

VERWERKING VAN EXTREME NEERSLAG IN STEDELIJK GEBIED

**Deel 1: Handleiding voor analyse en verbetering van
het stedelijk afwateringssysteem**

Deel 2: Inzet van rekentools

Deel 3: Kentallen van maatregelen



VERWERKING VAN EXTREME NEERSLAG IN STEDELIJK GEBIED

**Deel 1: Handleiding voor analyse en verbetering van het
stedelijk afwateringssysteem**

Deel 2: Inzet van rekentools

Deel 3: Kentallen van maatregelen

Toine Vergroesen
Reinder Brolsma
Daniel Tollenaar

1202270-009

Dit onderzoek is onderdeel van het nationale onderzoeksprogramma 'Kennis voor Klimaat', mede gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Titel

VERWERKING VAN EXTREME NEERSLAG IN STEDELIJK GEBIED

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Nationaal	1202270-009	1202270-009-BGS-0004	80
Onderzoeksprogramma			
Kennis voor Klimaat			




Trefwoorden

Extreme neerslag, stedelijk gebied, handleiding, maatregelen, kentallen, rekentools

Samenvatting

Het stedelijke afwateringssysteem bestaat in grote lijnen uit drie componenten die meestal onderling in verbinding staan. Een langzaam reagerende component, het grondwater, en twee snel reagerende componenten, de riolering en het oppervlaktewater. Wateroverlastsituaties ontstaan meestal doordat de snel reagerende componenten het aanbod niet meer aan kunnen. Bij maatregelen wordt vaak ook de langzaam reagerende component ingeschakeld. Van oudsher is de riolering ontworpen op een frequentie van overlopen van 2 jaar. Dat wil zeggen dat één keer per twee jaar een bui mag optreden waardoor het riool overstroomt. Er ontstaat dan water op straat. Voor oppervlaktewater in stedelijk gebied wordt een frequentie van overstromen gehanteerd van 100 jaar. Door toenemende verharding in het stedelijk gebied worden deze ontwerpnormen steeds vaker overschreden. Ook achterstallig onderhoud kan er een oorzaak van zijn dat een van de componenten van het stedelijke afwateringssysteem vaker faalt dan de norm. Verder wordt verwacht dat door klimaatverandering de komende eeuw de buien extremer worden, en het aantal extreme buien toenemen. Hierdoor zullen nu al falende stedelijke afwateringssystemen nog vaker gaan falen. Een betere verwerking van extreme neerslag is een onderdeel van het streven naar steden met een robuuster watersysteem. Meer robuustheid wordt bereikt door de capaciteit van het stedelijk watersysteem te verbeteren. Daarbij maken we onderscheid tussen berging en interne transportcapaciteit, om het water probleemloos in die berging te krijgen.

Dit rapport bevat een handleiding voor de watermanager, waarin wordt beschreven hoe op een adequate manier kan worden omgegaan met extreme neerslag in stedelijk gebied. Onderdelen van deze handleiding zijn een beschrijving van mogelijke maatregelen om de adaptatiecapaciteit van het stedelijke watersysteem te vergroten (eigenschappen en kengetallen) en een beschrijving van beschikbare rekentools om het effect van deze maatregelen te kwantificeren (wanneer welke rekentools inzetten, en wat is daar voor nodig).

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2013	Toine Vergroesen		Frans van de Ven		Toon Segeren	
		Reinder Brolsma					
		Daniel Tollenaar					

Status

definitief



Deel 1: Handleiding voor analyse en verbetering van het stedelijk afwateringssysteem



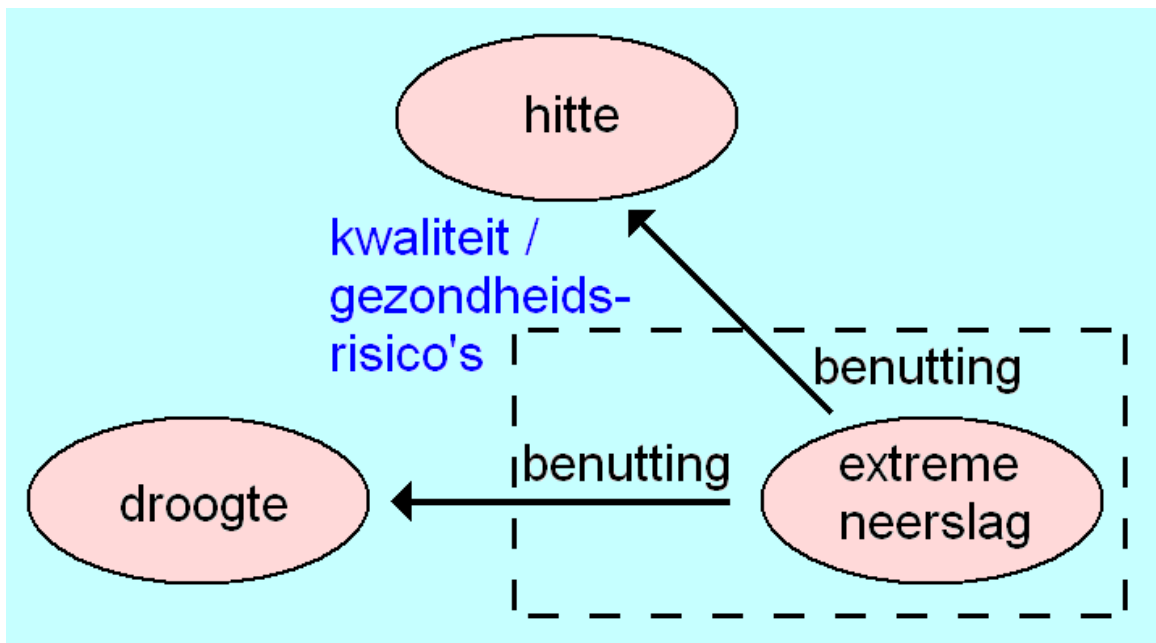
Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	2
1.2 Verwerking extreme neerslag	2
1.3 Samenhang	3
2 Analyse verbetering stedelijk afwateringssysteem	5
2.1 Uitgangspunten	6
2.1.1 Afbakening	6
2.1.2 Detailniveau	6
2.1.3 Begrippen	6
2.2 Optimalisatiemethode in stappen	7
2.2.1 Stap 1. Keuze neerslagrandvoorwaarde	7
2.2.2 Stap 2. Bepalen netto bergingscapaciteit	7
2.2.3 Stap 3. Bepalen interne transportcapaciteit	8
2.2.4 Stap 4. Optimalisatie	9
2.3 Klimaatrobustheid	9
Bijlage(n)	
A Bepaling neerslagrandvoorwaarde	A-1

1 Inleiding

Het verwerken van extreme neerslag maakt deel uit van het programma Kennis voor Klimaat. Andere onderdelen van dit werkpakket zijn benutting van extreme neerslag en beoordeling van gezondheidsrisico's.

De relaties tussen het verwerken van extreme neerslag en andere factoren die een rol spelen bij de ontwikkeling naar klimaatrobuustere steden zijn schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Afkadering (streeplijn) KvK Trance 2 Thema 4, werkpakket 3.3 in relatie tot klimaatrobuustere steden

Benutting heeft een directe relatie met het verwerken van extreme neerslag. Beide maken aanspraak op dezelfde berging, maar terwijl het verwerken van extreme neerslag vraagt om voldoende ruimte in de berging, is benutting juist gebaat bij voldoende water in de berging. Naast benutting voor consumptief gebruik kan benutting gebruikt worden in de reductie van het hitte-effect en droogteschade. Op de benutting van overtollig regenwater voor hitte en droogte wordt in dit document niet verder ingegaan. Beide moeten wel in relatie gezien worden met het verwerken van extreme neerslag en de andere onderdelen van dit werkpakket.

Gezondheidsrisico's spelen niet alleen een rol tijdens het verwerken van extreme neerslag, maar komen ook terug bij het benutten en bij onderdelen die zich concentreren op de reductie van het hitte-effect en droogteschade.

Dit document beperkt zich tot de kwantitatieve verwerking van extreme neerslag in stedelijk gebied, waarvan de prognose is dat zowel de zwaarte van deze neerslag als de frequentie van optreden door het veranderende klimaat groter zullen worden.

Dit document behandelt alleen de fysieke effecten van extreme neerslag. Deze fysieke effecten (bv. hoogte van water op straat) bepalen samen met de schadegevoeligheid van het gebied waar deze effecten aangrijpen de optredende schade. Een uitwerking daarvan is te vinden in het Kennis voor Klimaat rapport "Quantifying the sensitivity of our urban systems", waarin schadefuncties zijn afgeleid.

1.1 Achtergrond

Het stedelijke afwateringssysteem bestaat in grote lijnen uit twee componenten die meestal onderling in verbinding staan: de riolering en het oppervlaktewater. Van oudsher is de riolering ontworpen op een frequentie van overlopen van 2 jaar. Dat wil zeggen dat één keer per twee jaar een bui mag optreden waarbij het riool de toestroom van regenwater niet geheel kan verwerken. Er ontstaat dan water op straat. Voor oppervlaktewater in stedelijk gebied wordt een frequentie van overstromen gehanteerd van hooguit één keer per 100 jaar.

Door toenemende verharding in het stedelijk gebied, en het frequenter voorkomen van extremere neerslag worden deze ontwerpnormen vaker overschreden. Ook achterstallig onderhoud kan er een oorzaak van zijn dat een van de componenten van het stedelijke afwateringssysteem vaker faalt dan de norm. Verder wordt verwacht dat door klimaatverandering de komende eeuw de buien extremer worden, en het aantal extreme buien toenemen. Hierdoor zullen stedelijke afwateringssystemen nog vaker gaan falen.

Er zijn dus feitelijk drie redenen om het stedelijke afwateringssysteem robuuster te maken:

1. achterstallig onderhoud;
2. veranderende inrichting van het stedelijk gebied;
3. veranderend klimaat.

Daarbij is het van belang te beseffen dat de klimaatverandering geleidelijk gaat. Het is een proces van tientallen jaren. Dat biedt de mogelijkheid om mee te liften op andere activiteiten, als onderhoud, riool renovatie, nieuwbouw en herstructurering, en stadsontwikkeling. Daarnaast berusten de effecten van klimaatverandering op voorspellingen, die gepaard gaan met grote onzekerheden voor wat betreft de grootte van deze effecten. Ook daarom is het belangrijk het afwateringssysteem robuuster te maken wanneer de gelegenheid zich voor doet, ongeacht de gestelde norm.

1.2 Verwerking extreme neerslag

Een betere verwerking van extreme neerslag is onderdeel van het streven naar steden met een robuuster afwateringssysteem. Een robuuster afwateringssysteem zal een stad minder gevoelig maken voor klimaatverandering. Meer robuustheid wordt bereikt door de capaciteit van het stedelijk afwateringssysteem te verbeteren. Daarbij maken we onderscheid tussen berging en interne transportcapaciteit.

Onder berging wordt het volume verstaan dat binnen de systeemgrens aangewend kan worden om de afvoer van extreme neerslag tijdelijk op te slaan. De berging bestaat uit verschillende componenten. Deze bergingscomponenten bevinden zich in de stedelijke infrastructuur (op straat, in, op of onder gebouwen, etc.), in de grond (bodem en riolering) en in het oppervlaktewater (tussen waterpeil en maaiveldhoogte).

Onder interne transportcapaciteit wordt de mogelijkheid verstaan waarmee water zich kan verplaatsen van de plek waar het als neerslag valt naar de plek waar het tijdelijk geborgen kan worden. Transport kan plaatsvinden via speciaal daarvoor aangelegde systemen zoals riolering, maar ook via bovengrondse en ondergrondse afstroming. Naarmate de neerslag extremer wordt, gaat het water zich steeds meer bovengronds verplaatsen (over straat, maar ook over onverhard terrein). Als zich te veel water (op ongereguleerde wijze) bovengronds verplaatst, kan dit tot wateroverlast leiden.

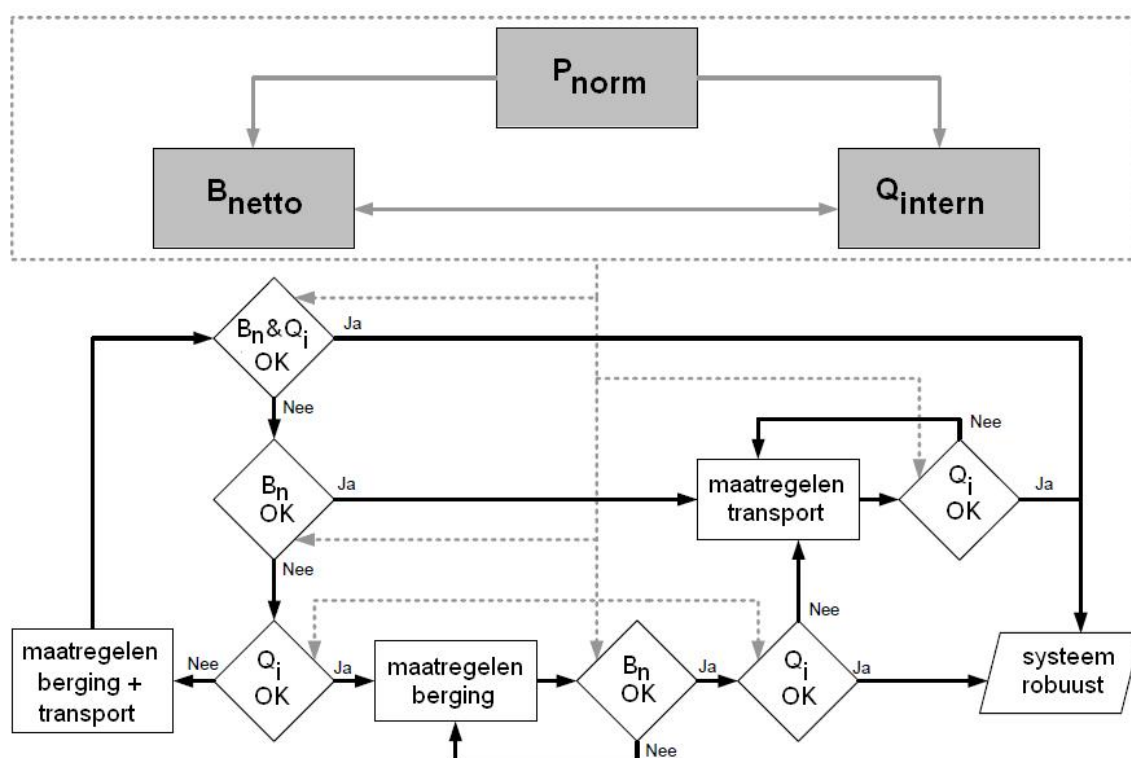
In een situatie waarin het stedelijke afwateringssysteem optimaal is ingericht, zullen berging en interne transportcapaciteit zo zijn afgesteld dat de aanwezige bergingscomponenten bij extreme neerslag gelijkmatig worden gevuld. Als het stedelijke afwateringssysteem optimaal is ingericht, kan de robuustheid van het afwateringssysteem alleen maar verder verhoogd worden door meer berging aan te leggen. Dat gaat dan meestal samen met een proportionele verruiming van de interne transportcapaciteit.

1.3 Samenhang

Dit deel vormt een samenhangend geheel met de delen “Inzet van rekentools” en “Kentallen van maatregelen”, waarbij de eerste een overzicht geeft van de verschillende rekeninstrumenten die kunnen worden ingezet bij de analyse van het stedelijke afwateringssysteem, en de tweede een overzicht geeft van de maatregelen die kunnen worden genomen om het afwateringssysteem robuuster te maken.

2 Analyse verbetering stedelijk afwateringssysteem

Dit hoofdstuk beschrijft een analysemethode voor de verbetering van het stedelijke afwateringssysteem. Figuur 2 geeft een schematische weergave van de methode.



P_{norm} = Neerslag norm
 $B_n = B_{netto}$ = Netto berging in het systeem
 $Q_i = Q_{intern}$ = Intern transportcapaciteit van het systeem

Figuur 2 Optimalisatie stedelijk afwateringssysteem (schematische weergave)

Op basis van een door de waterbeheerder(s) vooraf vastgestelde neerslag, die door het afwateringssysteem nog net probleemloos verwerkt moet kunnen worden (P_{norm}), worden de berging (B_{netto} of B_n) en de transportcapaciteit (Q_{intern} of Q_i) van het systeem daarop gecontroleerd, en waar nodig worden maatregelen ingezet om de capaciteit van berging, van transport of van beide te vergroten. Onderhoud kan daarbij een van de maatregelen zijn. In het vervolg van dit hoofdstuk worden de uitgangspunten en de analysestappen nader uitgewerkt.

2.1 Uitgangspunten

2.1.1 Afbakening

De methode analyseert het afwateringssysteem zoals het is ontworpen. Dat gebeurt tegenwoordig bijna altijd met een of meerdere modellen. Als het afwateringssysteem volgens de modelberekeningen voldoet aan de norm, maar de praktijk uitwijst dat het systeem niet voldoet, kan dat duiden op achterstallig onderhoud. Dergelijke problemen kunnen ook aan het licht komen door het bijhouden en onderzoeken van klachten. Als onderhoud het probleem niet of niet voldoende wegneemt, zijn maatregelen nodig om de capaciteit van het systeem te vergroten. Het kan ook zijn dat het systeem op sommige plekken net anders is aangelegd dan het ontwerp, waarop het model vaak is gebaseerd. Vooral bij riolering komt dat regelmatig voor. Ook dan zijn maatregelen nodig om de capaciteit van het systeem te vergroten.

Als het afwateringssysteem voldoet, maar de norm wordt verhoogd (bv. om rekening te houden met klimaatverandering), kan met deze methode opnieuw worden bepaald of maatregelen nodig zijn. Daarnaast kan ook eenvoudig worden bepaald hoeveel neerslag het afwateringssysteem ongeveer kan verwerken.

2.1.2 Detailniveau

Het detailniveau van de berekeningen zal vaak afhangen van de gecompliceerdheid van het afwateringssysteem, de beschikbare data en de beschikbare rekeninstrumenten. Echter ook het beschikbare budget speelt daarbij vaak een bepalende rol. Hetzelfde geldt voor de maatregelen die geanalyseerd moeten worden. In sommige gevallen kunnen de capaciteit van berging en / of transport simpelweg worden geschat aan de hand van kengetallen. In andere gevallen zijn gedetailleerde berekeningen nodig. De hier beschreven methode is in principe geschikt voor elk detailniveau.

2.1.3 Begrippen

In dit document wordt gebruik gemaakt van onderstaande begrippen:

- Norm neerslag (P_{norm}): Hoeveelheid neerslag, die door het afwateringssysteem nog net probleemloos verwerkt moet kunnen worden. Bij klimaatadaptatie wordt de verwachte verandering van het huidige neerslagregime hierin verwerkt.
- Benodigde netto berging: Volume dat nodig is om, binnen de gekozen systeemgrens, de af te voeren neerslag tijdelijk te bergen. Dat is in principe de afvoer van de neerslaggebeurtenis zelf verminderd met het transport uit het systeem gedurende de neerslaggebeurtenis en het vollopen van de berging.
- Bergingscomponent: Specifiek onderdeel van de totale berging binnen de gekozen systeemgrenzen.
- Netto bergingscapaciteit (B_{netto}): Volume dat beschikbaar is om, binnen de gekozen systeemgrens, de af te voeren neerslag tijdelijk te bergen.
- Interne transportcapaciteit (Q_{intern}): Vermogen om binnen de gekozen systeemgrenzen het neerslagwater probleemloos te transporteren van de plek waar de neerslag valt naar de verschillende bergingscomponenten van het systeem.

2.2 Optimalisatiemethode in stappen

2.2.1 Stap 1. Keuze neerslagrandvoorwaarde

Algemene toepassing

Om (klimaat)gevoelige plekken in het stedelijk afwateringssysteem zichtbaar te maken, wordt aanbevolen het systeem te onderwerpen aan een “stresstest”. Daarbij wordt het afwateringssysteem doorgerekend met een extreme neerslagrandvoorwaarde. Deze test zal onherroepelijk de zwakke punten in het systeem naar boven brengen. Aanbevolen wordt om voor dergelijke berekeningen een bui te gebruiken met een constante intensiteit van 1 mm per minuut en een duur van 1 uur. Andere keuzes zijn echter ook mogelijk. Bijlage A geeft daarvoor enkele aandachtspunten.

