

Regenwateroverlast bovenstrooms oplossen

Een studie naar de oorzaken en mogelijkheden voor het oplossen van aanvoer van hemelwater vanuit het watersysteem bovenstrooms van het Hengstdal (Nijmegen-Oost).



Kwakkenberglaan (op de grens van Berg en Dal en Nijmegen-Oost) – 30 mei 2016

Auteur: Ron Böing
Datum: 22 december 2016
Locatie: Nijmegen
Status: Definitief

Afstudeeropdracht Land en Water Management

Colofon

Nijmegen, 22 december 2016

Opdrachtgever:	Gemeente Nijmegen
In samenwerking met:	hogeschool Van Hall Larenstein
Begeleiders:	Antal Zuurman, gemeente Nijmegen Dennis De Jager, Hogeschool Van Hall Larenstein Peter Groenhuijzen, Hogeschool Van Hall Larenstein
Auteur:	Ron Böing
Email:	Ron.boing@hvhl.nl
Rapport Status:	Definitief

Van Hall Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp
Tel: 026-3695695



Gemeente Nijmegen
Korte Nieuwstraat 6
6511PP Nijmegen
Tel: 14 024



Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van een afstudeeronderzoek naar de oorzaken en oplossingen van aanvoer van regenwater uit Berg en Dal naar Nijmegen. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Gemeente Nijmegen en als afstudeerproject voor de studie Land en Water Management aan de hogeschool Van Hall Larenstein.

Het is een lange weg geweest om tot dit resultaat te komen. Na een vertraging opgelopen te hebben, bleek de eerste versie van het rapport niet te voldoen aan de maatstaven die Van Hall Larenstein hanteert. Toen die tegenslag achter de rug was ben ik het rapport met enige tegenzin, maar onder zeer goede begeleiding, gaan verbeteren. Het rapport is helemaal vanaf de grond af aan opnieuw opgebouwd om zo een goede samenhang te waarborgen. De begeleiding die Peter Groenhuijzen mij hierbij heeft gegeven heb ik als zeer waardevol ervaren.

Hoewel ik het in de eerste instantie niet eens was met de onvoldoende beoordeling, ben ik uiteindelijk tot het inzicht gekomen dat ik er veel van geleerd heb om het rapport te moeten verbeteren. Om een voorbeeld te geven; tijdens het verbeteren ontdekte ik dat het onderzoek erg veel de breedte in ging. Het doel raakte daarbij uit zicht. Dat heeft veel tijd gekost en heeft ervoor gezorgd dat de samenhang in de eerste versie van het rapport niet sterk was. Het leerpunt hieruit was; dat het zeer belangrijk is om de kaderstelling vanaf het begin duidelijk te definiëren en te hanteren.

Tot slot wil ik dit voorwoord benutten om mijn dank uit te spreken aan Antal Zuurman voor zijn begeleiding op zowel vaktechnisch als persoonlijk vlak, aan Peter Groenhuijzen en Dennis de Jager voor de begeleiding bij de rapportage, aan Rowdy Kempers voor de ondersteunende werkzaamheden en aan nog vele anderen die mij hebben geholpen om tot dit resultaat te komen.

Ik wens u veel lees plezier toe.

Ron Böing

Nijmegen, 22 december 2016

Samenvatting

In Nijmegen vindt regelmatig regenwateroverlast plaats. Eén van de locaties waar regenwateroverlast voor komt, is het de wijk het Hengstdal in Nijmegen-Oost. Tijdens extreme neerslag komt hemelwater via de Berg en Dalseweg het Hengstdal binnen. De aanvoer van hemelwater via de Berg en Dalseweg wordt ook wel beschreven als “beekvorming”. Het hemelwater dat tijdens extreme neerslag aangevoerd wordt is afkomstig uit bovenstrooms gebied, maar welk gebied precies verantwoordelijk is voor de toelevering van hemelwater was onbekend. Ook de reden voor de grote mate van afstroming was onduidelijk. In dit onderzoek is daarom onderzocht hoe het hemelwaterafvoersysteem bovenstrooms van het Hengstdal eruit ziet en hoe het functioneert tijdens extreme neerslag.

Het bovenstroomse hemelwaterafvoersysteem

Het hemelwaterafvoersysteem dat verantwoordelijk is voor de beekvorming op de Berg en Dalseweg beslaat in totaal een oppervlak van 66,7 hectare. Daarvan bestaat het grootste deel (47 hectare) uit onverhard oppervlak. De overige 19,7 hectare bestaat uit verhard oppervlak. Dat verharde oppervlak behoort vrijwel geheel tot het dorp Berg en Dal. De afvoer van neerslag die valt op het verharde oppervlak geschiedt dan ook grotendeels via de riolering van Berg en Dal. Om precies te zijn watert 16,6 hectare af via het rioolstelsel van Berg en Dal. Het overige verharde oppervlak is afgekoppeld van de riolering en aangesloten op een infiltratievijver en op infiltratieputten. Het oppervlak dat daarop aangesloten is bedraagt respectievelijk 1,5 en 1,6 hectare. Gezien het sterke hellende karakter van het stroomgebied is er voor het onverharde oppervlak vanuit gegaan dat enkel de eerste 15mm neerslag die daarop valt infiltreert. De overige neerslag die op het onverharde oppervlak valt, zal tot afstroming komen. De verwerkingscapaciteit van de hierboven genoemde voorzieningen is weergegeven in Tabel 1.

