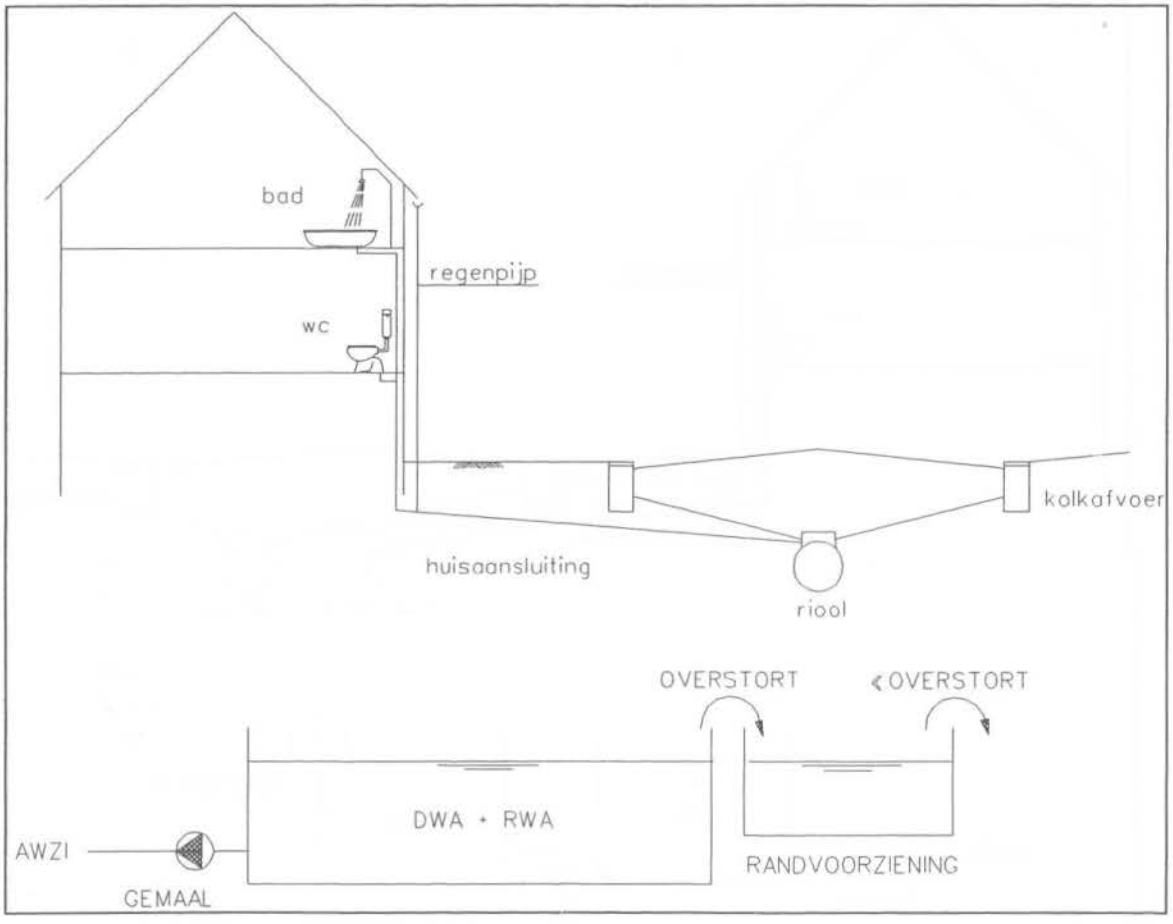
Tijdens regenweeromstandigheden zal het stelsel zich verder vullen met regenwater en de pompcapaciteit van het gemaal om deze hoeveelheid te transporteren, de zogenaamde pompovercapaciteit, komt in bedrijf (de zgn. Regen Water Afvoer). Omdat het niet mogelijk is het stelsel zo te dimensioneren dat elke regenbui volledig door het stelsel verwerkt kan worden, worden er regenwateroverstorten aangebracht die bij te grote buien het verdunde afvalwater direct lozen op het oppervlaktewater nadat het overstortpeil bereikt is. Deze verontreiniging van het oppervlaktewater wordt door de waterkwaliteitsbeheerder aan banden gelegd door de toelaatbare overstortingsfrequentie van normaliter 5 à 6 keer per jaar.