Veel versus weinig detail

Wanneer een grove toepassing van de analyse methode voldoende is, kan volstaan worden met het doorrekenen met een stationaire bui, bv. van 1 mm per minuut. Wanneer een hoger detailniveau gewenst is, ligt een keuze voor (een serie van) maatgevende buien meer voor de hand.

2.2.2 Stap 2. Bepalen netto bergingscapaciteit

Algemene toepassing

De netto bergingscapaciteit (B_{netto}) is de som van de bergingscomponenten die gebruikt kunnen worden voor berging tijdens de gekozen neerslagrandvoorwaarde. Bekende bergingscomponenten zijn:

- Open water;
- Riolering;
- Ondergrondse bergingsvoorzieningen;
- Bodem;
- Daken / gebouwen;
- Straatprofiel;
- Onverhard terrein.

Componenten waar ordegrrootte 5% of meer van het totaal benodigde volume opgeslagen kan worden, zijn interessant. Het is belangrijk de mogelijke bergingscomponenten in relatie te zien met de transportcapaciteit naar die componenten toe, de interne transportcapaciteit van het systeem (Q_{intern}). Het water moet bij een zware bui deze componenten kunnen bereiken, zonder dat dit tot wateroverlast leidt.

Een voorbeeld hiervan is berging in de bodem. Op zandgronden met een diepe grondwaterstand is deze relevant, omdat het hier naartoe getransporteerde water snel in de bodem kan worden opgeslagen. Op zware kleigronden valt deze component echter te verwaarlozen. Enerzijds omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem te gering is om veel neerslag in korte tijd op te nemen. Anderzijds vanwege de beperkte berging in deze gronden, door de meestal ondiepe grondwaterstand. In stedelijk gebied zijn dergelijke gronden echter vaak opgehoogd met een laag zand, waardoor toch (beperkte) berging in de bodem mogelijk is.

Veel versus weinig detail

De methode die gehanteerd wordt om de bergingscomponent te kwantificeren, is afhankelijk van het gewenste detailniveau. Een laag detailniveau staat het gebruik van kengetallen toe, terwijl hogere detailniveaus vragen om een meer nauwkeurige beschrijving van het bergingsvolume. Verschillende bergingscomponenten en hun mogelijke bronnen zijn gegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 *Bergingscomponenten en hun databronnen*

Bergingscomponent	Bronnen
Open water (incl. oevers)	Oppervlaktewatermodel / legger
Riolering	Rioleringsmodel / Rioleringsbeheerpakket
Ondergrondse bergingsvoorziening	Legger
Bodem	Grondwatermodel / DINO
Berging op maaiveld / straat	AHN2
Daken / gebouwen	Kadaster

2.2.3 Stap 3. Bepalen interne transportcapaciteit

Algemene toepassing

Het bepalen van de interne transportcapaciteit van het systeem is de meest tijdrovende stap in de analyse. In deze stap is het vaak niet eenvoudig of onmogelijk om simpele kengetallen toe te passen. Veel informatie zal verkregen moeten worden uit modellen die vaak al beschikbaar zijn omdat er wettelijk voorgeschreven studies mee zijn uitgevoerd, zoals een Basisrioleringsplan (BRP) en een hoogwatertoetsing vanuit het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Tabel 2-2 geeft een overzicht van de verschillende transportcomponenten en de bron waaruit hun transportcapaciteit kan worden bepaald.

Tabel 2-2 *Transportcomponenten met hun bronnen*

Transport	Bron
Door oppervlaktewatersysteem	Oppervlaktewatermodel (vanuit NBW beschikbaar)
Door riolering	Rioleringsmodel (vanuit BRP beschikbaar)
Uit / naar de riolering	Rioleringsmodel (vanuit BRP beschikbaar); Kwalitatief vanuit klachten
Over straatoppervlak	2D-overstromingsmodel (incidenteel beschikbaar); GIS analyse vanuit Geoinformatie (AHN2)
Naar de bodem	Grondwatermodel (bv. NHI); GIS analyse vanuit Geoinformatie (bodemtype & grondwaterstanden)

Veel versus weinig detail

De mate waarin detail vereist is, stelt eisen aan de kwaliteit van de gebruikte modellen. Hoe meer detail nodig is in de uitkomst, hoe hoger de kwaliteit van de modellen moet zijn. Door middel van calibratie en verificatie kan de kwaliteit van modelberekeningen verbeterd worden. Echter, dit is een eindig proces, dat sterk afhankelijk is van de kwaliteit en beschikbaarheid van data.

2.2.4 Stap 4. Optimalisatie

Tijdens de optimalisatie wordt de vraag gesteld of, bij gekozen neerslagrandvoorwaarde, de beschikbare berging voldoende is, en of de transportcapaciteit groot genoeg is om deze berging probleemloos te bereiken. De voorgestelde methode geeft een onderbouwing voor het nemen van bergings- en transportmaatregelen. De optimalisatie doorloopt de volgende vragen:

- Zijn B_{netto} & Q_{netto} voldoende? Hier stel je de vraag of de bergingscapaciteit en de afvoercapaciteit beide voldoende zijn om de gekozen neerslagrandvoorwaarde te kunnen verwerken. Is dat wel het geval, dan is het afwateringssysteem robuust genoeg voor de gekozen neerslagrandvoorwaarde. Is dat niet het geval, dan zoek je uit waar het aan schort, de bergingscapaciteit of de transportcapaciteit;
- Is B_{netto} voldoende? Hier stel je de vraag of er voldoende berging is in het systeem. Is dat wel het geval, en het systeem voldoet niet, dan zijn maatregelen nodig om het transport naar deze berging te verbeteren. Is dit niet het geval, dan zullen er in ieder geval bergingsmaatregelen genomen moeten worden om de robuustheid van het systeem te vergroten.
- Is Q_{intern} voldoende? Hier stel je de vraag of de interne transportcapaciteit voldoende is om de bergingscomponenten optimaal te benutten. Is dat wel het geval, dan zijn om te beginnen alleen bergingsmaatregelen nodig, waarna de vraag herhaald zal moeten worden of Q_{intern} nog steeds voldoende is. Het nemen van bergingsmaatregelen heeft alleen nut als vervolgens ook het transport naar de berging voldoende is. Is dat niet het geval, en B_{netto} is ook onvoldoende, dan moeten beide worden aangepakt, en de check opnieuw worden doorlopen.

Het doorlopen van het optimalisatieschema zal knelpunten in berging en transport van het stedelijke afvoersysteem blootleggen. De mate waarin de knelpunten bloot komen te liggen en de betrouwbaarheid van de analyse zijn mede afhankelijk van het detailniveau waarop het afwateringssysteem wordt doorgerekend.

2.3 Klimaatrobustheid

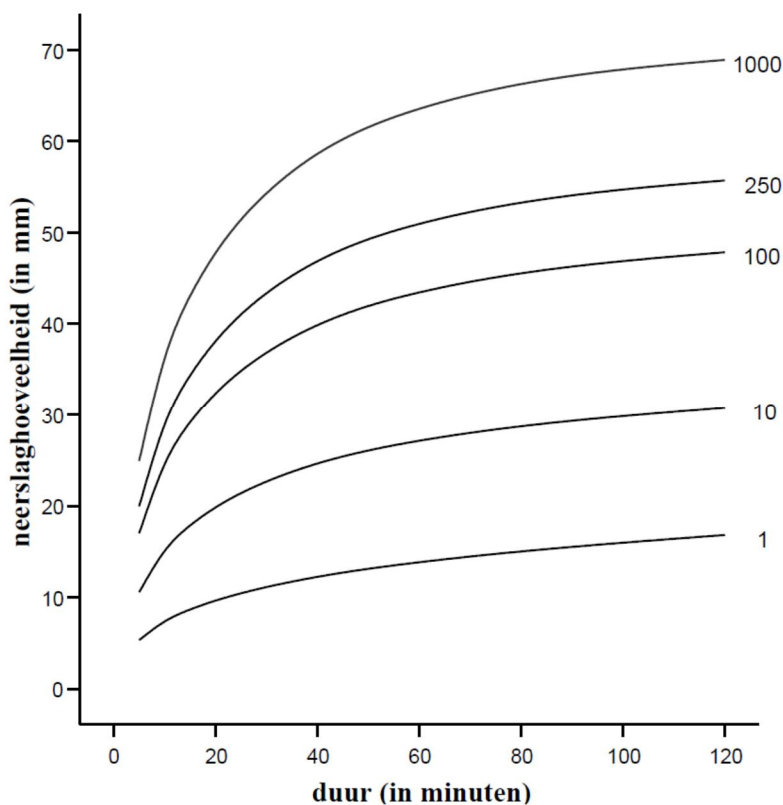
Met de hier beschreven methode kan de robuustheid van het stedelijk afwateringssysteem voor extreme neerslag vergroot worden door een hogere neerslagrandvoorwaarde te hanteren. Dat staat feitelijk los van welk klimaatscenario dan ook. Als de robuustheid van het systeem voor extreme neerslag vergroot wordt, kan een klimaatverandering, die gepaard gaat met vaker en meer extreme neerslag, beter worden opgevangen.

De mate waarin dat gebeurt, is meestal een kosten-baten afweging. De noodzaak om het afwateringssysteem te verbeteren hangt af van de geloofwaardigheid van de voorspelde klimaatverandering. Echter ook als het klimaat niet verandert, kan het lonend zijn de robuustheid van het stedelijk afwateringssysteem voor extreme neerslag te verbeteren. De beste gelegenheid (minste kosten) daarvoor is meeliften op andere activiteiten, zoals onderhoud aan straten, riolering en watergangen en bij nieuwbouw of herstructurering.

A Bepaling neerslagrandvoorwaarde

Aandachtspunten bij keuze van een neerslagrandvoorwaarde om de kwetsbare plekken van het stedelijk afwateringssysteem te bepalen, zijn:

- Gevoeligheid van herhalingstijd voor buivolume bij extreme neerslag. Enkele millimeters meer of minder neerslag kan enkele honderden jaren herhalingstijd schelen.
- Onzekerheid in klimaatprognoses voor extreme neerslag van korte duur. De meest verregaande prognoses geven een maximale stijging van +10% in 2050 en +20% in 2100 bij kortdurende buien.



Figuur 3 Regenduurlijnen voor korte neerslagduren van verschillende herhalingstijden (Buishand en Wijngaard, 2007)



Deel 2: Inzet van rekentools

Verwerking van extreme neerslag in stedelijk gebied



Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Afbakening	2
1.3 Samenhang	2
2 Beschikbare rekentools	3
2.1 Bestaande rekentools	3
2.2 Aanwezige rekentools	3
3 Inzet van rekentools	5
3.1 1D-Rioleringsmodel	6
3.2 1D-Oppervlaktewatermodel	6
3.3 2D-Overstromingsmodel	6
3.4 3D-Grondwatermodel	7
3.5 Integrale / gekoppelde stromingsmodellen	7
4 Benodigde data	9

1 Inleiding

Om de verwerking van extreme neerslag in goede banen te leiden worden rekentools ingezet. Het stedelijke afwateringssysteem wordt met behulp van die rekentools gedimensioneerd en later ook gecontroleerd. Rekentools worden ook ingezet om het effect te voorspellen van maatregelen die de robuustheid van het afwateringssysteem vergroten.

Onder rekentools verstaan we in dit document het hele scala, lopend van gezond verstand tot complexe numerieke modellen. Het spreekt voor zich dat gezond verstand in combinatie met gebiedskennis en ervaring altijd gebruikt moet worden. Bij gebruik van numerieke modellen echter, wordt bij toenemende complexiteit het risico groter dat het gezonde verstand wordt uitgeschakeld en de resultaten klakkeloos voor juist en exact worden aangenomen.

1.1 Achtergrond

Het grootste voordeel van het gebruik van rekentools is dat de beschikbare kennis en informatie simultaan, reproduceerbaar en toetsbaar kan worden aangewend. Het grootste gevaar schuilt in oneigenlijk gebruik van rekentools. Daarvan kan sprake zijn als:

- Er onvoldoende (kwalitatief goede) data beschikbaar zijn om de vereiste kwaliteit van de uitkomsten te bereiken. Dat kunnen zowel invoer data als calibratie data zijn. "Rotzooi in = rotzooi uit";
- De deskundigheid van de modelleur ontoereikend is. "Iedere aap kan op knopjes drukken";
- Er beschikbare rekentools worden gebruikt die voor andere doeleinden zijn gemaakt. "We hebben al een model waar het onderzoeksgebied in ligt";
- Het gezonde verstand wordt uitgeschakeld. "Het komt uit de computer, dus het is zo";
- Er een te sterke extrapolatie wordt uitgevoerd naar situaties waarop het model niet gekalibreerd is, zoals zeer extreme neerslag.

De twee belangrijkste argumenten om naast gezond verstand, gebiedskennis en ervaring ook andere rekentools in te zetten, zijn:

1. Begrip van het stedelijke afwateringssysteem vergroten;
2. Het effect van maatregelen kwantificeren.

Ad 1. Begrip van het stedelijke afwateringssysteem vergroten

Een goed begrip van het stedelijke afwateringssysteem is essentieel voor het adequaat toepassen van maatregelen, die het afwateringssysteem kunnen verbeteren. Het stedelijke afwateringssysteem is echter complex. Neerslag in stedelijk gebied zal deels achterblijven en weer verdampen of infiltreren. De rest zal oppervlakkig afstromen. Neerslag op verhard oppervlak kan naar een gemengd riool dan wel naar een regenwaterriool van een gescheiden stelsel stromen, kan afgekoppeld worden naar open water of naar infiltratie voorzieningen, kan lokaal geborgen worden of kan gedeeltelijk infiltreren. Neerslag op onverhard oppervlak kan infiltreren (zolang daar capaciteit en ruimte voor is), kan afstromen via verhard gebied naar een riool, naar open water of naar een ander onverhard gebied waar het alsnog kan infiltreren. Eenmaal in het riool, in het open water of in de grond zal het water zich verder verplaatsen, waarbij op tal van manieren uitwisseling tussen riool, open water en grondwater (en drainage daarvan) kan optreden, en waarbij ook het water weer boven maaiveld kan uitkomen om daar verder te stromen.

Afhankelijk van de situatie en de probleemstelling kan de benadering van het afwateringssysteem vereenvoudigd worden. Om te begrijpen hoe het stedelijke afwateringssysteem reageert op extreme neerslag kunnen in eerste instantie traag lopende waterstromen sterk vereenvoudigd en soms zelfs verwaarloosd worden.

Bv. de bemaling van een polder (à 14 mm/dag = 0.01 mm/min) en de kwel (meestal veel lager dan 14 mm/dag) zijn te verwaarlozen ten opzichte van een neerslag van 60 mm/uur (= 1 mm/min).

Ad 2. Kwantificeren van effecten van maatregelen

Ingrijpen in het stedelijke afwateringssysteem kost vaak geld. Deze kosten zijn sterk afhankelijk van de aard en omvang van de toegepaste maatregelen. Voor maatregelen waarvan de kosten laag zijn en / of maatregelen waarvan het effect goed is in te schatten ("geen-spijt" maatregelen), is het gebruik van rekentools minder prangend dan voor dure maatregelen (bv. als er keuze is uit meerdere dure maatregelen) en / of maatregelen waarvan het effect niet goed is in te schatten (bv. als er mogelijk nadelige neveneffecten kunnen optreden). Dan is het gebruik van adequate rekentools aan te raden.

1.2 Afbakening

Dit document beschrijft alleen nut en noodzaak van inzet van rekentools om effecten van extreme neerslag in stedelijk gebied en maatregelen tegen die effecten te kwantificeren. Het gaat niet in op andere aspecten van klimaatadaptatie, zoals het nemen van maatregelen om langere droge periodes te overbruggen en hittestress te verminderen. Het adequaat oplossen van een combinatie van vragen die worden opgeroepen door extreme neerslag en extreme droogte zal eerder leiden tot inzet van meer complexe rekentools dan nodig is voor het oplossen van vragen die alleen door extreme neerslag worden opgeroepen. Andersom geredeneerd kunnen meer complexe rekentools, die zijn gemaakt voor meerdere aspecten van klimaatadaptatie, wel worden ingezet bij vragen rondom extreme neerslag.

1.3 Samenhang

Dit deel vormt een samenhangend geheel met de delen "Handleiding voor analyse en verbetering van het stedelijk afwateringssysteem" en "Kentallen van maatregelen", waarbij de eerste een methode geeft om het stedelijke afwateringssysteem te analyseren, en de tweede een overzicht geeft van de maatregelen die kunnen worden genomen om het afwateringssysteem robuuster te maken.

2 Beschikbare rekentools





Voor wat betreft beschikbaarheid maken we onderscheid in:

- Bestaande rekentools. Rekentools die bruikbaar zijn om (delen van) het stedelijke afwateringssysteem te analyseren;
- Aanwezige rekentools. Rekentools waar (delen van) het betreffende stedelijke afwateringssysteem al eerder mee doorgerekend zijn.

2.1 Bestaande rekentools

Er is een breed scala aan rekentools “op de markt”, variërend van zeer eenvoudig (kentallen) tot uitermate complex (integrale stromingsmodellen). Tabel 2-1 geeft daarvan een globaal overzicht.

Tabel 2-1 Overzicht bestaande rekentools

Rekentool	Noodzaak	Benodigde data
<ul style="list-style-type: none"> • gezond verstand • gebiedskennis en ervaring • kentallen • modellen 1^e orde: <ul style="list-style-type: none"> ○ waterbalansen ○ bakjes modellen ○ maaiveldanalyses (GIS) • modellen 2^e orde: <ul style="list-style-type: none"> ○ 1D rioleringsmodellen ○ 1D oppervlaktewatermodellen ○ 2D overstromingsmodellen ○ 3D grondwatermodellen • modellen 3^e orde: <ul style="list-style-type: none"> ○ gekoppelde stromingsmodellen ○ integrale stromingsmodellen. 	Altijd   Zelden	Weinig   Zeer veel

Algemeen kan worden gesteld dat naarmate de rekentools complexer worden, de noodzaak van het gebruik daarvan minder vaak optreedt, terwijl de hoeveelheid benodigde data om die tools goed te kunnen gebruiken groter wordt en ook de vereiste kwaliteit van die data hoger wordt.

2.2 Aanwezige rekentools

In Nederland zijn bij de verschillende waterbeheerders vaak al een of meerdere rekentools (lees modellen) beschikbaar. Zo hebben veel (grotere) gemeentes beschikking over een of meerdere rioleringsmodellen, en zijn er bij de waterschappen en provincies vaak diverse oppervlaktewatermodellen en / of grondwatermodellen aanwezig. Daarnaast is er op nationaal niveau een gekoppeld grondwater en oppervlaktewater model beschikbaar voor nagenoeg heel Nederland.

Al deze modellen beschrijven delen van het afwateringssysteem. Ze zijn gemaakt voor een bepaald doel, voor een bepaalde mate van detail, en maken gebruik van bepaalde aannames (vereenvoudigingen) en randvoorwaarden, zowel ten aanzien van de procesbeschrijvingen als ten aanzien van de parametrisering. Deze modellen zijn daarom meestal niet geschikt om voor andere doelen te worden ingezet. Daarnaast zijn beschikbare modellen (in het gunstigste geval) voor een bepaald toepassingsbereik gekalibreerd en gevalideerd, en is daarom slechts voor dat bereik de betrouwbaarheid van de modelresultaten bekend. Inzet van deze modellen buiten het gekalibreerde bereik (extrapolatie), leidt tot resultaten met een onbekende betrouwbaarheid.

Als er voor (delen van) een stedelijk afwateringssysteem al rekentools beschikbaar zijn, dan kunnen oriënterende berekeningen met deze tools vaak al een aardige indruk geven van de werking van (delen van) dat afwateringssysteem.

Belangrijk daarbij is dat de resultaten van dergelijke oriënterende berekeningen dan ook als *oriënterend* moeten worden beschouwd, en dat er rekening moet worden gehouden met een mogelijk grote mate van onnauwkeurigheid van de uitkomsten.

3 Inzet van rekentools

We kunnen drie onderzoeksniveaus onderscheiden, waarbij ook de orde van de benodigde rekentools verschillend is. Tabel 3-1 geeft daarvan een overzicht.

Tabel 3-1 Relatie tussen onderzoeksniveau en inzet van rekentools

Onderzoeksniveau	Benodigde rekentools
Oriënterend onderzoek naar werking van het stedelijke afwateringssysteem of naar het effect van maatregelen op dat afwateringssysteem.	<ul style="list-style-type: none"> • gezond verstand • gebiedskennis en ervaring • kentallen • modellen 1^e orde • aanwezige rekentools
Onderzoek naar de werking van specifieke delen van het stedelijke afwateringssysteem of naar het effect van “geen spijt” maatregelen op dat deel van het afwateringssysteem, waarbij de wisselwerking met andere delen van het afwateringssysteem verwaarloosbaar is.	<ul style="list-style-type: none"> • gezond verstand • gebiedskennis en ervaring • aanwezige rekentools • modellen 2^e orde
Onderzoek naar de werking van het totale stedelijke afwateringssysteem of naar het effect van kostbare maatregelen op dat afwateringssysteem, waarbij de wisselwerking tussen de verschillende onderdelen van het afwateringssysteem optreedt.	<ul style="list-style-type: none"> • gezond verstand • gebiedskennis en ervaring • aanwezige rekentools • modellen 3^e orde

Hoe complex en gedetailleerd het onderzochte afwateringssysteem en de beoogde maatregelen ook zijn, het is altijd beter om de analyse te beginnen met oriënterend onderzoek, gebruik makend van eenvoudige rekentools. Gezond verstand, gebiedskennis en ervaring, aangevuld met eventueel aanwezige monitoringsdata, rekentools en kentallen geven na grondige analyse bijna altijd al een goede indruk van het afwateringssysteem en het effect van beoogde maatregelen daarop. Daarbij kan zonodig gebruik gemaakt worden van eenvoudig op te zetten 1^e orde modellen als waterbalansen, bakjesmodellen en GIS-analyses. Het zal bij complexe problemen tevens leiden tot een beter onderbouwde keuze van eventueel benodigde modelconcepten.

Gebaseerd op het resultaat van het oriënterend onderzoek wordt dan bepaald of inzet van meer complexe rekentools nodig is, en zo ja welke rekentools dat zijn. Dat kan afhangen van het afwateringssysteem, maar ook van de beoogde maatregelen en van de beschikbaarheid van data, tijd en budget. In geval van extreme neerslag in stedelijk gebied spelen daarbij de volgende afwegingen mee in de keuze van de rekentools.

3.1 1D-Rioleringsmodel

Bij extreme neerslag worden zowel de bergingscapaciteit als de afvoercapaciteit van het rioolstelsel ruimschoots overschreden. Als de bergingscapaciteit en de afvoercapaciteit van het rioolstelsel bekend zijn, is er in principe geen gedetailleerd rioleringsmodel nodig. Dan is een eenvoudige waterbalans voldoende om te kunnen bepalen hoeveel neerslagwater je op andere wijze moet verwerken. Uitzonderingen daarop kunnen zijn:

- Als het rioolstelsel uit deelsystemen bestaat, die onderling in verbinding staan.
- Als er grote peilverschillen in deelstelsels aanwezig zijn, waarbij het hoge stelsel naar het lage stelsel kan afvoeren.
- Als het beheergebied groter is dan het gebied waarbinnen de extreme neerslag optreedt.
- In (sterk) hellende gebieden.
- Als er geen of nauwelijks oppervlaktewater binnen de systeemgrenzen aanwezig is.
- Als er maatregelen worden overwogen die de capaciteit van de berging en de afvoer van het rioolstelsel vergroten.

3.2 1D-Oppervlaktewatermodel

Bij extreme neerslag is de gemaalcapaciteit van het oppervlaktewaterstelsel verwaarloosbaar ten opzichte van de neerslagintensiteit. Als de bergingscapaciteit van het oppervlaktewaterstelsel en de gemaalcapaciteit bekend zijn, is er in veel gevallen geen gedetailleerd oppervlaktewatermodel nodig. Ook dan voldoet een waterbalans vaak al. Uitzonderingen daarop kunnen zijn:

- Als het oppervlaktewaterstelsel uit deelsystemen bestaat, die onderling in verbinding staan.
- Als er grote peilverschillen in deelstelsels aanwezig zijn, waarbij het hoge stelsel in het lage kan overstorten.
- Als het beheergebied groter is dan het gebied waarbinnen de extreme neerslag optreedt.
- In (sterk) hellende gebieden.
- Als er maatregelen worden overwogen die de capaciteit van de berging van het oppervlaktewaterstelsel en de gemaalcapaciteit vergroten.

3.3 2D-Overstromingsmodel

Dergelijke modellen zijn in principe pas nodig als bij extreme neerslag de afvoercapaciteit van water over maaiveld (straat) onvoldoende is om te voorkomen dat er door ontoelaatbare opstuwning van neerslagafvoer wateroverlast ontstaat, en een 1D-analyse dit onvoldoende nauwkeurig blijkt te kunnen beschrijven. De kans op ontoelaatbare opstuwning is in vlakke gebieden vaak groter dan in hellende gebieden, waar het probleem vaak in de dalen optreedt. Inzet van 2D-overstromingsmodellen is meestal alleen zinvol in combinatie met 1D-riolerings- en / of 1D-oppervlaktewatermodellen. Kortom deze modellen zijn in principe alleen zinvol in te zetten:

- In vlakke gebieden, waar de afvoercapaciteit van water over maaiveld niet betrouwbaar genoeg kan worden benaderd met een meer eenvoudige 1D-benadering.
- Als er maatregelen worden overwogen die de afvoercapaciteit van water over maaiveld vergroten.
- Om na te gaan waar de wateroverlast zich voordoet in zeer extreme gevallen (T = 100 jaar of extremer), wanneer het huidige afwateringssysteem faalt.

3.4 3D-Grondwatermodel

Bij extreme neerslag worden de eventueel optredende kwel en de infiltratiecapaciteit van de bodem ruimschoots overschreden. Als de bergingscapaciteit en de infiltratiecapaciteit van de bodem bekend zijn, is er in principe geen gedetailleerd grondwatermodel nodig. Inzet van 3D-grondwatermodellen is meestal alleen zinvol in combinatie met 1D-riolerings- en / of 1D-oppevlaktewatermodellen. Kortom deze modellen zijn pas zinvol in te zetten als:

- Als de beginsituatie van de grondwaterberging van belang is.
- Als er maatregelen worden overwogen die de capaciteit van de berging in de bodem en de infiltratie naar het grondwater vergroten.

3.5 Integrale / gekoppelde stromingsmodellen

Dergelijke modellen zijn weinig gangbaar, en in het algemeen relatief duur om te maken. Ze zijn pas nodig:

- Bij onderzoek naar de werking van het totale stedelijke watersysteem of naar het effect van maatregelen op dat afwateringssysteem, waarbij de wisselwerking tussen de verschillende onderdelen van het watersysteem optreedt.
- Als er maatregelen worden overwogen, die de uitwisseling van water tussen verschillende deelsystemen beïnvloeden.
- Bij afweging van kostbare maatregelen in complexe watersystemen.

In praktijk beslaan integrale / gekoppelde modellen vaak slechts twee onderdelen van het watersysteem, en worden de andere onderdelen verwaarloosd of sterk vereenvoudigd (bv. als constante flux) meegenomen in de berekening. Meest voorkomend voorbeeld daarvan is een gekoppeld riolerings- en oppervlaktewatermodel, waarbij de uitwisseling met het grondwater (in natte situaties) wordt verwaarloosd. Ondanks het feit dat de reactietijd van het grondwater veel lager is dan van het riool en het oppervlaktewater, leidt dat dan in principe tot te hoog berekende piekwaterstanden omdat alle afgekoppelde neerslag direct aan het oppervlaktewater wordt toegevoegd. Opmerkelijk is dat modellen waarin het onderdeel grondwater sterk vereenvoudigd is, vaak toch gebruikt worden als er lokaal infiltratievoorzieningen zijn aangebracht.

4 Benodigde data

Rekentools kunnen alleen kwalitatief goede uitkomsten leveren als er ook voldoende kwalitatief goede data beschikbaar zijn: "Wat je er in stopt, krijg je eruit". Daarnaast zijn voor de meeste rekentools data nodig voor calibratie van de rekentool.

Tabel 4-1 geeft per rekentool een globaal overzicht van de benodigde data. De tools "gezond verstand", "gebiedskennis en ervaring" en "kentallen" zijn niet in de tabel opgenomen.

Tabel 4-1 Overzicht van benodigde data per rekentool

Rekentool	Benodigde data (naast meteorologische data)	
	Modelbouw	Model calibratie
Waterbalans modellen	<ul style="list-style-type: none"> gebiedskenmerken fluxen / debieten 	<ul style="list-style-type: none"> afvoerdebiet: totalen per gebeurtenis
Bakjes modellen	<ul style="list-style-type: none"> gebiedskenmerken waterpeilen fluxen / debieten 	<ul style="list-style-type: none"> tijdseries waterpeilen afvoerdebiet: totalen en tijdseries
Maaiveldanalyses	<ul style="list-style-type: none"> AHN bodemgebruik 	<ul style="list-style-type: none"> gebiedskennis en ervaring
1D rioleringsmodellen	<ul style="list-style-type: none"> rioolnetwerk: ligging, dimensies en peilen overstorten: locaties en peilen inloopgebieden: areaal en kenmerken 	<ul style="list-style-type: none"> riooloverstorten: frequentie / datum water op straat: locaties en datum afvoerdebiet: totalen en tijdseries
1D oppervlaktewatermodellen	<ul style="list-style-type: none"> watgangennetwerk: ligging, dimensies en peilen kunswerken: locaties, dimensies en peilen catchmentgebieden: areaal en kenmerken 	<ul style="list-style-type: none"> maalstaten; totalen en tijdseries tijdseries waterpeilen
2D overstromingsmodellen	<ul style="list-style-type: none"> AHN bodemgebruik locaties gebouwen, viaducten, dijken, etc. watgangennetwerk: ligging, dimensies en peilen 	<ul style="list-style-type: none"> historische gebeurtenissen
3D grondwatermodellen	<ul style="list-style-type: none"> AHN bodemgebruik watgangennetwerk: ligging, dimensies en peilen peilgebieden bodemsamenstelling geologie 	<ul style="list-style-type: none"> tijdreeksen grondwaterstand maalstaten kwelindicatoren
Gekoppelde stromingsmodellen	<ul style="list-style-type: none"> combinatie van bovenstaande data 	<ul style="list-style-type: none"> combinatie van bovenstaande data
Integrale stromingsmodellen	<ul style="list-style-type: none"> combinatie van bovenstaande data 	<ul style="list-style-type: none"> combinatie van bovenstaande data

In het algemeen kan worden gesteld dat naarmate de rekentools complexer worden, er meer en meer gedetailleerde data nodig zijn. Dat geldt zowel voor de bouw als voor de calibratie van de rekentool.



Deel 3: Kentallen van maatregelen

Verwerking van extreme neerslag in stedelijk gebied



Inhoud

1	Inleiding	1
2	Kenmerken van maatregelen	3
1.1	Doel	3
1.2	Schaal	3
1.3	Type Stedelijk gebied	3
1.4	Reliëf	4
1.5	Ontwikkeling	4
1.6	Ontwatering	5
1.7	Kosten	5
1.8	Toegevoegde waarde	5
1.9	Beheer	6
3	Kentallen van maatregelen	7
3.1	Statische kentallen	7
3.2	Dynamische kentallen	7
4	Beschrijving maatregelen	9
4.1	Ondergrondse opslag /vertragen afvoer	9
4.1.1	Riolering vergroten	9
4.1.2	Ondergrondse berging	10
4.1.3	Bergbezinkvoorzieningen (BBV)	11
4.1.4	Kruipruimtes	12
4.1.5	Waterzakken in kruipruimtes	14
4.2	Bovengrondse berging/vertraging van afvoer	15
4.2.1	Oppervlaktewater	15
4.2.2	Luchtzak in oppervlaktewater	16
4.2.3	Verdiepte wegen / verhoogde stoepranden	17
4.2.4	Berging in/onder wegen	18
4.2.5	Waterpleinen	19
4.2.6	Groene daken	20
4.2.7	Daktuinen	21
4.2.8	Blauwe daken met (geknepen afvoer)	21
4.2.9	Groene gevels	22
4.2.10	Berging in gebouwen	22
4.2.11	Regentonnen en opslagtanks	23
4.3	Ondergrondse infiltratie	24
4.3.1	Infiltratie units, infiltratiekragen	25
4.3.2	Drooglegging/ophoging	26
4.3.3	Infiltratieputten, zakputten (diep en ondiep)	27
4.3.4	Infiltratiegreppels	28
4.3.5	Infiltratietransportriolen (IT-riolen)	29
4.3.6	Infiltratie-drainage riolen (ID-riolen)	30
4.4	Oppervlakte infiltratie en afvoervertraging	30
4.4.1	Wadi's	30
4.4.2	Doorlatende/waterpasserende verhardingen	32
4.4.3	Maaveld aanpassing, bovengrondse afvoer omleiden	33

4.4.4	Parken en groenstroken	33
4.5	Overige fysieke maatregelen	33
4.5.1	Pomp capaciteit vergroten	33
4.5.2	Voorbemalen/versneld afvoeren	34
4.5.3	Sturing / Real time control (RTC)	34
4.5.4	Afkoppelen	34
4.5.5	Aanpassing rioolstelsel	35
4.5.6	Acceptatie	35
4.5.7	Onderhoud	35
5	Literatuur	37
Bijlage(n)		
A	Overzicht toepasbaarheid maatregelen	A-1
B	Overzicht kentallen maatregelen	B-1

1 Inleiding

Heel algemeen kunnen maatregelen tegen extreme neerslag in stedelijk gebied in vier categorieën worden verdeeld:

1. Waterhuishouding aanpassen (berging, afvoer);
2. Maaiveld aanpassen:
 - o hoog maaiveld gebruiken voor “droge voeten”;
 - o laag maaiveld gebruiken als depressie om water in te bergen;
3. Gebouwen en infrastructuur aanpassen, waardoor water geen of weinig schade kan veroorzaken;
4. Gedrag aanpassen / acceptatie vergroten, waardoor de schade beperkt wordt.

De focus van dit document ligt op aanpassingen in de waterhuishouding. Er bestaat een breed palet aan maatregelen die genomen kunnen worden om het watersysteem in een stad neerslagrobuuster te maken.

Dit document geeft een overzicht van ruim veertig van deze maatregelen. Iedere maatregel wordt kort beschreven. Daarnaast worden in twee tabellen alle beschreven maatregelen samengevat. De eerste tabel geeft een overzicht van de toepasbaarheid van de beschreven maatregelen. De tweede tabel geeft door middel van kentallen een overzicht van de effectiviteit van de maatregelen. Deze tabellen bieden de mogelijkheid om voor een bepaald gebied tot een eerste selectie van geschikte maatregelen te komen.

Maatregelen die de robuustheid van het watersysteem vergroten, hebben bijna altijd een eindige effectiviteit: “als de berging vol is, kan er geen water meer bij”. Voor een maatregel opnieuw gebruikt kan worden, voor een volgende bui, moet het effect van de vorige bui teniet gedaan zijn: “de berging moet weer leeg”. Omdat deze dynamiek de effectiviteit van een maatregel sterk kan beïnvloeden, is in dit document is een poging gedaan de hersteltijd mee te nemen bij de beschrijving van de maatregelen.

Samenhang

Dit deel vormt een samenhangend geheel met de delen “Handleiding voor analyse en verbetering van het stedelijk afwateringssysteem” en “Inzet van rekentools”, waarbij de eerste een methode geeft om het stedelijke afwateringssysteem te analyseren, en de tweede een overzicht geeft van de verschillende rekeninstrumenten die daarbij kunnen worden ingezet.

2 Kenmerken van maatregelen

In bijlage A van dit document staat een overzicht van de kenmerken van alle beschouwde maatregelen. Het betreft de volgende kenmerken:

- Doel;
- Schaal;
- Type stedelijk gebied;
- Reliëf;
- Ontwikkeling;
- Ontwatering;
- Kosten;
- Toegevoegde waarde;
- Beheer.

In onderstaande paragrafen staat naast een beschrijving van bovengenoemde kenmerken, ook uitleg van de in bijlage A gebruikte tekens. Een nadere beschrijving van de maatregelen zelf staat in hoofdstuk 4. In de laatste kolom van bijlage A staat per maatregel een verwijzing naar de betreffende paragraaf in dat hoofdstuk.

1.1 Doel

Het doel van de maatregel wordt op twee manieren onderscheiden. Als eerste is aangegeven of de maatregel gericht is op opslag van water (berging) of op afvoeren van water. Als tweede is aangegeven of de maatregel zorgt voor het versnellen of vertragen van de afvoer van neerslagwater.

1.2 Schaal

Deze kolom geeft het schaalniveau aan waarop een maatregel effectief geïmplementeerd kan worden. Een maatregel die op een laag schaalniveau effectief is, kan doorwerken op een hoger schaalniveau als de maatregel op meerdere locaties wordt geïmplementeerd, maar de praktische inzetbaarheid daarvan is niet altijd even efficiënt. Anderzijds is een groot aantal kleine decentrale systemen minder kwetsbaar dan één groot centraal systeem.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + maatregel heeft effect op dit niveau en hoger
- maatregel wordt op een hoger niveau geïmplementeerd
- o maatregel heeft effect op dit niveau, maar wordt op lager niveau geïmplementeerd

1.3 Type Stedelijk gebied

De geschiktheid voor toepassing van een maatregel bij een bepaald type stedelijk gebied hangt af van het ruimtebeslag van een maatregel om effectief te zijn versus de ruimte die beschikbaar is. Impliciet is dit sterk gerelateerd aan de grondprijs, ofwel dure maatregelen met een beperkt ruimte beslag zijn in hoogstedelijk gebied wel en in laagstedelijk gebied niet te verantwoorden en omgekeerd. In deze tabel worden twee extremen weergegeven: hoogstedelijk (stadscentrum) en laagstedelijk (periferie).

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + maatregel is kansrijk
- maatregel is niet kansrijk
- o maatregel ligt in tussen niet en wel kansrijk

1.4 Reliëf

De helling van het maaiveld heeft veel invloed op het afstromen van regenwater. Meestal zorgt de aanwezigheid van reliëf voor een versnelde afvoer en noodzaak voor extra maatregelen voor het lokaal bergen van regenwater. Extra berging van water bovenstrooms en gecontroleerde en beperkte afvoer naar lager gebied is effectief voor het voorkomen van wateroverlast benedenstrooms. In reliëf arme gebieden is de accumulatie van afstromend regenwater beperkt en hebben maatregelen meestal een meer lokaal effect. Dat komt ook omdat het in vlakke gebieden lastig is om het neerslagwater probleemloos over grote afstanden naar de berging te laten stromen.