Gescheiden stelsels:
Bij gescheiden stelsels (zie principetekening 2) worden het huishoudelijk en industrieel afvalwater in één buizenstelsel, het DWA-stelsel ingezameld en het regenwater in een apart buizenstelsel, het RWA-stelsel.
Het DWA-stelsel wordt bemalen door een DWA-gemaal vanwaar het afvalwater getransporteerd wordt naar een afvalwaterzuiveringsinrichting. Het RWA-stelsel loost direct het ingezamelde regenwater op het oppervlaktewater. Op deze wijze heeft elke neerslaggebeurtenis tot gevolg dat er regenwater inclusief straatvuil geloosd wordt.
Uit onderzoek is gebleken dat, op jaarbasis, de incidentele overstortingen vanuit een gemengd stelsel een nagenoeg even grote vuillast, dat wil zeggen verontreiniging van het op-

pervlaktewater vanuit rioolstelsels, leveren als de veelvuldige lozingen vanuit het gescheiden stelsel.
Door de bewustwording van deze vuilemissie op het oppervlaktewater, met name door de resultaten van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit heeft men stelsels ontwikkeld die de vuillast reduceren, te weten:
- verbeterd gemengd stelsel
- verbeterd gescheiden stelsel

Deze typen stelsels worden hierna nader toegelicht.

Verbeterd gemengde stelsels:

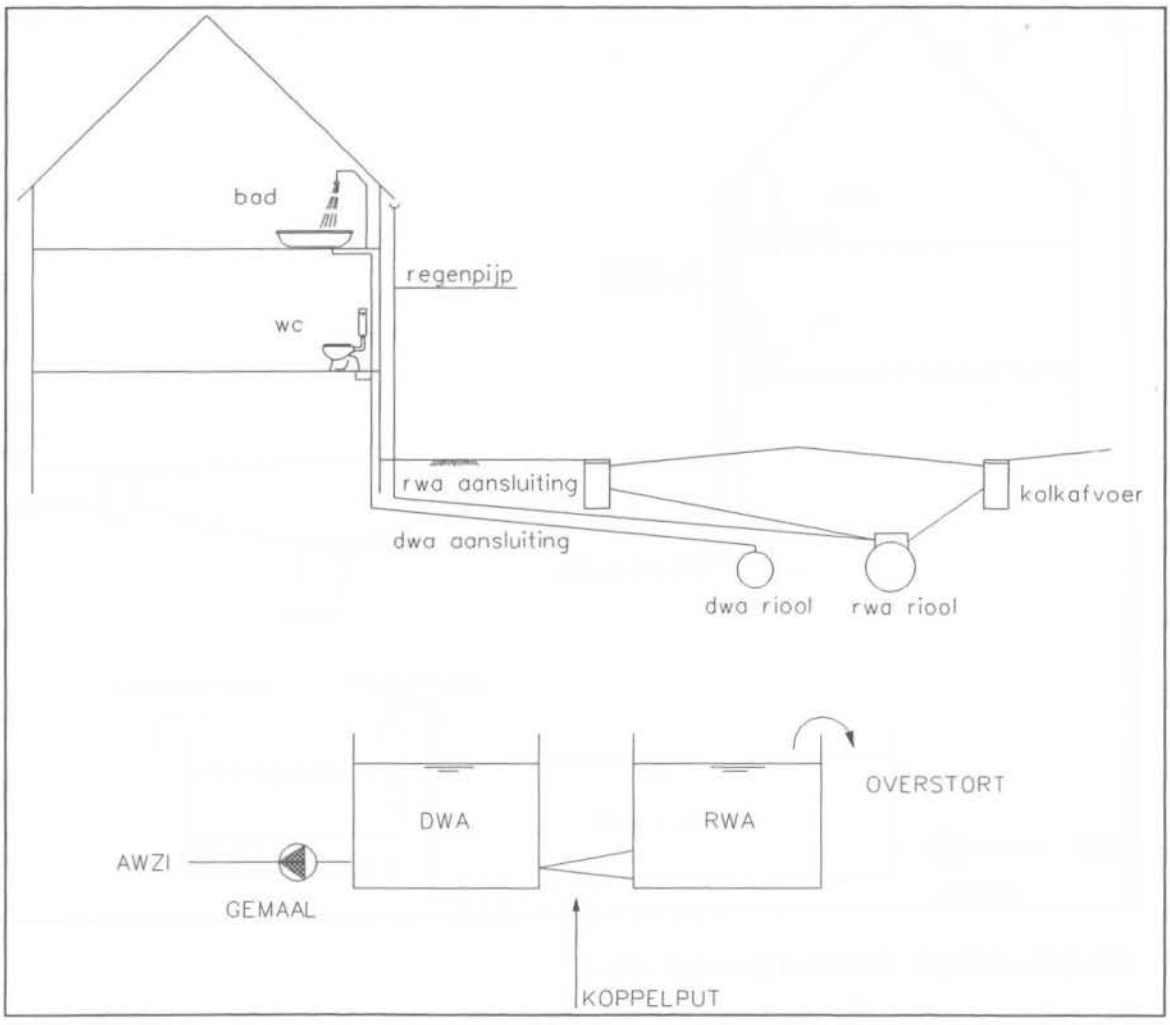


Principetekening 3 Verbeterd gemengd stelsel

Het verbeterd gemengde stelsel (zie principetekening 3) is identiek aan het gemengde stelsel met als belangrijk verschil dat de overstortputten vervangen zijn door en/of uitgebreid zijn met voorzieningen die de vuilemissie beperken. Deze vuilreducerende voorzieningen betreffen constructieve middelen (randvoorzieningen), zuiveringstechnische of operationele middelen. De laatste twee laten we hier verder buiten beschouwing.

Randvoorzieningen beperken de vuilemissie doordat er minder (kwantitatief) en/of minder vuil (kwalitatief) water overstort door respectievelijk het vergroten van de berging en/of door concentratievermindering (bijv. stroomverlamming/bezinking). Voorbeelden van randvoorzieningen zijn een bergbezinkbassin (berging en concentratievermindering door bezinking) en werveloverstortputten (concentratievermindering door centrifugaalwerking).
Volgens de rapporten van de NWRW en de basisinspanning van de CUWVO-VI, blijken bestaande gemengde stelsels uitgebreid met bergbezinkbassins de best haalbare oppervlaktewaterkwaliteit te realiseren.