In hellend gebied is de locatie sterk van invloed op de effectiviteit van maatregelen waarbij infiltratie van belang is. Bovenop de helling zit het grondwater diep onder maaiveld, waardoor er veel mogelijkheden zijn voor infiltratie. Aan de voet van de helling zijn de grondwaterstanden lager en bestaat zelfs de kans op uittredend grondwater, waardoor infiltratie een stuk moeilijker wordt. Op de flank van de helling stroomt het water vaak te snel om goed te kunnen infiltreren. Als het water snel stroomt, zal de waterhoogte meestal vrij beperkt zijn, waardoor wateroverlast door overstroming niet of nauwelijks optreedt.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + maatregel is kansrijk
- maatregel is niet kansrijk
- o maatregel ligt in tussen niet en wel kansrijk

1.5 Ontwikkeling

De inpasbaarheid van maatregelen, hangt af van de ontwikkelingen in een gebied. In bestaande stedelijke omgeving zijn veel maatregelen relatief duur, omdat in die gevallen vaak ingrepen in de openbare ruimte nodig zijn. Vaak is het uit oogpunt van kosten efficiënter om deze maatregelen te laten meeliften op al lopende ontwikkelingen, zoals vervanging van riolering, herprofilering van straten, herstructurering of nieuwbouw. Dan vallen de werkzaamheden om de maatregel te implementeren en de daarmee gepaard gaande kosten lager uit. Tevens duurt de hinder bij aanleg (bv. opgebroken weg) korter. Daarmee wordt de inpasbaarheid van de maatregel dus groter. De volgende categorieën van gebiedsontwikkeling zijn onderscheiden:

- Bestaand. Bestaand gebied waar geen ingrepen zijn gepland, waarop eventueel kan worden meegelift.
- Herprofilering straat. Meestal gaat dit samen met de vervanging van de riolering.
- Herstructurering. Daarbij wordt uitgegaan van gedeeltelijke sloop of grondige renovatie van gebouwen in combinatie met herprofilering van de straat.
- Nieuwbouw. Daarbij gaat het om herontwikkeling van stedelijke gebieden.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + maatregel is kansrijk
- maatregel is niet kansrijk
- o maatregel ligt in tussen niet en wel kansrijk

1.6 Ontwatering

De ontwateringsdiepte is de diepte van het grondwater ten opzichte van het maaiveld. Hoe groter deze ontwateringsdiepte is, des te meer water kan er worden geborgen in de bodem. De ontwateringsdiepte is daarom vooral van invloed op infiltratievoorzieningen. De toepasbaarheid van infiltratievoorzieningen neemt meestal toe met een toenemende ontwateringsdiepte. Daarnaast spelen andere factoren, zoals de doorlatendheid van de bodem en de aanwezigheid van drainage, een belangrijke rol. In de tabel is onderscheid gemaakt tussen ondiepe en diepe grondwaterstanden. Daarbij is de knip gelegd op 1m.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + maatregel goed toepasbaar bij gegeven grondwaterstandsdiepte
- maatregel slecht toepasbaar bij gegeven grondwaterstandsdiepte
- o maatregel matig toepasbaar bij gegeven grondwaterstandsdiepte

1.7 Kosten

Voor de aanlegkosten van maatregelen is een onderscheid gemaakt naar de kosten voor het implementeren als losse maatregel (ofwel aanleg in een bestaande situatie) en kosten voor implementatie waarbij meegelift wordt op andere ontwikkelingen.

Daar waar het in de kolom ontwikkeling gaat om de toepasbaarheid en omvang van de ingreep gaat het hier alleen om de kosten ervan.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + lage aanlegkosten
- hoge aanlegkosten
- o middelhoge aanlegkosten

1.8 Toegevoegde waarde

In deze categorie worden verschillende kenmerken onderscheiden.

De genoemde maatregelen kunnen ook andere doelen dienen dan alleen het voorkomen van wateroverlast.

Meervoudig ruimtegebruik

Deze kolom geeft aan of een maatregel extra beslag legt op de ruimte of dat de maatregel kan worden gecombineerd met andere functies. Bij de classificatie is de esthetische functie van water buiten beschouwing gelaten.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + ruimte kan ook voor andere doeleinden worden gebruikt (geen extra ruimtebeslag)
- ruimte kan niet voor andere doeleinden worden gebruikt (wel extra ruimte beslag)
- o weinig extra ruimte beslag

Daarnaast is aangegeven of de maatregel mogelijkheden biedt om het overtollige neerslagwater te gebruiken voor:

- G Grondwateraanvulling. Door extra water te infiltreren wordt het grondwater weer aangevuld. Infiltratie van water zorgt ook dat de waterbuffer voor het overbruggen van droge periodes groter is.
- B Beleving. Aanwezigheid van oppervlaktewater in de openbare ruimte wordt meestal al positief ervaren.

S Stadsclimaat (hitte reductie). Verdamping van water zorgt voor verkoeling. Vegetatie en oppervlaktewater dragen daardoor bij aan een vermindering van het Urban Heat Island.

Gebruik (benutting). Gebruik geeft een indicatie waar het opgeslagen water voor gebruikt kan worden. Daarbij is het volgende onderscheid gemaakt:

- + geschikt voor laagwaardig (huishoudelijk) gebruik
- o geschikt voor besproeiing van vegetatie en grondwateraanvulling
- niet / minder geschikt voor gebruik

1.9 Beheer

Deze kolom geeft de mate van onderhoudsgevoeligheid van de maatregel aan, en wie er verantwoordelijk is voor het beheer. De onderhoudsgevoeligheid is van invloed op de beheerkosten en de robuustheid van het systeem voor extreme neerslag. Voor een optimale werking is voor de ene maatregel meer onderhoud nodig dan voor de andere. De onderhoudsgevoeligheid is hier gegeven ten opzichte van een 'standaard' inrichting, die bestaat uit een asfalt weg, een stoep met tegels en een gescheiden riolering.

Verklaring van de gebruikte tekens in de tabel in Bijlage A:

- + relatief veel onderhoud nodig
- o relatief gemiddeld onderhoud nodig
- relatief weinig onderhoud nodig
- P Particulier
- R Rioolbeheerder (Gemeente)
- We Wegbeheerder (Gemeente)
- Wa Waterbeheerder (Gemeente)
- G Groenvoorziening (Gemeente)
- WS Waterbeheerder (Waterschap)

3 Kentallen van maatregelen

In bijlage B van dit document staat een overzicht van de kentallen van de beschouwde maatregelen. Dit hoofdstuk geeft een korte uitleg over deze kentallen. Een nadere beschrijving van de maatregelen zelf staat in hoofdstuk 4. In de laatste kolom van bijlage B staat per maatregel een verwijzing naar dat hoofdstuk.

3.1 Statische kentallen

Om een eerste orde schatting van de effectiviteit van de maatregelen te maken, is per maatregel berekend hoeveel nodig is voor het verwerken van 10 mm extra neerslag. Hiertoe zijn voor de uitgangssituatie de volgende aannames gedaan:

- De totale 10 mm extra neerslag komt tot afstroming (interceptiecapaciteit is al overschreden).
- De 10 mm neerslag valt met een constante intensiteit van 1 mm/min.
- Alle neerslag op onverhard oppervlak infiltreert in de bodem.
- Alle neerslag op verhard oppervlak wordt afgevoerd via het riool.
- Alle berekeningen zijn gemaakt voor 1 ha, waarbij 1 ha oppervlak bestaat uit:
 - 0.20 ha daken;
 - 0.10 ha wegen;
 - 0.20 ha overig verhard oppervlak;
 - 0.45 ha onverhard oppervlak;
 - 0.05 ha oppervlaktewater.
- 0.20 ha dak komt overeen met 40 huizen.
- Infiltratiecapaciteit van de bodem bedraagt:
 - Zandige bodem: 500 mm/dag
 - Siltige bodem: 50 mm/dag
- Referentiegewasverdamping per halfjaar bedraagt (KNMI, normwaarden De Bilt):
 - Zomerhalfjaar: 2.51 mm/dag;
 - Winterhalfjaar: 0.55 mm/dag.

3.2 Dynamische kentallen

De kentallen in de tabel zijn statisch, en insinueren dat de maatregel te allen tijden het gewenste effect heeft. Echter alvorens opnieuw 10 mm neerslag kan worden verwerkt, dient de berging in deze voorziening weer volledig beschikbaar te zijn. Om de dynamiek van dit effect te verduidelijken, zijn bij de beschrijvingen van de maatregelen in hoofdstuk 4 van dit document twee eenvoudige grafieken opgenomen. Eén geeft het vullen van de berging van de maatregel weer en één geeft het legen (opnieuw beschikbaar komen) van de berging van de maatregel weer. De bergingshoeveelheden zijn steeds uitgedrukt in hoeveelheid neerslag (max. 10 mm) die valt op het toestroomgebied van de maatregel. De grafiek met het vullen van de berging van de maatregel heeft een tijdschaal van 60 minuten. Omdat voor alle maatregelen uitgegaan wordt van 10 mm extra berging, die met een constante snelheid wordt gevuld, is deze grafiek in dit document voor iedere maatregel identiek. De grafiek met het legen van de berging van de maatregel heeft een tijdschaal van 10 dagen.

4 Beschrijving maatregelen

Voor alle maatregelen zijn met behulp van een spreadsheet eenvoudige berekeningen uitgevoerd om voor een gebied van 1 ha 10 mm extra neerslag te kunnen bergen. Daarbij zijn, voor zover relevant voor een maatregel, de omvang van de maatregel bepaald, alsmede de tijd die nodig is om een maatregel opnieuw in te kunnen zetten. De aannames die met betrekking tot de maatregel zijn gedaan (zoals dimensies), zijn hieronder per maatregel vermeld.

4.1 Ondergrondse opslag /vertragen afvoer

4.1.1 Riolering vergroten



Nederlandse rioolstelsels zijn zo ontworpen dat neerslag gebeurtenissen die eens in de 2 jaar voorkomen geen overlast opleveren. Dit betekent dat "water op straat" situaties niet leiden tot schade of verstoring. Bij extreme neerslaggebeurtenissen in gemengde rioolstelsels, wordt in het rioolstelsel ongeveer 9-13 mm geborgen van de neerslag op verhard oppervlak. 0,5-1,0 mm per uur wordt afgevoerd

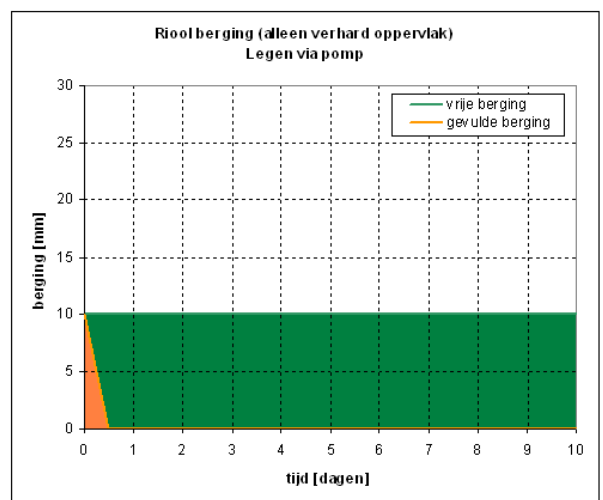
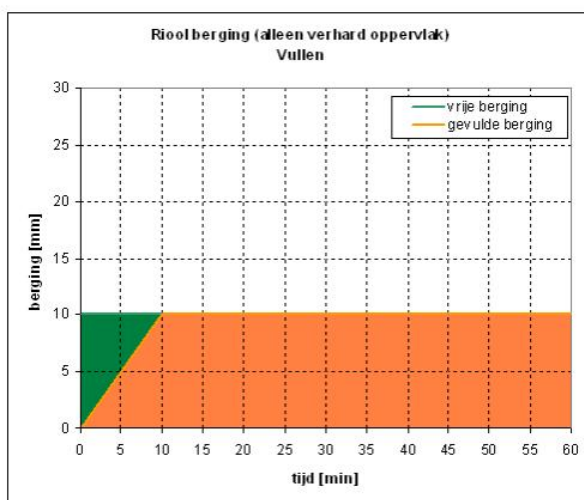
naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie en het overtollige water wordt afgevoerd via riooloverstorten (Kluck en van Luijtelaar, 2010).

Extra bergings- en afvoercapaciteit kan worden gecreëerd door gebruik te maken van rioolbuizen met een grotere diameter (gemengde of regenwater riolering).

Er wordt hier uitgegaan van een huidige berging in gemengde riolering van 9 mm van het verharde oppervlak, waarvan 7 mm in de rioolbuizen en 2 mm in de rest van het stelsel.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Om de berging te vergroten van 7 mm tot 17 mm (10 mm extra) is, uitgaande van ronde rioolbuizen, aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), een 56 % grotere rioldiameter nodig. Een riool is standaard na 0.5 dag weer leeg.



Voordelen:

- Bergingsvolume (doorstromend oppervlak en lengte);
- Grotere hydraulische afvoercapaciteit.
- Door ondergrondse inpassing slechts een kleine claim op bovengrondse ruimte.

Nadelen:

- Hoge kosten (vooral als vervanging van de riolering nog niet nodig is);
- Grotere afvoercapaciteit kan stroomafwaarts problemen veroorzaken.

Kantttekeningen en aandachtspunten:

- Als er 10 mm extra geborgen moet worden, is er een situatie bereikt waarin het toestroomgebied naar het riool waarschijnlijk groter is geworden dan alleen het verharde oppervlak, omdat dan mogelijk ook vanuit onverharde terreinen neerslagwater begint toe te stromen. Hier geen rekening mee gehouden.
- Een 56 % grotere buisdiameter voor het gehele stelsel zal leiden tot een veel grotere afvoercapaciteit van het riool, voordat water op straat gaat optreden (orde van 20 mm/uur naar 35 mm/uur). Dit werkt echter alleen als van in- tot uitstroompunt alle buizen vergroot worden. In andere gevallen is het effect op de afvoercapaciteit veel kleiner.
- Een grotere rioolberging vereist een grotere pomp om de berging weer binnen een halve dag te legen. Bij gemengde stelsels kan dat ook gevolgen hebben voor de dimensionering en de bediening van de RWZI.

4.1.2 Ondergrondse berging



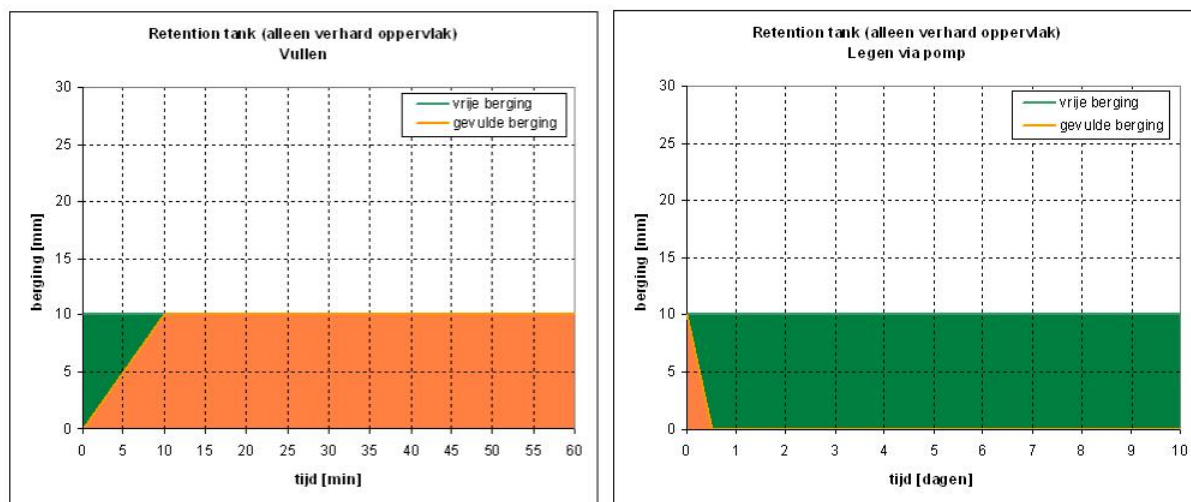
Het volume van ondergrondse berging varieert in omvang in Nederland van enkele m³ tot 10.000 m³ (Rotterdam). Voor het legen van de tank wordt er van uit gegaan dat er gebruik gemaakt wordt van een pomp.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslagwater op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Voor een tank met een hoogte van 1 m is dan een oppervlak van 50 m² nodig.

Uitgaande van een pompcapaciteit van 4 m³/uur is de tank na ca. een halve dag weer volledig inzetbaar.

Voordelen:

- Door ondergrondse inpassing slechts een kleine claim op bovengrondse ruimte.

Nadelen:

- Hoge aanlegkosten.

Kanttelingen en aandachtspunten:

- Optimaal functioneren hangt af van:
 - Dimensie van riolsysteem (doorstromend oppervlak, lengte en afschot);
 - Locatie in riolsysteem.

4.1.3 Bergbezinkvoorzieningen (BBV)



BBV's worden geïmplementeerd met als doel het verbeteren van de oppervlaktewaterkwaliteit. Dit gebeurt door het creëren van extra berging in het stelsel en het laten bezinken van meegevoerde verontreinigende vaste stoffen in suspensie.

Aan het einde van de neerslaggebeurtenis, wanneer het waterpeil in de riolering daalt, wordt het water en het bezonken materiaal teruggepompt naar de riolering, en aansluitend naar de RWZI. Het volume van de BBV maakt deel uit van de totale bergingscapaciteit van het gemengde riolsysteem.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslagwater op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Voor een tank met een hoogte van 1 m is dan een oppervlak van 50 m² nodig.

Uitgaande van een pompcapaciteit van 4 m³/uur is de tank na ca. een halve dag weer volledig inzetbaar.

De werking en de karakteristieken zijn nagenoeg identiek aan die van een retention tank (zie 4.1.2).

Voordelen:

- Door ondergrondse inpassing slechts een kleine claim op bovengrondse ruimte;
- Extra berging in combinatie met minder vervuilde lozing op het oppervlaktewater.

Nadelen:

- Hoge aanlegkosten.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Bergbezinkvoorzieningen worden meestal aangelegd voor veel grotere toestroomgebieden dan 1 ha. Daarom helpen bergbezinkvoorzieningen vaak niet zo veel om wateroverlast te voorkomen. Bij forse buien zijn ze snel vol. Alleen héél grote bakken kunnen helpen om het gemengde riool wezenlijk minder snel te laten overlopen. De invloed op de waterkwaliteit (door het bezinken van afvalstoffen) is significant.
- Optimaal functioneren hangt af van:
 - o Dimensie van riolsysteem (doorstromend oppervlak, lengte en afschot);
 - o Afvoer capaciteit van oppervlaktewater bij externe overstort;
 - o Locatie in riolsysteem.

4.1.4 Kruipruimtes



Afstromend regenwater kan geborgen worden in kruipruimtes mits deze hiervoor speciaal ontworpen zijn. Dit betekent dat de vloer dampwaterdicht afgewerkt dient te zijn, en de muren geen vocht optrekken of doorlaten in de spouw. Doorvoeren van leidingen en een kruipruimte-luik zijn dan niet toegestaan.

Bij de implementatie van deze maatregel kan onderscheid gemaakt worden in het toepassen onder alle woningen, of het toepassen onder een zo beperkt mogelijk aantal woningen. Er is uitgegaan van leging middels infiltratie en niet via de riolering. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de soort ondergrond. In zandige omgeving infiltreert het water in de kruipruimte veel sneller dan in siltige omgeving.

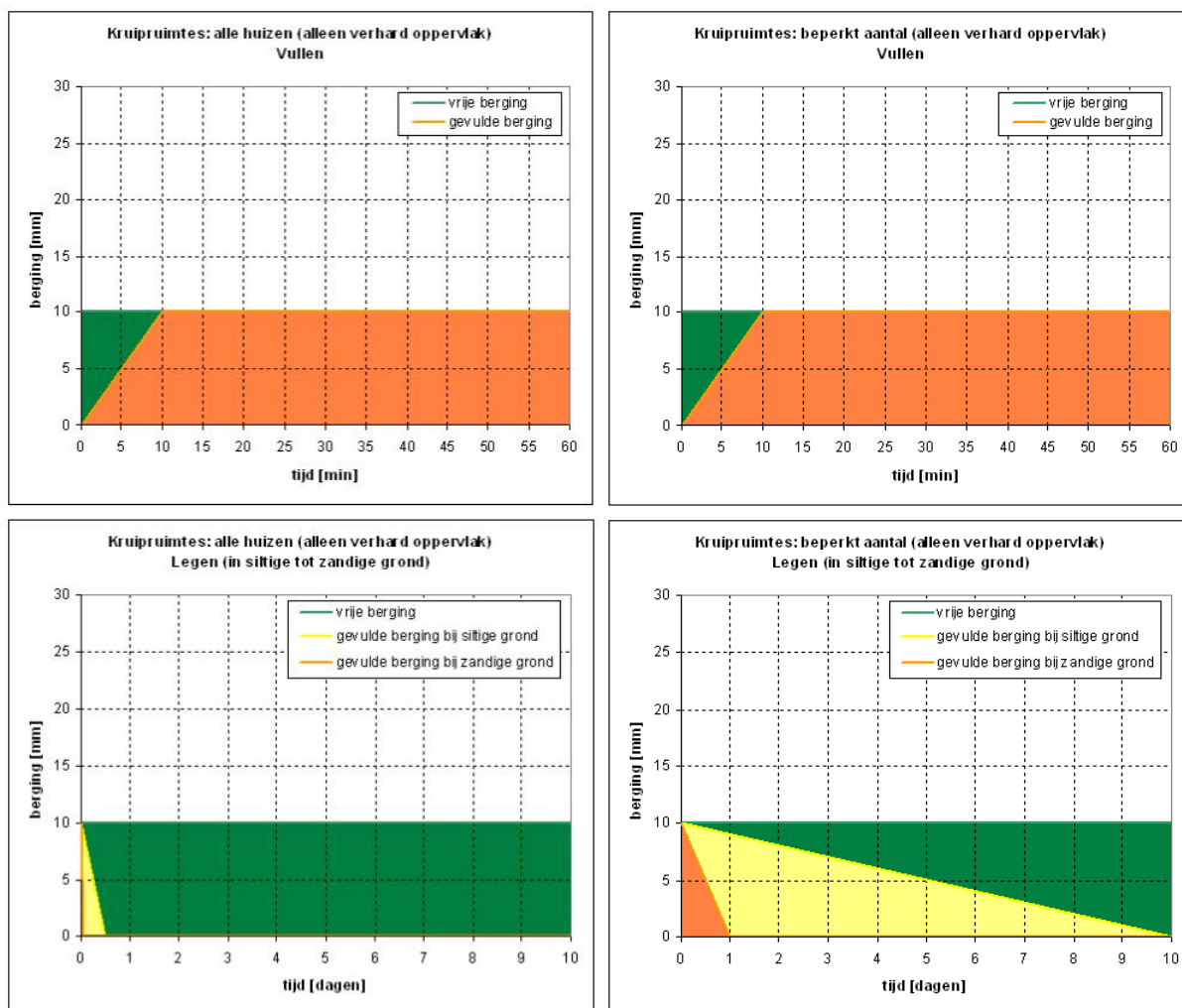
Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Wanneer alle kruipruimte gebruikt worden (20% van het gebied = 2000 m²) komt dit overeen met een waterdiepte in de kruipruimte van 2,5 cm.

Wanneer slechts een beperkt aantal ruimruimtes voor berging geschikt zijn, en de diepte van de kruipruimtes 50 cm bedraagt, is 100 m² kruipruimte nodig (2 à 3 huizen).

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten kan variëren van 1 uur tot 10 dagen, en hangt sterk af van het gebruikte areaal en de infiltratiecapaciteit van de onderliggende bodem.



De benodigde tijd om de kruipruimtes via infiltratie in de bodem te legen, kan in siltige grond dusdanig lang duren dat het ongeveer tien dagen duurt voor opnieuw 10 mm neerslagwater geborgen kan worden.

Voordelen:

- Geen bovengronds ruimtebeslag;
- Grondwateraanvulling.

Nadelen:

- Geen kabels en leidingen onder woning mogelijk.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Het dampdicht afwerken van bestaande woningen is vaak moeilijk te bewerkstelligen.
- Het is nog onduidelijk of de infiltratiecapaciteit van de bodem ook na veelvuldig gebruik hetzelfde blijft. Daarbij komt dat in natte perioden de grondwaterstand tot boven de onderkant van de kruipruimte kan uitstijgen, waardoor infiltratie in ieder geval gestopt wordt.

4.1.5 Waterzakken in kruipruimtes



Afstromend regenwater kan worden geborgen in een zak in de kruipruimte. Dit water kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld het sproeien van de tuin.

Bij de berekening voor het legen van de waterzak is ervan uitgegaan dat de waterzak ook veel sneller leeggepompt kan worden dan nodig is voor het gebruik van dit water in het huis of in de tuin.

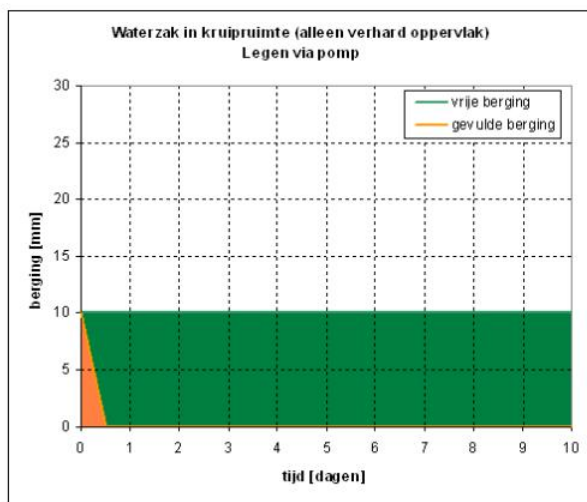
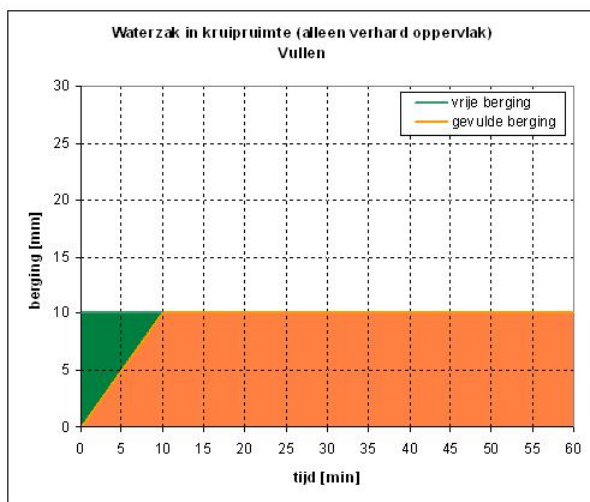
Deze maatregel zal waarschijnlijk minder efficiënt gebruik kunnen maken van de beschikbare kruipruimte dan directe berging in de kruipruimte. Vanwege de complexiteit is bij de berekening uitgegaan van installatie in zo min mogelijk woningen.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een diepte van 50 cm, is 100 m² kruipruimte nodig (4 huizen, omdat niet de complete kruipruimte benut kan worden).

Bij een pompcapaciteit van 4 m³/uur (verdeeld over vier woningen zijn dat vier pompen van elk 1 m³/uur) is de berging na ca. een halve dag weer volledig inzetbaar.



Voordelen:

- Geen bovengronds ruimtebeslag.

Nadelen:

- Door de afgesloten zak kan de kwaliteit van het water aangetast worden.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Nog weinig ervaring met deze maatregel met betrekking tot waterkwaliteit en onderhoud.
- Benutting van het water voor laagwaardig gebruik is mogelijk. Dan duurt het echter veel langer voordat de berging weer compleet beschikbaar is.

4.2 Bovengrondse berging/vertraging van afvoer

4.2.1 Oppervlaktewater



In gescheiden riolsystemen in Nederland wordt neerslagwater via een apart riolsysteem afgevoerd, meestal naar het oppervlaktewater. Voor het beter verwerken van extreme neerslag kan de bergingscapaciteit van het oppervlaktewater worden vergroot. Dit kan door het toelaten van een tijdelijk grotere peilstijging. Uiteraard dient de afvoercapaciteit van het regenwaterriool voldoende groot zijn.

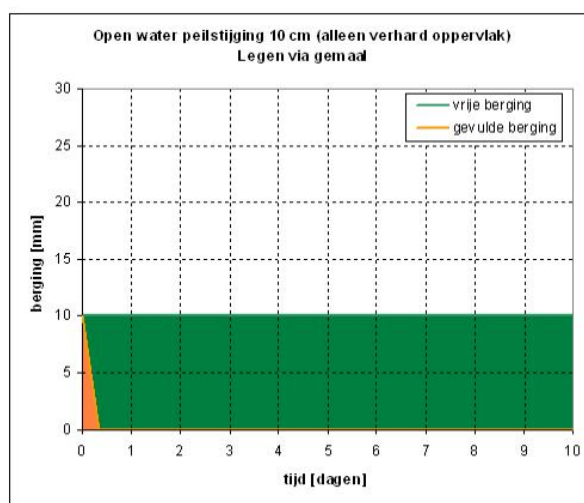
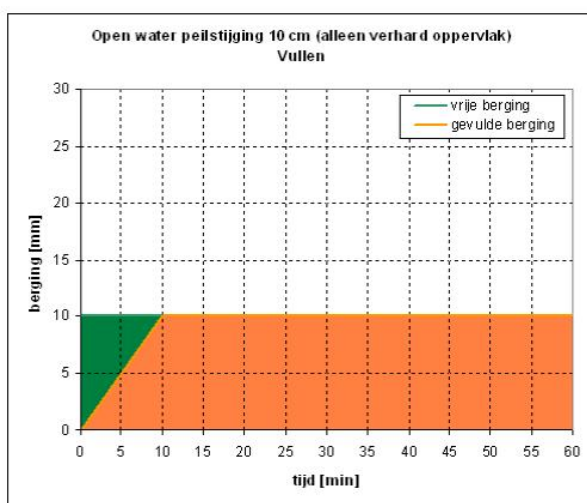
Het neerslagwater kan ook direct oppervlakkig worden afgevoerd naar oppervlaktewater.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een toelaatbare tijdelijke extra peilstijging van 10 cm (boven op de peilstijging door de neerslag die direct op open water valt) is 500 m² oppervlaktewater nodig. De aangenomen aanwezigheid van 5 % oppervlaktewater in het gebied voldoet net aan dit areaal. Dat betekent dat geen extra oppervlaktewater nodig is.

Bij van een pompcapaciteit van 6 m³/uur is de berging na ca. acht uur weer volledig inzetbaar.



Voordelen:

- Het toelaten van een extra peilstijging hoeft, mits het oppervlaktewatersysteem erop berekend is geen extra kosten te vergen.
- Aanleg van extra oppervlaktewater (indien nodig) biedt meer kansen voor “wonen aan water”.

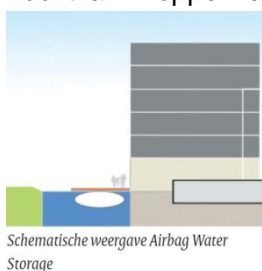
Nadelen:

- In het geval van extra oppervlaktewater leidt dit tot extra ruimtebeslag en mogelijk een lagere grondexploitatie.

Kanttelingen en aandachtspunten:

- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan een probleem vormen voor de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Een aangepaste inrichting kan dit ondervangen.
- De beschikbare berging hangt af van:
 - De toelaatbare peilstijging;
 - Het aanwezige areaal oppervlaktewater;
 - De afvoercapaciteit rioolstelsel;
 - De afvoercapaciteit oppervlaktewater.

4.2.2 Luchtzak in oppervlaktewater



Door een met lucht gevulde zak in oppervlaktewater gedurende extreme neerslag leeg te laten lopen, kan extra water in het oppervlaktewater geborgen worden zonder dat er een extreme peilstijging optreedt. De dimensie van de luchtzak is gelijk aan de hoeveelheid neerslag die geborgen dient te worden.

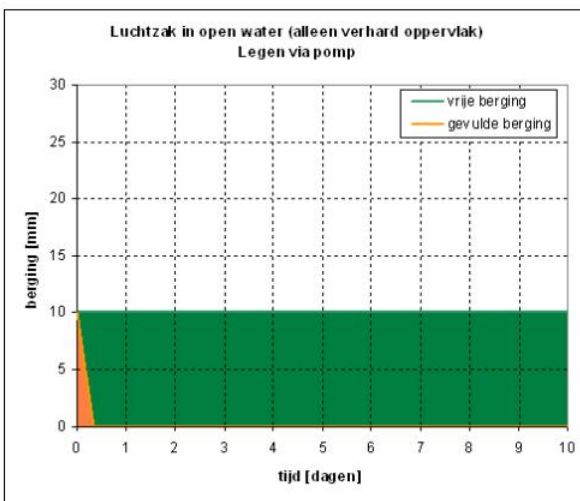
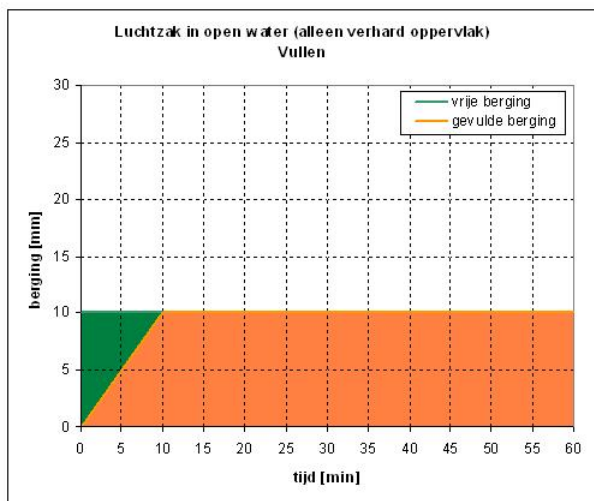
Deze maatregel wordt waarschijnlijk pas interessant als meer gangbare oplossingen niet mogelijk zijn.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een luchtzak met een diepte van 50 cm (de luchtzak moet onderwater blijven) bedraagt het benodigde oppervlak van de luchtzak 100 m².

Bij van een pompcapaciteit van 6 m³/uur is de luchtzak na ca. acht uur weer volledig inzetbaar.



Voordelen:

- Geen extra ruimte beslag.

Nadelen:

- Hoge kosten.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Effect op oppervlaktewaterkwaliteit is nog onvoldoende onderzocht.
- Een met lucht gevulde zak zal moeten worden verzwaaard of verankerd om onder water te blijven.

4.2.3 Verdiepte wegen / verhoogde stoepanden

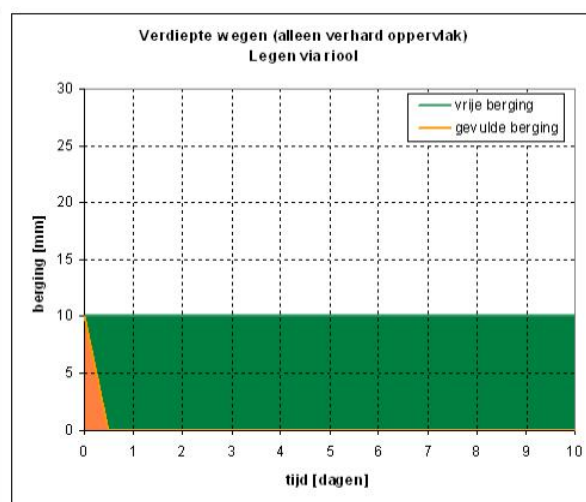
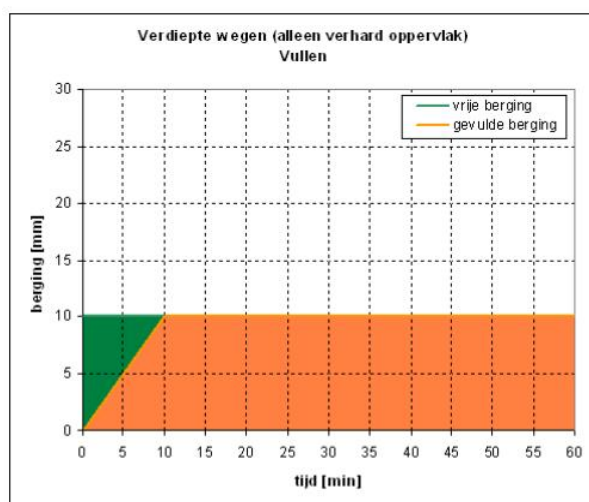


Water kan tijdelijk op een gecontroleerde manier geborgen worden op straten, vooral buiten de hoofdwegen. Dit is het meest effectief in een combinatie van een kleinere rioolafvoercapaciteit en verdiepte wegen waardoor meer afstromend water tijdelijk geborgen kan worden. Compartimentering van de weg, bv. met verkeersdrempels, voorkomt dat water (te snel) wegvloeit naar lagere gebieden die gevoelig zijn voor overstroming door neerslag. Deze maatregel is vooral geschikt in relatief vlakke gebieden.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Een straatoppervlak van 1000 m² leidt tot een gemiddelde waterhoogte op straat van 5 cm. Water op straat wordt afgevoerd via het riool. Er van uitgaande dat de rioolberging (orde 10 mm neerslag op verhard oppervlak) gevuld is voordat er 10 mm water op straat wordt geborgen, en de rioolberging na een halve dag weer beschikbaar moet zijn, duurt het dus ongeveer een halve dag voor de berging op straat weer geheel beschikbaar is.

Voordelen:

- Maatregel kan ook robuust zijn bij extreme condities.

Nadelen:

- Opspattend water bij langsrijdend verkeer;
- Oversteeklocaties dienen begaanbaar te zijn.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- In hellend gebied zorgen verdiepte wegen slechts voor gecontroleerde afvoer. Het bergend vermogen is in hellende gebieden marginaal.

- Deze maatregel kan het best worden geïmplementeerd op momenten dat er onderhoud aan weg of riool noodzakelijk is.
- De kwaliteit van het water op straat kan een risico vormen voor de volksgezondheid.

4.2.4 Berging in/onder wegen



Onder waterdoorlatende bestratingen kan afstromend regenwater worden opgeslagen in een grof poreus medium, of zelfs in een daarvoor aangelegde holle ruimte. Bij deze maatregel wordt er van uitgegaan dat het legen van de berging via infiltratie in de ondergrond plaatsvindt. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt naar de soort ondergrond. In zandige omgeving zal het water in het wegzand veel sneller infiltreren dan in siltige omgeving. Als infiltratie

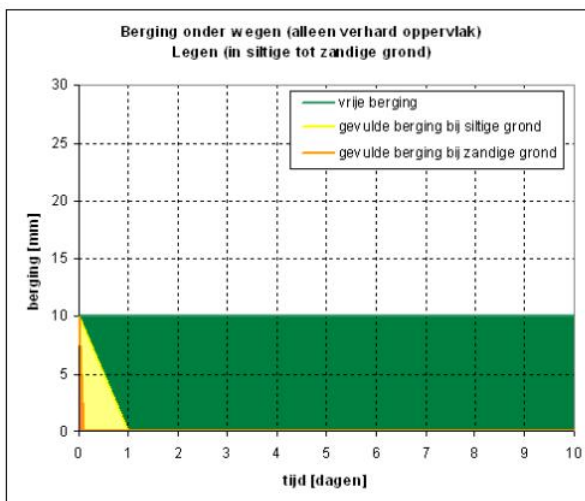
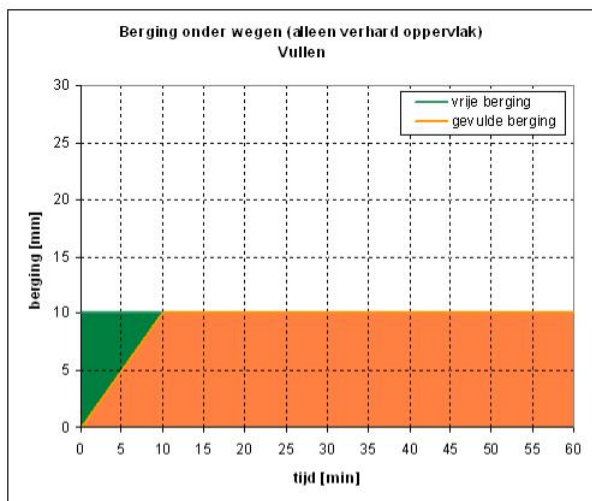
onvoldoende is, zou de berging ook op het riool geloosd kunnen worden. Dan verliest deze maatregel wel een deel van zijn aantrekkingskracht.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Een straatoppervlak van 1000 m² leidt tot een gemiddelde waterhoogte onder de straat van 5 cm. Bij een effectieve porositeit van 25% is een bergende dikte van 20 cm vereist.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten kan variëren van ca. twee uur tot een dag, en hangt sterk af de infiltratiecapaciteit van de onderliggende bodem.



Voordelen:

- Geen bovengronds ruimtebeslag;
- Geen overlast van opspattend water;
- Wegen blijven goed begaanbaar.