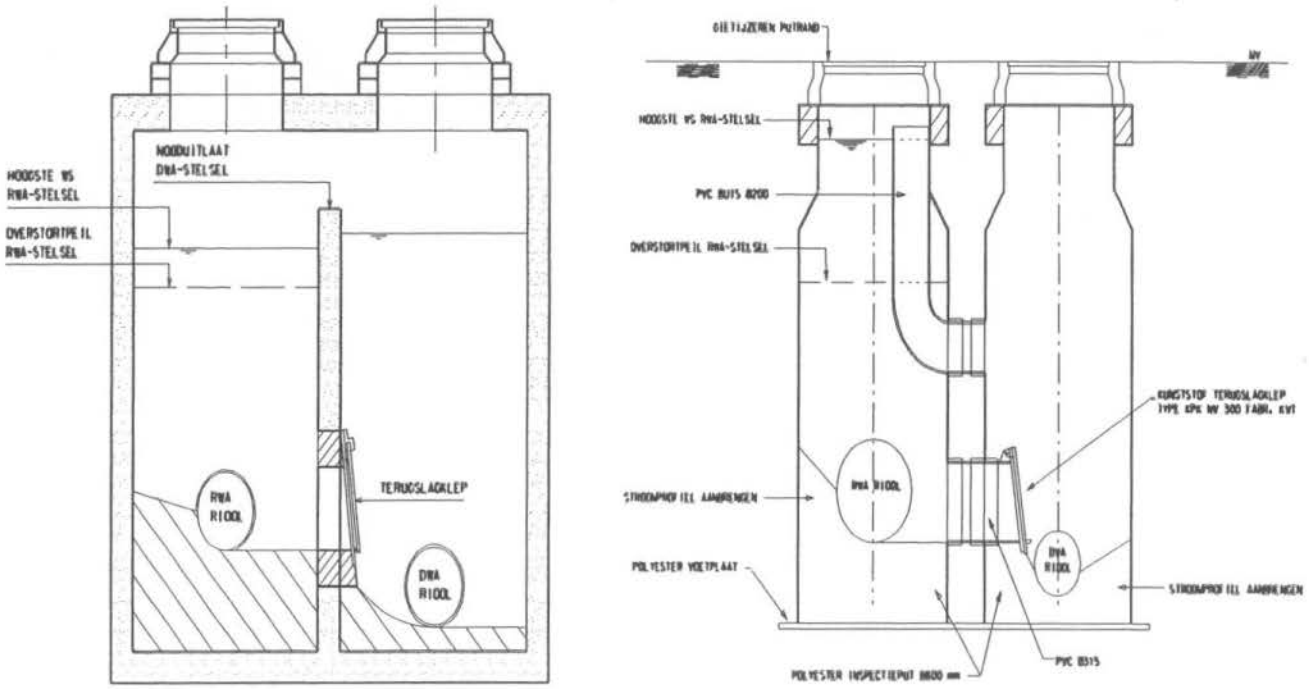
Verbeterd gescheiden stelsels:



Principetekening 4 Verbeterd gescheiden stelsel

Een verbeterd gescheiden stelsel (zie principetekening 4) bestaat uit een dubbel buizensysteem, te weten een DWA-stelsel en een RWA-stelsel. Het DWA-stelsel wordt onder afschot

ontworpen naar een gemaal en bestaat uit buizen welke een hoge resistentie tegen de chemische inwerking van het te transporteren afvalwater bezitten.
Het RWA-stelsel wordt slechts belast door regenwater afstromend van verharde oppervlakken welke op dit stelsel aangesloten zijn. Om te voorkomen dat elke neerslaggebeurtenis leidt tot een lozing vanuit dit stelsel op het oppervlaktewater wordt in het RWA-stelsel berging aangebracht alsmede regenwateroverstortputten. Lozing van regenwater uit het RWA-stelsel op het oppervlaktewater vindt alleen plaats indien het overstortpeil bereikt wordt. Evenals bij het gemengde stelsel is het aantal overstortingen gebonden aan de door de waterkwaliteitsbeheerder gelimiteerde overstortingsfrequentie. Doordat niet iedere neerslaggebeurtenis leidt tot een lozing wordt de vuillast beperkt. Dit vormt de eigenlijke verbetering ten opzichte van 'gewone' gescheiden stelsels.



Principetekening 5 Koppelputten

'Valse' aansluitingen dat wil zeggen DWA-aansluitingen aangesloten op het RWA-stelsel lozen onder droogweeromstandigheden alsnog in het DWA-stelsel, dat op dat punt lager gelegen moet zijn, via zogenaamde 'koppelputten' (zie principetekening 5). Op deze wijze wordt eveneens de 'first flush', dat wil zeggen de eerste hoeveelheid water met het aanwezige vuil die gaat stromen aan het begin van de bui, afgevoerd. Het RWA-stelsel wordt door het gemaal, waarin een pompovercapaciteit geïnstalleerd is, bemalen via het DWA-stelsel en de koppelputten.