Nadelen:

- Gevaar voor opvriezen en gladheid bij vorst neemt mogelijk toe.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Vooral toepasbaar in vlak gebied;

- Voor de waterberging zijn wij uitgegaan van standaard wegzand met een effectieve porositeit van 25%. Er zijn echter ook verschillende commerciële producten beschikbaar waar effectief meer water in geborgen kan worden (effectieve porositeit tot meer dan 95%).

4.2.5 Waterpleinen

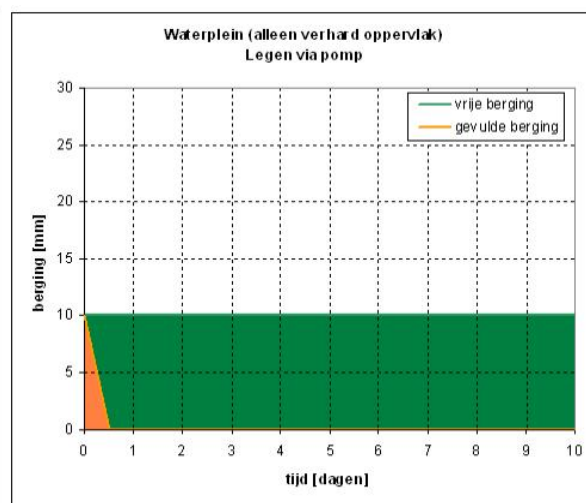
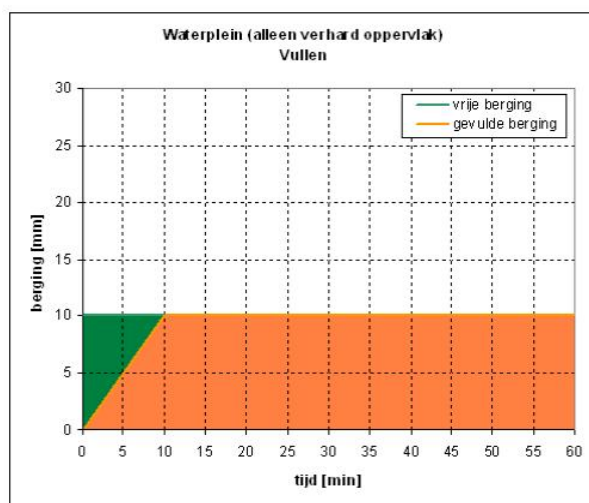


Op een waterplein kan water geborgen worden bij (extreme) neerslag. Het opgevangen water kan met een pomp vertraagd afgevoerd worden naar de riolering of het water kan infiltreren. Als het niet regent, staat het plein droog en is het begaanbaar.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Voor een gemiddelde waterdiepte van 30 cm op het plein, is een oppervlak van 167 m² nodig. Bij van een pompcapaciteit van 4 m³/uur is het waterplein na een halve dag weer volledig inzetbaar.



Voordelen:

- Bewustwording van waterbeheer in de stad;
- Multifunctionele inrichting als plein, speelterrein en waterberging.

Nadelen:

- Achterblijven van rommel die met toestromend water is meegevoerd.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Potentieel gezondheidsrisico bij contact met het water door spelende kinderen.

4.2.6 Groene daken



Een groen dak is gedefinieerd als een extensief groen dak als het groeimedium (grond of gelijkwaardig) maximaal 15 cm dik is.

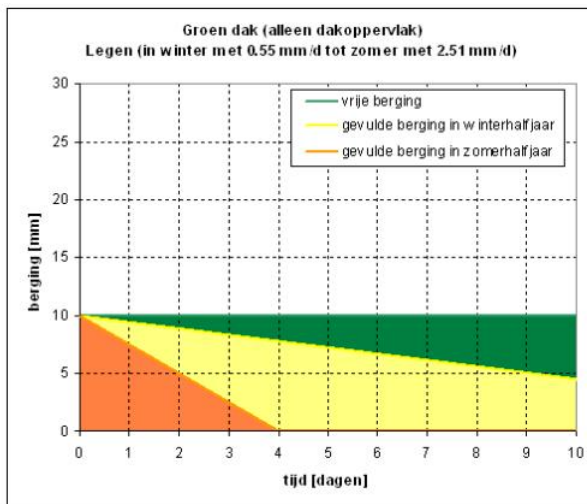
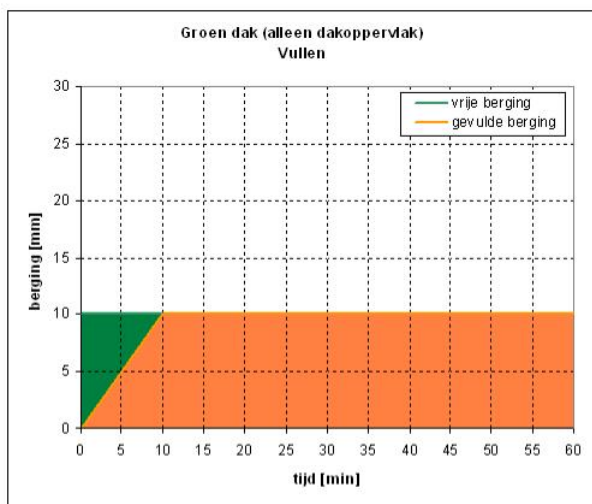
Een groen dak bergt alleen het water dat op het dak zelf valt. Er van uitgaande dat alle daken in het gebied plat zijn en de groene daken een maximaal voor berging beschikbare porositeit van 0,3 hebben, dan kan er een maximum van 45 mm water worden opgeslagen. Op basis van ervaring in het veld kan een effectieve opslag worden verwacht van 5 – 20 mm. De effectiviteit van groene daken wordt voornamelijk bepaald door de verdamping. Deze bepaald hoe snel de berging in het groeimedium weer beschikbaar komt. De verdamping en daarmee de effectiviteit van een groen dak is in de zomer een stuk hoger dan in de winter.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Alleen het water dat direct op daken valt kan worden geborgen. Voor een gebied van 1 ha betekent waarop 10 mm neerslag valt, betekent dat er slechts 20 m³ op daken geborgen kan worden.

Bij een effectieve bergingscoëfficiënt het het groen dak van 30% is een groeimedium met een dikte van 4 cm (de in praktijk ongeveer de minimaal gehanteerde dikte) nodig.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten, hangt sterk af van de optredende verdamping, en kan variëren van minder dan vier dagen in de zomer tot bijna drie weken in de winter.



Voordelen:

- Vergroot leefbaarheid van de stad;
- Extra isolatie;
- Koeling door verdamping.

Nadelen:

- Eventuele waterbehoefte voor beregning van het dak in droge perioden.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Bij bestaande bebouwing niet altijd mogelijk in verband met de bestaande dakconstructie;
- Alleen water dat op het dak valt wordt geborgen;
- De effectieve bergingscoëfficiënt neemt af bij toenemende dikte van het groeimedium.

4.2.7 Daktuinen



Groene daken worden intensief genoemd als ze een groeimedium hebben dat dikker is dan 20 cm. Bij daktuinen kunnen de groeimedia nog veel dikker zijn.

Om een berging van 10 mm te realiseren geldt voor daktuinen hetzelfde als wat voor extensieve groene daken geldt, met dien verstande dat er door het veel dikkere groeimedium een grotere marge in bergingsmogelijkheden zit.

Voordelen:

- Vergroot leefbaarheid van de stad;
- Extra isolatie;
- Koeling door verdamping;
- Mogelijkheden voor stadslandbouw.

Nadelen:

- Eventuele waterbehoefte voor beregening van het dak in droge perioden;
- Hoge constructie eisen aan het dak.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Bij bestaande bebouwing meestal niet mogelijk in verband met de bestaande dakconstructie;
- Alleen water dat op het dak valt wordt geborgen.

4.2.8 Blauwe daken met (geknepen afvoer)



Blauwe daken zijn daken waarop water voor een langere periode geborgen kan worden. De periode van berging varieert van weken, in gevallen dat het water wordt hergebruikt of wordt gebruikt voor verdampingskoeling, tot uren als slechts een vertraging van de afvoer het doel is.

Omdat aangenomen is dat de 10 mm neerslag instantaan wordt toegevoegd aan het systeem, wordt het effect van een blauw dak met geknepen afvoer bepaald door de berging op het dak. De maximale opslagcapaciteit is afhankelijk van de maximale opslaghoogte en het dak oppervlak. De afvoervertraging hangt af van de afvoercapaciteit van de

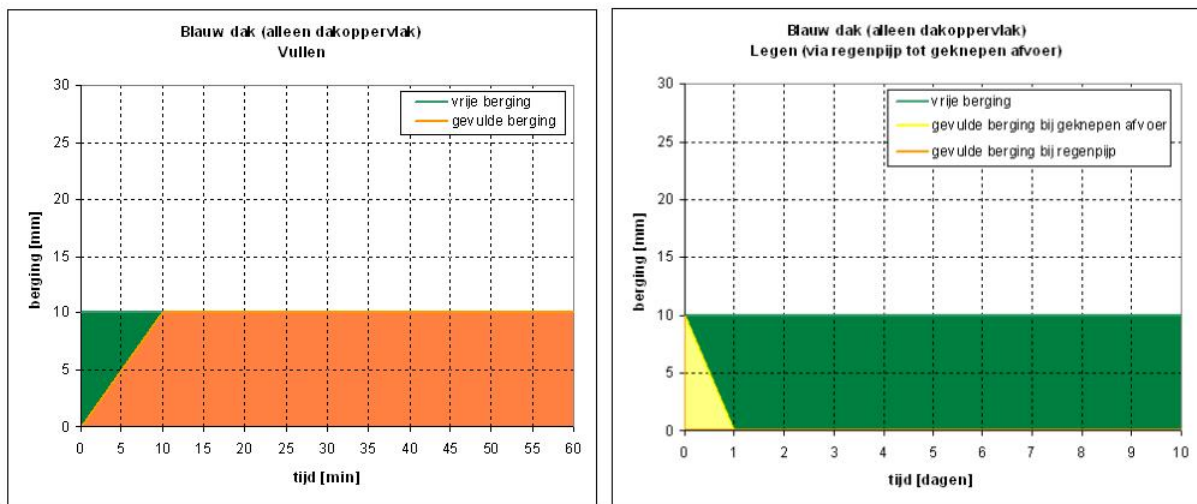
afvoerpijp.

Als het dak geen afvoer heeft, kan het geborgen water alleen via verdamping verdwijnen. De werking van het dak is dan vergelijkbaar met de werking van een groen dak. Alleen zal de verdamping in het algemeen iets hoger zijn.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Alleen het water dat direct op daken valt kan worden geborgen. Voor een gebied van 1 ha betekent waarop 10 mm neerslag valt, betekent dat er slechts 20 m³ op daken geborgen kan worden. Voor het creëren van 10 mm extra berging op de daken is een laag van 1 cm nodig.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten, hangt sterk af van de manier van mogelijke afvoer. Afvoer via een regenpijp (die slechts open of dicht gezet kan worden) is een kwestie van hooguit enkele tientallen minuten, terwijl geknepen afvoer (die continu doorgaat) enkele uren tot dagen kan duren. Als het water op het dak wordt gebruikt voor verdampingskoeling, is het afvoervolume tot een minimum beperkt. Dan vindt afvoer meestal pas plaats na het bereiken van een vooraf vastgestelde maximum waterhoogte op het dak. Dit deel van de afvoer gaat dan net zo snel als afvoer via een regenpijp.



Voordelen:

- Kan leefbaarheid van de stad vergroten door koelende werking in warme perioden.

Nadelen:

- Vooral bij geknepen afvoer kunnen de afvoeropeningen dichtslibben door meegevoerd materiaal.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Bij bestaande bebouwing niet altijd mogelijk in verband met de bestaande dakconstructie;
- Alleen water dat op het dak valt wordt geborgen.

4.2.9 Groene gevels



De bergingscapaciteit van groene gevels hangt af van de interceptiecapaciteit van met name het blad oppervlak van de vegetatie en van de windrichting. Voor verticaal groeiende vegetatie is hier niet veel over bekend.

De verwachting is dat groene gevels geen significante bijdrage leveren aan de bergingscapaciteit.

4.2.10 Berging in gebouwen

Neerslag die op een dak valt kan worden opgeslagen in een regentank in het gebouw. Het opgeslagen water wordt dan meestal gebruikt binnen het gebouw voor laagwaardig gebruik zoals toiletspoeling.

Mogelijkheden voor plaatsing van een regentank zijn onder andere in speciaal aangelegde ruimtes in het gebouw, in de kruipruimte of onder trappen of vloeren.

Voor berging (qua volume, vullen en legen) boven maaiveldniveau gelden dezelfde aannames als voor blauwe daken gelden. Voor berging onder maaiveldniveau gelden dezelfde aannames als voor kruipruimtes gelden.

Voordelen:

- Opgeslagen water kan lokaal gebruikt worden voor laagwaardige doelen.

Nadelen:

- Als water opgeslagen wordt voor gebruik zal er vaak geen ruimte zijn voor berging van afstromend regenwater tijdens een bui, tenzij die bewust wordt ingebouwd.

Kanttelingen en aandachtspunten:

- Bij berging boven maaiveldniveau kan slechts water dat op daken valt, worden opgeslagen.

4.2.11 Regentonnen en opslagtanks



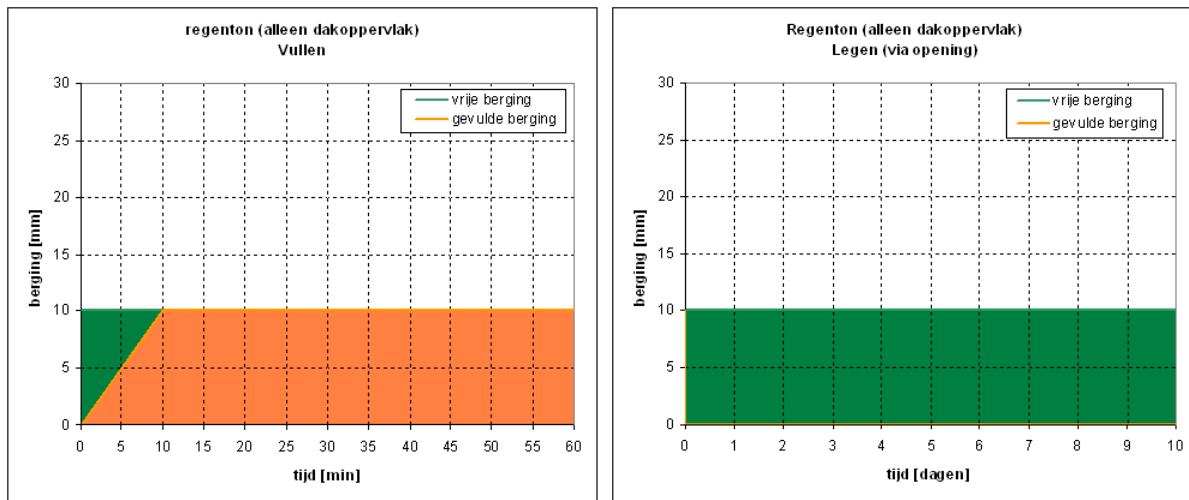
Regentonnen en opslagtanks kunnen gebruikt worden voor de opslag van neerslagwater.

Het opgeslagen water in regentonnen wordt vaak gebruikt voor beregening van de tuin in de zomerperiode. De opslagcapaciteit in regentonnen is beperkt. Opslagtanks kunnen veel groter gedimensioneerd worden. Dit water wordt vaak voor meerdere laagwaardige doelen gebruikt.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Alleen het water dat direct op daken valt kan worden geborgen. Voor een gebied van 1 ha betekent waarop 10 mm neerslag valt, betekent dat er 20 m³ geborgen moet worden, overeenkomend met 40 regentonnen met een inhoud van 0.5 m³.

Indien nodig kan de tijd om de regenton te legen, beperkt worden tot enkele seconden (omkiepen) of enkele minuten (leeg laten stromen via een afsluitbaar gat). Als het water niet gebruikt hoeft te worden (in het winter halfjaar) kan de regenton op deze manier geleegd worden zodra de plassen uit de tuin verdwenen zijn. In de zomer zal het, door het gebruik van het geborgen water voor beregening, veel langer duren (tot meerdere dagen) voor de berging in de ton weer volledig beschikbaar is. Een regenwatertank heeft meestal zo veel bergingscapaciteit dat de benodigde tijd om de berging te legen er niet toe doet.



Voordelen:

- Opgeslagen water kan lokaal gebruikt worden voor beregening.

Nadelen:

- Ruimtebeslag in vaak toch al kleine tuinen.
- Als water opgeslagen wordt voor gebruik zal er vaak geen ruimte zijn voor berging van afstromend regenwater tijdens een bui.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Als water gebruikt wordt voor beregening, zal in regentonnen vaak minder ruimte beschikbaar zijn voor berging van afstromend regenwater tijdens een bui;
- Slechts 20% procent van de neerslag die in het gebied valt, kan worden opgeslagen.

4.3 Ondergrondse infiltratie

Het functioneren van alle infiltratievoorzieningen hangt af van de infiltratiecapaciteit van de ondergrond. Deze kan per grondsoort sterk verschillen, van meerdere meters per dag voor grof zand tot slechts enkele millimeters per dag voor klei. In dit document gaan we voor infiltratie uit van twee type bodems. Een siltige bodem met een infiltratiecapaciteit van 50 mm/dag, en een fijnzandige bodem met een infiltratiecapaciteit van 500 mm/dag. In praktijk zijn de optredende infiltratie snelheden niet constant, maar afhankelijk van diverse in tijd veranderende bodemparameters, waaronder het bodemvochtgehalte.

Daarnaast is het bij infiltratie van belang dat de voorziening in een goed doorlatende grondverbetering wordt gelegd, die een hogere doorlatendheid heeft dan de daaronder liggende natuurlijke bodem. Voor grondverbetering rond infiltratievoorzieningen wordt meestal zand gebruikt met een doorlatendheid van minimaal 10 m/dag. Soms wordt zelfs gebruik gemaakt van grof zand of grind, waarvan de doorlatendheden nog veel groter zijn.

In gebieden met hoge grondwaterstanden worden infiltratievoorzieningen meestal voorzien van een drainagestelsel.

4.3.1 Infiltratie units, infiltratiekratten



Infiltratiekratten zijn gericht op lokaal tijdelijk opvangen en te laten infiltreren van regenwater. Dit zorgt voor een ontlasting van het rioolstelsel tijdens hevige regenbuien. Zodra de infiltratiekratten vol zitten storten deze (in principe) over op het riool. Door neerslag op deze wijze vertraagd af te voeren of te infiltreren kan een teveel aan water beter opgevangen worden. Als de grond geschikt is voor infiltratie (en de kratten dus niet alleen bergen / vertraagd afvoeren), zorgt meer water in het systeem er ook voor dat de grond minder snel uitdroogt of verzilt.

Omdat het water niet instantaan in de omliggende grondverbetering infiltreert, is deze in de berekening van de benodigde berging niet meegenomen. Bij het gebruik van een zeer grof poreus medium (zoals grind) moet dat wel gebeuren, en zal voor eenzelfde hoeveelheid tijdelijke berging een kleiner aantal kratten nodig zijn.

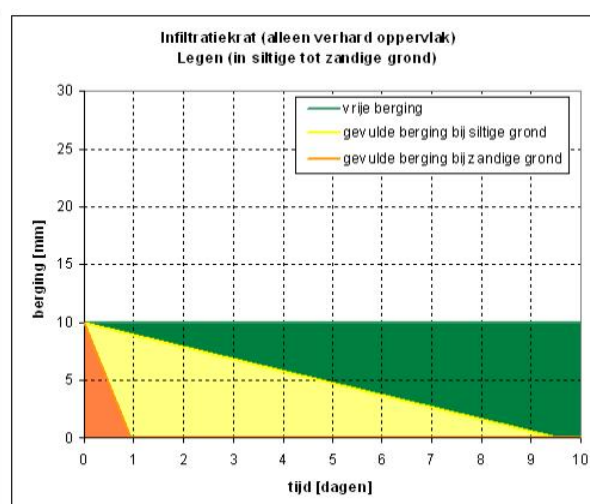
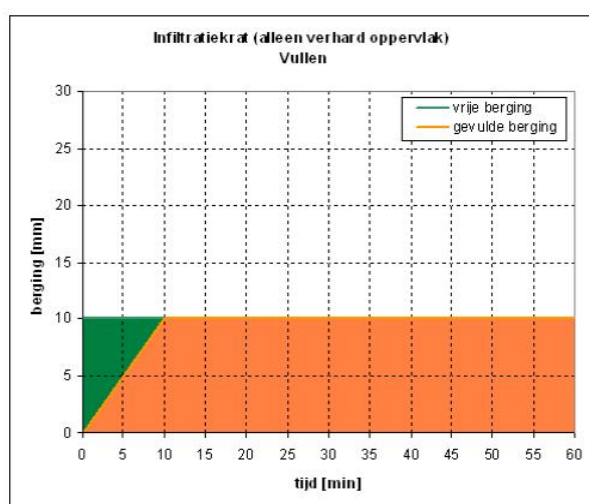
Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Voor krattenrijen met een effectieve porositeit van 95%, een totale breedte van 1 m en een hoogte van 50 cm, bedraagt de benodigde lengte 105 m.

Meestal liggen de kratten onder een enkele dm dikke grondverbetering. Bij identieke krattenrijen onder een grondverbetering (zand, met een effectieve porositeit van 25%) van 30 cm dikte en gemiddeld 1.2 m breedte, wordt de benodigde lengte 20 m korter.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten kan variëren van 1 tot 10 dagen, en hangt sterk af van het gebruikte areaal en de infiltratiecapaciteit van de onderliggende bodem.



Voordelen:

- Aanvulling bodemvocht en grondwater;
- Geen extra bovengronds ruimtebeslag.

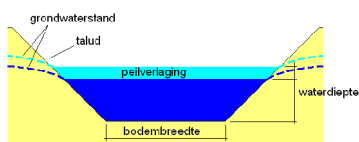
Nadelen:

- Moeilijk bereikbaar voor onderhoud.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Over de effectiviteit van infiltratiekrachten op lange termijn is nog niet zo veel bekend. Op sommige locaties liggen ze al meer dan vijftien jaar, maar veel onderzoek is hier nog niet naar gedaan;
- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan een probleem vormen voor de grondwaterkwaliteit.
- Een sedimentatieput in de toevoerleiding is nodig om toestromend sediment af te vangen. Dat moet dichtslibben van de achterliggende infiltratievoorziening zoveel mogelijk voorkomen.

4.3.2 Drooglegging/ophoging



Schema verlaging waterpeil en grondwaterstand

Extra drooglegging door verlaging van het waterpeil zorgt voor meer bergingsvolume in oppervlaktewater. Daarnaast zal de grondwaterstand in het omliggende gebied iets omlaag gaan, waardoor ook de bergingscapaciteit in de bodem en de infiltratiecapaciteit van de bodem toeneemt.

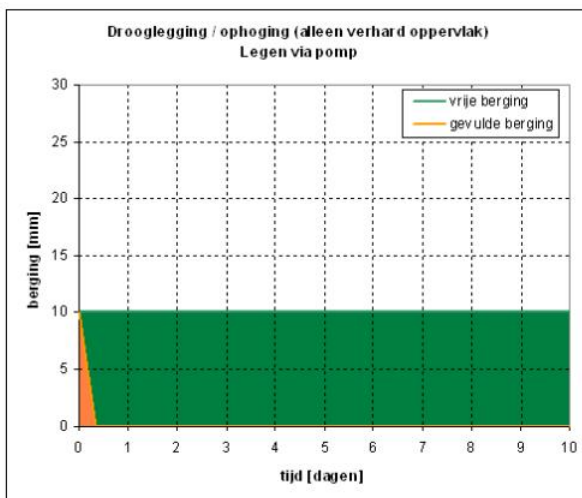
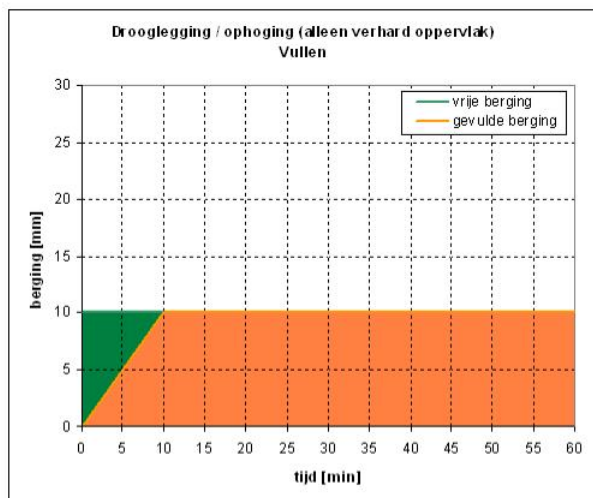
Het opnieuw beschikbaar maken van de tijdelijke berging gebeurt door water uit het gebied te pompen. Voor de pompcapaciteit is uitgegaan van de gemaalcapaciteit voor het leegmalen van een poldergebied, zijnde ca. 14 mm/dag voor het totale bemalingsgebied.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van 500 m² oppervlaktewater is een toelaatbare extra peilverlaging van 10 cm nodig (boven op de waterschijf door de neerslag die direct op open water valt).

Bij van een pompcapaciteit van 6 m³/uur is de berging na ca. acht uur weer volledig inzetbaar.



Voordelen:

- Naast de direct beschikbare “snelle” berging in het oppervlaktewater is ook de “langzame” berging in het grondwater groter. Dit vergroot de effectiviteit van eventueel aanwezige infiltratievoorzieningen.

Nadelen:

- Versterkte bodemdaling in klei- en veengebieden.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Verlagen van het waterpeil kan leiden tot extra verzakkingen en schade aan bestaande gebouwen.

4.3.3 Infiltratieputten, zakputten (diep en ondiep)



Het neerslagwater wordt verzameld in grote putten, van waaruit het naar de ondergrond infiltreert. Deze maatregel is vooral geschikt voor gebieden met een goed doorlatende bodem in combinatie met een diepe grondwaterstand.

Er kunnen twee basistypen infiltratieputten worden onderscheiden. Putten met een bodem boven het grondwater en putten met een bodem in het grondwater.

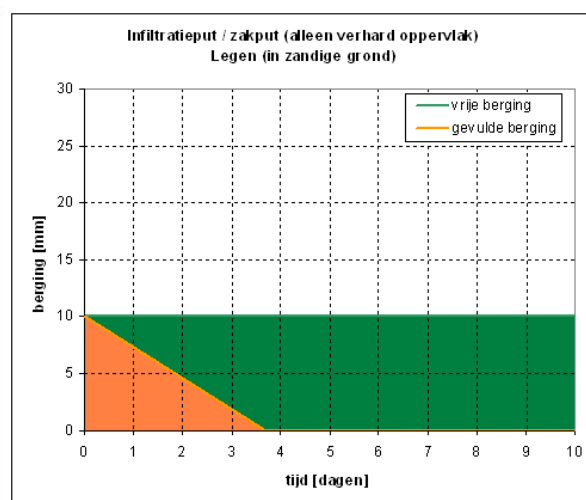
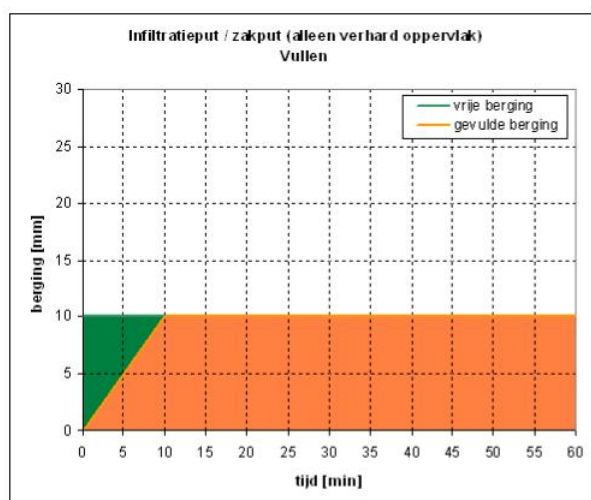
De diepte en het volume van putten kan sterk variëren en is afhankelijk van de lokale omstandigheden.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een puthoogte van 2 m en putdiameter van 2 m zijn 8 putten nodig. Een grindomstorting met een buitendiameter van 3 m en een effectieve porositeit van 35% vermindert het benodigde aantal putten naar 6.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten bedraagt meer dan drie dagen (uitgaande van een infiltratiecapaciteit van 500 mm/dag voor zandige bodem).

Voordelen:

- Aanvulling bodemvocht en grondwater;
- Geen extra bovengronds ruimtebeslag.

Nadelen:

- Relatief kostbaar in aanleg.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Als de grondwaterstand hoger is dan de bodem van de put staat er water in de put en vermindert de bergingscapaciteit van de put. Hierdoor en zijn er meer putten nodig om hetzelfde effect te krijgen. Als de put voor de helft onder water staat, zijn twee keer zo veel putten nodig voor hetzelfde bergende effect.
- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan soms een probleem vormen voor de grondwaterkwaliteit.
- Een sedimentatieput in de toevoerleiding is nodig om toestromend sediment af te vangen. Dat moet dichtslibben van de achterliggende infiltratievoorziening zoveel mogelijk voorkomen.

4.3.4 Infiltratiegreppels



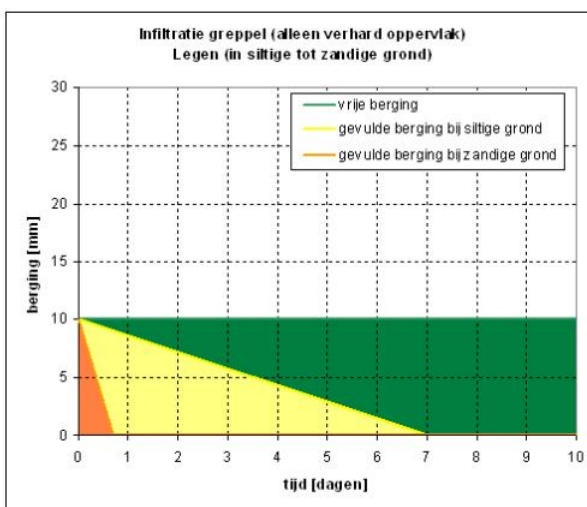
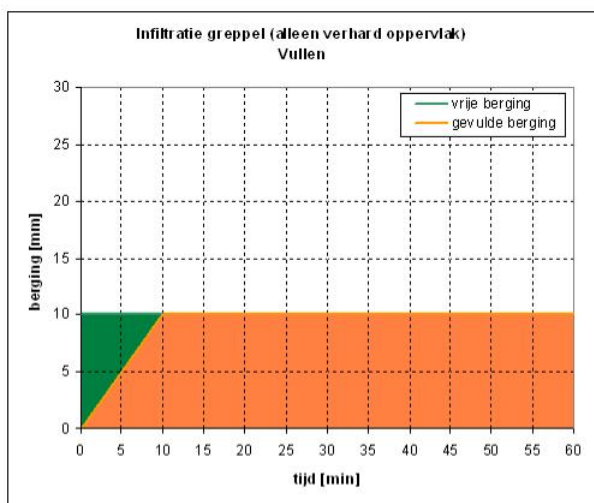
Het principe van infiltratiegreppels is hetzelfde als dat van infiltratiekragen. Alleen de effectieve porositeit in infiltratiegreppels is lager. Het afstromende regenwater wordt via een pijp de infiltratiegreppel ingevoerd. De greppel wordt vaak afgedekt met een enkele dm dikke bodemlaag met begroeiing.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Voor greppels met een effectieve porositeit van 35% (grind), een breedte van 2 m en een diepte van 1 m, bedraagt de benodigde lengte 71 m.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten varieert van ongeveer 18 uur in goed doorlatende bodem tot een week in minder goed doorlatende bodem.



Voordelen:

- Aanvulling bodemvocht en grondwater.

Nadelen:

- Moeilijk bereikbaar voor onderhoud.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan soms een probleem vormen voor de grondwaterkwaliteit.
- Een sedimentatieput in de toevoerleiding is nodig om toestromend sediment af te vangen. Dat moet dichtslibben van de achterliggende infiltratievoorziening zoveel mogelijk voorkomen.

4.3.5 Infiltratietransportriolen (IT-riolen)



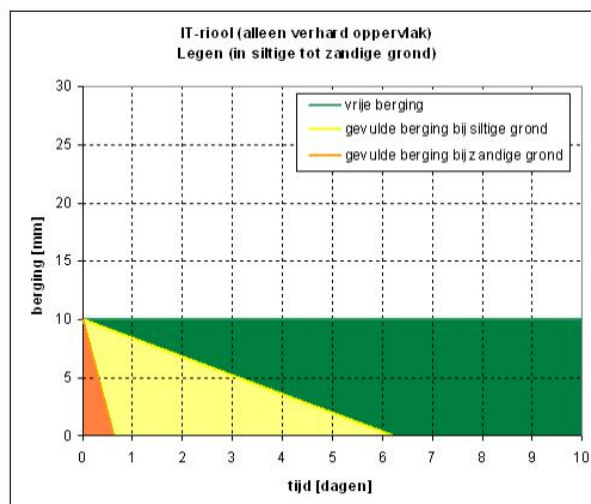
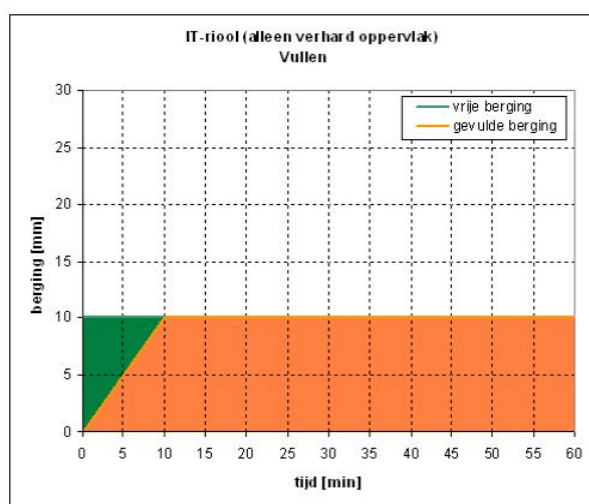
IT staat voor Infiltratie en Transport. Een infiltratiebuis is meestal een geperforeerde buis omwikkeld met geotextiel, hoewel er tegenwoordig ook varianten van poreus beton bestaan. Bij beide varianten infiltreert een deel van het water onderweg en wordt aan het grondwater toegevoegd. Alleen bij zware regenval komt een deel van het water in het oppervlaktewater terecht. Een IT-riool ligt meestal horizontaal in tegenstelling tot gewone riolering die onder afschot ligt.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een diameter van het infiltratieriool van 0.4 m is een lengte van 398 m vereist. In geval van vervanging van alle bestaande normale rioolbuizen, is een toename van de rioolbuisdiameter met 56% nodig om 10 mm neerslag extra te kunnen bergen.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten varieert van ruim een halve dag in goed doorlatende bodem tot een kleine week in minder goed doorlatende bodem.

Voordelen:

- Aanvulling bodemvocht en grondwater;
- Geen extra bovengronds ruimtebeslag.

Nadelen:

- Door slibafzetting wordt de infiltratiecapaciteit door de bodem van de buis vaak snel kleiner.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan soms een probleem vormen voor de grondwaterkwaliteit.

4.3.6 Infiltratie-drainage riolen (ID-riolen)

Infiltratie-drainage riolen hebben een vergelijkbare werking als infiltratie-transportriolen maar hebben ook een drainerende functie. Drainage vindt slechts in een deel van het jaar en / of een deel van het riool plaats.

Bijkomend voordeel t.o.v. IT-riolen:

- In natte omstandigheden kan ook grondwater worden afgevoerd.

4.4 Oppervlakte infiltratie en afvoervertraging

4.4.1 Wadi's



Een wadi is een ondiepe brede laagte waarin het regenwater wordt verzameld. Het regenwater stroomt eerst in de wadi, waarna het in de bodem infiltreert en naar het grondwater zakt of naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd.

Een wadi bestaat uit verschillende lagen. De toplaag heeft een zuiverende werking. Na infiltratie door de toplaag komt het water in een ondergrondse infiltratievoorziening bestaande uit zand of grind, van waaruit het water verder de bodem intrekt of wordt afgevoerd. Tussen de toplaag en de ondergrondse infiltratievoorziening bevindt zich soms ook een directe verbinding, de slokop, die functioneert als een overstort.

We onderscheiden hier twee basistypen, wadi's met en zonder drain. Wadi's met drain voeren een deel van het geborgen water versneld af naar het oppervlaktewater. Zonder drain gaat die afvoer ook via het grondwater.

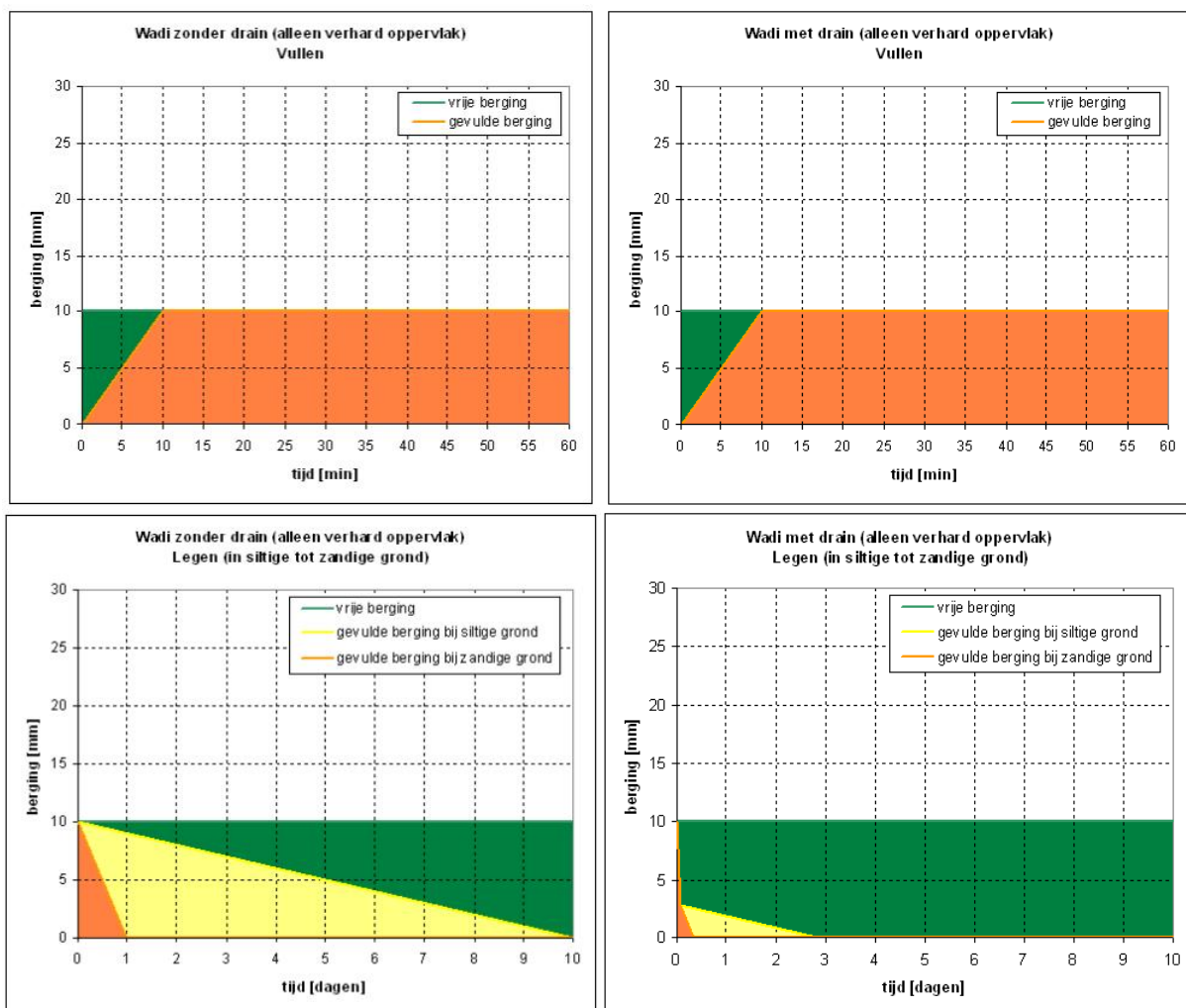
Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een wadi met een infiltratiebed van 1 m breed en 0,8 m diep en een effectieve porositeit van 25%, onder een terreinverlaging met een bovenbreedte van 2 meter en een diepte van 20 cm is een totale wadi-lengte van 100 m vereist.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten, hangt af van de aanwezigheid van een drain.

Bij wadi's zonder drain varieert de benodigde tijd van ongeveer een dag voor wadi's in goed doorlatende bodem tot ongeveer tien dagen voor wadi's in minder goed doorlatende bodem. Bij wadi's met een drain, waarin een peil van 45 cm onder maaiveld wordt gehandhaafd, varieert de benodigde tijd van ruim acht uur tot bijna drie dagen.

Voordelen:

- Geen en/of vertraagde afvoer naar het oppervlaktewater;
- Oppervlakkige adsorptie van verontreiniging in toplaag zorgt voor gedeeltelijke zuivering water.

Nadelen:

- Moeilijk bereikbaar voor onderhoud.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- De effectiviteit van een wadi kan verhoogd worden door gelijkmatige instroom over de lange zijde van de wadi, i.p.v. via de kopse kant.

4.4.2 Doorlatende/waterpasserende verhardingen



Doorlatende verharding is erop gericht het neerslagwater op locatie te laten infiltreren in de onderliggende ondergrond. Water infiltreert door de voegen van de klinkers of tegels of in het granulaat van ZOAB. Klinker- en tegelverhardingen zijn vooral effectief bij buien met een lage intensiteit, terwijl de hoge doorlatendheid van ZOAB ervoor zorgt dat ook bij hoge intensiteit relatief veel water geborgen kan worden.

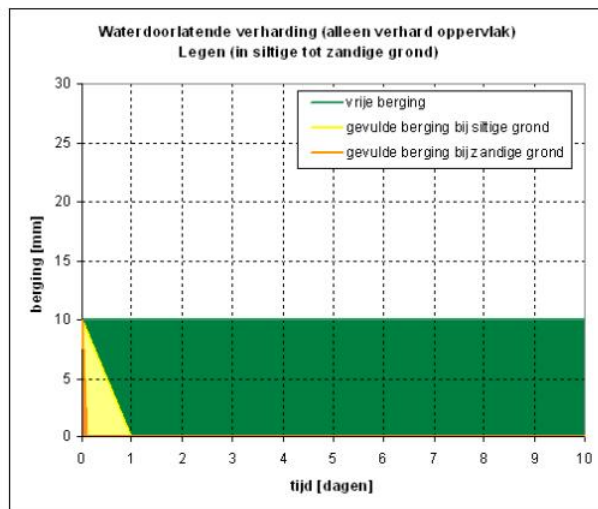
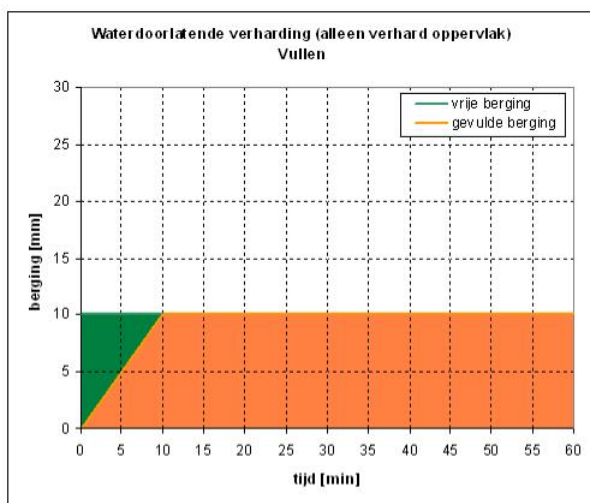
Doordat meer water in het gebied wordt vastgehouden neemt de kans op overlast door verdroging af.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Bij aanvoer uit 50% van het gebied (alleen verhard gebied), is voor 10 mm extra neerslag op 1 ha, 50 m³ extra berging nodig.

Uitgaande van een wegooppervlak van 1000 m² en een zandonderlaag met een effectieve porositeit van 25% is een diepte van 20 cm vereist.

De benodigde tijd om de berging opnieuw in te kunnen zetten, varieert van een paar uur tot ongeveer een dag, afhankelijk van de doorlatendheid van de onderliggende bodem.



Voordelen:

- Aanvulling bodemvocht en grondwater;
- Geen extra bovengronds ruimtebeslag.

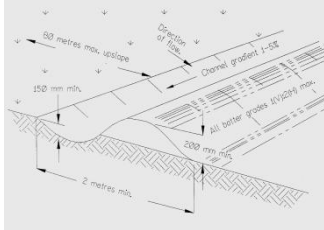
Nadelen:

- Dichtslibbing van de bovenlaag;
- Grotere kans op gladheid bij vorst.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan soms een probleem vormen voor de grondwaterkwaliteit.

4.4.3 Maaiveld aanpassing, bovengrondse afvoer omleiden



Omleiden van de oppervlakkige afstroming kan afstroming naar lokale depressies waar het water overlast of schade veroorzaakt voorkomen. Deze maatregel is erop gericht het afstromende neerslagwater via verschillende wegen naar plekken te leiden waar het probleemloos geborgen kan worden. Als al het water via één en dezelfde route naar de berging stroomt, zal op deze route een grotere waterdiepte worden bereikt, met dus een

grotere kans op wateroverlast.

Deze maatregel levert feitelijk geen extra berging op, maar kan door slim inzetten toch enorme verlichting van de wateroverlast geven.

Voordelen:

- Vergt vaak maar kleine ingrepen, soms is een verkeersdrempel al genoeg om het water een andere kant op de sturen.

Nadelen:

- Creëert geen extra berging.

Kanttelingen en aandachtspunten:

- Deze maatregel vormt slechts een lokale oplossing;
- Aanbrengen van systematische hoogteverschillen en goed afschot stelt hoge eisen aan de stratenmakers.

4.4.4 Parken en groenstroken

Parken en groenstroken kunnen gebruikt worden voor het bergen van water. De makkelijkste implementatie is afstromend regenwater van paden en wegen direct af te voeren naar het naastgelegen groen. Elementen die kunnen worden ingezet, zijn in de hieronder genoemde paragrafen besproken:

- Oppervlaktewater (in parken), Paragraaf 4.2.1
- Infiltratiekragen, Paragraaf 4.3.1
- Infiltratieputten, Paragraaf 4.3.3
- Infiltratiegreppels, Paragraaf 4.3.4
- Wadi's, Paragraaf 4.4.1
- Maaiveld aanpassing 4.4.3

4.5 Overige fysieke maatregelen

4.5.1 Pomp capaciteit vergroten

Door het opvoeren van de pompcapaciteit kan meer water worden afgevoerd. Daarbij is het van belang dat de ontvangende locatie de toegenomen capaciteit moet kunnen verwerken.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Voor het vrijwel instantaan afvoeren van 10 mm neerslag (in 10 minuten) voor een afstromend oppervlak van 0.5 ha (alleen verhard gebied) is een pompcapaciteit van maar liefst 300 m³/uur nodig. Bij een mogelijk langere afvoertijd, kan worden volstaan met een lagere pompcapaciteit.

Kantttekeningen en aandachtspunten:

- Bij extreme neerslagintensiteit is bijdrage van extra pompcapaciteit aan voorkomen van overlast beperkt.

4.5.2 Voorbemalen/versneld afvoeren

Bij gescheiden riolsystemen kan voorafgaand aan de bui het ontvangende oppervlaktewaterpeil verlaagd worden, waardoor een groter bergingsvolume ontstaat.

Berging van 10 mm extra neerslag op 1 ha:

Voor het bergen van 10 mm extra neerslag is het nodig 50 m³ water voorafgaand aan de bui weg te pompen. Uitgaande van een beschikbare tijd om voor te malen van 1 uur is een pompcapaciteit van 50 m³/uur nodig. Naarmate de beschikbare tijd om voor te bemalen langer wordt, gaat de vereiste pompcapaciteit omlaag. Dan neemt het risico op onnodig voorbemalen (met mogelijk verdroging als gevolg) echter ook toe.

Voordelen:

- Lage kosten als de infrastructuur al aanwezig is.

Nadelen:

- Risico op verdroging, bij onterecht voorbemalen gevolgd door een lange droge periode.

4.5.3 Sturing / Real time control (RTC)

Van oudsher slaan rioolgemalen aan zodra het water in de riolering boven het aanslagpeil stijgt en slaan weer af zodra ze onder het lager gelegen afslagpeil daalt.

Omdat de capaciteit, gereserveerd voor de regenwaterafvoer, van de pompen in gemengde rioolstelsels relatief klein is (7 mm/uur) in vergelijking met extreme neerslag gebeurtenissen zal het effect van de RTC op wateroverlast naar verwachting klein zijn. De vuiluitworp via de riooloverstort kan wel aanzienlijk worden beperkt.

4.5.4 Afkoppelen

Onder het afkoppelen van riolering wordt verstaan het scheiden van de afvalwaterstroom en de neerslag afvoer in twee gescheiden stelsels van buizen. Hierbij wordt het neerslagwater meestal naar het oppervlaktewater afgevoerd. Een vaak gebruikt alternatief is afvoer naar infiltratievoorzieningen. Het afvalwater wordt net als in het gemengde rioolstelsel naar de rioolwaterzuivering afgevoerd. Veel van de in dit hoofdstuk genoemde maatregelen zijn feitelijk onderdeel van het afkoppelen van riolering.

Voordelen:

- Ontlasting van rioolwaterzuiveringsinstallatie;
- Beperking van wateroverlast uit gemengde riolering;
- Beperking van het volume overstortend rioolwater.

Nadelen:

- Grotere kans op verstopping van het riool door verminderde doorspoeling.

Kantttekeningen en aandachtspunten:

- Het oppervlaktewatersysteem en / of het grondwatersysteem moeten ingericht zijn op het verwerken van meer regenwater;
- De soms slechte kwaliteit van afstromend regenwater (bijv. nutriënten, metalen) kan soms een probleem vormen voor de grondwaterkwaliteit.

4.5.5 Aanpassing rioolstelsel

Lokale overlast van water op straat vanuit de riolering kan soms opgelost worden door aanpassing van het rioolstelsel. Naast het vergroten van rioolbuizen kan dit onder andere door:

- Korstsluitingen en bypasses in riolering;
- Aanjaaggemalen om lokaal water in de riolering sneller af te voeren;
- Verlagen overstortdrempels.

4.5.6 Acceptatie

Het vergroten van de acceptatie van “water op straat” bij extreme neerslag kan ervoor zorgen dat dit minder als overlast wordt ervaren. Dit kan alleen als er geen of nauwelijks schade wordt geleden door “water op straat”. Door een waterrobuuste inrichting van wegen, gebouwen en nutsvoorzieningen kan dit worden gerealiseerd.

Voordelen:

- Geen directe kosten.

Nadelen:

- Mogelijk verlaging woongenot, door toenemende hinder.

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Werkt vooral bij lokaal stagnerend water op straat, en in mindere mate bij uittredend water uit de (gemengde) riolering;
- Kan alleen buiten de hoofdwegen;
- Maatregel alleen effectief als er geen overlast optreedt;
- Communicatie met bewoners is essentieel.

4.5.7 Onderhoud



Door de verbetering van het onderhoud aan riolering (Ten Veldhuis, 2011) kan de robuustheid van het rioolstelsel vergroot worden en kan wateroverlast verminderd worden. Veel meldingen van wateroverlast komen voort uit verstoppingen van kolken en rioolbuizen.

Voordelen:

- Geen extra infrastructuur;

Nadelen:

- Hogere onderhoudskosten;

Kanttekeningen en aandachtspunten:

- Goed onderhoud betaalt zich meestal terug door minder hoge herstel- of vervangingskosten, en minder frequent overlast.

5 Literatuur

- Donkers, E. (2010). Swale Filter Drain System: Inflow – discharge relation. MSc.-thesis, TU Delft.
- Kluck, J., Luijtelaar, H. V., (2010). Extreme neerslag in bebouwd gebied. Rioned nieuws, 3, 2.
- KNMI (2102). Maandoverzichten van het weer in Nederland, Januari t/m December 2011. Web-site: <http://www.knmi.nl/klimatologie/mow/>
- MWH B.V., (2011). Maatregelenoverzicht klimaatadaptatie.
- Neo, H.C. (2011). Quantitative comparison on the performance of an infiltration (IT) drain system. MSc.-thesis, TU Delft.
- Ten Veldhuis, J.A.E., (2010). Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas. Proefschrift.
- Vaes, G., Bouteligier, R. & Berlamont, J, (2004) Het ontwerp van infiltratievoorzieningen. Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven.
- Van de Ven, F.H.M., (2011). CT5510 Watermanagement in Urban Areas, TU Delft.
- Van Spengen, J. (2010). The effects of large-scale green roof implementation on the rainfall-runoff in a tropical urbanized subcatchment. A Singapore case study. MSc.-thesis, TU Delft.

B Overzicht kentallen maatregelen

Maatregel	Afvoerend areaal	Oppervlak [m ²]	Diepte [m] Anders	Vuistregel berging over het totale oppervlak [m]	Ledigingstijd [d]	Opmerking	Beschrijving in rapport
Ondergrondse berging/vertraging							
Riolering vergroten	50%	-	- 55% grotere buisdiameters		0.5	Huidig berging in gemengde stelsels is 7 mm, om 10mm extra te bergen zijn 55% grotere buisdiameters nodig	4.1 4.1.1
Ondergrondse berging	50%	50	1	L x B x H / CA	0.5	pompcapaciteit voor legen: 4 m ³ /uur	4.1.2
Berg-bezinkvoorziening	50%	50	1	L x B x H / CA	0.5	pompcapaciteit voor legen: 4 m ³ /uur	4.1.3
Kruipruimtes (alle)	50%	2000	0.025	L x B x H / CA	0.05 - 0.5	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.1.4
Kruipruimtes (50 cm berging)	50%	100	0.5	-	1 - 10	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.1.4
Waterzak in kruipruimte	50%	2000	0.025	L x B x H / CA	0.5	pompcapaciteit voor legen: 4 m ³ /uur	4.1.5
Bovengrondse berging/vertraging							
Oppervlaktewater	55%	550	0.12	L x B x H / CA	0.33	of 0.12 m extra peilstijging of 550 m ² extra open water, bij toelaatbare stijging van 0.1 m. Gemaalcapaciteit voor legen: 6 m ³ /uur	4.2 4.2.1
Onderwater luchtzak	55%	50	1	L x B x H / CA	0.33	Gemaalcapaciteit voor legen: 6 m ³ /uur	4.2.2
Verdiepte wegen	50%	1000	0.05	L x B x H / CA	0.5	legen via riool, dus in een halve dag	4.2.3
Berging in/onder wegen	50%	1000	0.2	L x B x H / CA	0.1 - 1	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.2.4
Waterplein	50%	167	0.3	L x B x H / CA	0.5	pompcapaciteit voor legen: 4 m ³ /uur	4.2.5
Groene daken	20%	2000	0.033	L x B x H x Θ / CA	4 - 12	verdamping zomer (2.3 mm/d) - winter (0.8 mm/d)	4.2.6
Daktuinen	20%	2000	0.033	L x B x H x Θ / CA	4 - 12	verdamping als groene daken, maar minder relevant door grotere berging	4.2.7
Blauwe daken	20%	2000	0.01	L x B x H / CA	0.01	afvoerpijp openen als er weer afvoercapaciteit is	4.2.8
Blauwe daken met geknepen afvoer	20%	2000	0.01	L x B x H / CA	1	Vertraagde afvoer, die begint zodra er water in de berging zit	4.2.8
Groene gevels	-	-	-	-	-	geen significante berging	4.2.9
Berging in gebouwen (hoog)	20%	-	- 20 m ³	L x B x H / CA	0.01	vergelijkbaar met blauwe daken	4.2.10
Berging in/tussen gebouwen (laag)	50%	-	- 50 m ³	L x B x H / CA	0.05 - 10	vergelijkbaar met berging in kruipruimte	4.2.10
Atrium / hofje	-	-	- 50 m ³	-	0.05 - 10	vergelijkbaar met berging in kruipruimte	4.2.10
Kelder en fundering	-	-	- 50 m ³	-	0.05 - 10	vergelijkbaar met berging in kruipruimte	4.2.10
Regentonnen	20%	20	1 20 m ³ , c.a. 40 regentonnen	L x B x H / CA	0.01	afvoergat openen als er weer afvoercapaciteit is	4.2.11
Ondergrondse infiltratie							
Infiltratie units, infiltratiekratten	50%	105	0.5	L x B x H / CA	1 - 10	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.3 4.3.1
Extra drooglegging/ophoging	50%	550	0.1	A x H / CA	0.33	Gemaalcapaciteit: 14 mm/d neerslag op het gehele bemalingsgebied	4.3.2
Infiltratie putten (gw op 0.75m)	50%	67	0.75 \approx 21 putten van \varnothing 2m	N x L x B x H / CA	0.75	in zandige grond (0.5 m/d)	4.3.3
Infiltratie putten (gw op 2m)	50%	25	2 \approx 8 putten van \varnothing 2m	N x L x B x H / CA	2	in zandige grond (0.5 m/d)	4.3.3
Infiltratie greppels	50%	143	1	L x B x H x Θ / CA	0.75	in zandige grond (0.5 m/d)	4.3.4
Infiltratietransportriolen	50%	-	- 55% grotere buisdiameters of 400 m buis \varnothing 40 cm	L x 0.25 π \varnothing^2	0.5 - 6	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond, zie riolering	4.3.5
Infiltratie-drainage riolen	50%	-	- 55% grotere buisdiameters of 400 m buis \varnothing 40 cm	L x 0.25 π \varnothing^2	0.5 - 6	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond, zie riolering	4.3.6
Bovengrondse infiltratie/vertraging							
Wadis (bovengronds opslagdeel)	50%	149	0.4	L x Hb x (B + Hb / S) / CA	0.01 - 1	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.4 4.4.1
Wadis (ondergronds opslagdeel)	50%	200	0.2	(L x Ho x B x Θ) / CA	0.5 - 10	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.4.1
Wadis boven- en ondergrondse opslag	50%	100	0.8	L x (Hb x (B + Hb / S) + Ho x B x Θ) / CA	0.5 - 10	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.4.1
Doorlatende verharding	50%	-	-	-	-	-	4.4.2
- Klinkers	-	-	-	0.001 mm	-	-	4.4.2
- Tegels	-	-	-	0.001 mm	-	-	4.4.2
- ZOAB	50%	1000	0.2	L x B x H x Θ / CA	0.1 - 1	in zandige (0.5 m/d) - siltige (0.05 m/d) grond	4.4.2
Maaiveld aanpassen	-	-	-	-	-	-	4.4.3
Parken en groenstroken	50%	-	-	-	-	-	4.4.4
Overige maatregelen							
Pomp capaciteit	50%	-	-	-	-	-	4.5 4.5.1
Vorbemalen/versneld afvoeren	50%	-	-	-	-	-	4.5.2
RTC	-	-	-	-	-	-	4.5.3
Afkoppelen	-	-	-	-	-	-	4.5.4
Bypass riolering	-	-	-	-	-	-	4.5.5
Acceptatie	-	-	-	-	-	-	4.5.6
Onderhoud	-	-	-	-	-	-	4.5.7

A = Areaal [m²]

L = Lengte [m]

B = Bodembreedte [m]

H = Hoogte [m]

Hb = bovengrondse waterdiepte [m]

Ho = ondergrondse hoogte [m]

CA = Catchment Area [m²] Θ = effectieve porositeit [-]

N = aantal [-]

S = talud helling (waarde tussen 0 en 1) [-]

 \varnothing = buis-diameter [m]