	Afvoercapaciteit (in m ³ /uur)	Berging (in m ³)
Riolering (zonder dwa)	120	260
Infiltratievijver	175	780
Infiltratieputten	882	196

Tabel 1: verwerkingscapaciteit van de voorzieningen binnen het hemelwaterafvoersysteem

Het hemelwaterafvoersysteem bij extreme neerslag

Om een beeld te vormen van de werking van het hemelwaterafvoersysteem zijn berekeningen uitgevoerd. In de eerste instantie is geprobeerd om berekeningen te doen met een 2D-model dat oppervlakkige afstroming simuleert. Uiteindelijk is gebleken dat dat niet haalbaar is. In plaats daarvan zijn een aantal redelijk eenvoudige analytische berekeningen gedaan. Naast de analytische berekeningen zijn praktijkbevindingen gedaan tijdens de bui van 30 mei. Op basis van de analytische berekeningen en de praktijkbevindingen samen is geconcludeerd dat het hemelwaterafvoersysteem sterk tekort komt in verwerkingscapaciteit.

Knelpunten

De tekortkoming van het hemelwaterafvoersysteem is toegewijd aan een drietal knelpunten. Het grootste knelpunt is de beperkte verwerkingscapaciteit van de riolering van Berg en Dal. Dat staat niet in verhouding de hoeveelheid oppervlak die erop afwatert. Een tweede knelpunt is de rol van het onverharde oppervlak. Bij het ontwerp van het hemelwaterafvoersysteem is er geen rekening gehouden met het feit dat bij meer dan 15mm neerslag, neerslag op onverhard oppervlak ook tot afstroming begint te komen. Dat zorgt voor een grote extra belasting van het hemelwaterafvoersysteem. En als derde is geconcludeerd dat de infiltratieputten niet naar behoren functioneren.

Maatregelen

Naar aanleiding van de aangetroffen knelpunten zijn een aantal potentiële maatregelen opgesteld. De volgende mogelijkheden om de wateroverlast te verminderen zijn aangedragen:

- Ledigingscapaciteit van de riolering van Berg en Dal verhogen.
- Bergingscapaciteit van de riolering van Berg en Dal uitbreiden.
- Meer oppervlak aansluiten op de infiltratievijver aan de Nassaulaan.
- Subsidieregeling opstellen voor afkoppelen door particulieren.
- Meer infiltratievoorzieningen aanleggen.
- Bestaande infiltratieputten reinigen.
- Beekvorming (deels) accepteren.

Deze potentiële maatregelen zijn beoordeeld op effectiviteit, relatieve kosten en duurzaamheid. Op basis daarvan kan gesteld worden dat het aan te raden is om de bestaande infiltratieputten te reinigen en om subsidie regeling op te stellen voor het afkoppelen door particulieren. Ook is het aan te raden om de dynamische berging binnen de riolering uit te breiden en om het oppervlak dat aangesloten is op de infiltratievijver te vergroten. De effectiviteit en duurzaamheid wegen daarbij sterk op tegen de kosten. De aanleg van meer infiltratievoorzieningen is hydrologisch gezien wel aan te raden, maar omdat de kosten door ruimtegebrek hoog zullen zijn, is de voorkeur daarvoor minder sterk. Het verhogen van de ledigingscapaciteit en het accepteren van de beekvorming genieten de minste voorkeur. Echter gezien de omvang van het probleem is het zeer onwaarschijnlijk dat ze uitgesloten kunnen worden.

Advies

Op basis van de conclusie uit het onderzoek is een advies opgesteld. Dat advies luidt als volgt:

De aanpak van de aanvoer van hemelwater via de Berg en Dalseweg kan in drieën gesplitst worden. Allereerst zijn er de maatregelen die zonder meer aanbevolen worden. Namelijk de subsidieregeling voor afkoppelen door particulieren, het reinigen van de bestaande infiltratieputten en de uitbreiding van de bergingscapaciteit van de riolering. Ten tweede zijn er de maatregelen waarvan aanbevolen wordt om de financiële en ruimtelijke haalbaarheid te toetsen, namelijk het aansluiten van meer oppervlak op de infiltratievijver en de aanleg van meer infiltratievoorzieningen. En ten slotte is het sterk aan te bevelen om ook te kijken naar de benedenstroomse verwerking van hemelwater. Zelfs wanneer alle andere maatregelen toegepast worden, bestaat er namelijk nog steeds een kans dat het probleem niet in zijn geheel opgelost is.

Inhoudsopgave

Colofon.....	3
Voorwoord	5
Samenvatting	7
Inhoudsopgave	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Probleemstelling	11
1.3 Doelstelling	12
1.4 Hoofd- en deelvragen	13
1.5 Afbakening	13
1.6 Doelgroep.....	14
1.7 Leeswijzer.....	14
2 Onderzoeksaanpak	15
2.1 Opzet van het onderzoek.....	15
2.2 Methoden	16
3 Het huidige hemelwaterafvoersysteem	18
3.1 Verhard oppervlak en riolering.....	18
3.2 Hellend onverhard oppervlak	20
3.3 Afgekoppeld oppervlak.....	22
4 Hemelwaterafvoer bij extreme neerslag.....	24
4.1 Extreme neerslag	24
4.2 Berekeningen	26
4.3 Praktijkbevindingen	28
4.4 Knelpunten.....	30
5 Maatregelen.....	32
5.1 Capaciteit van de riolering uitbreiden	32
5.2 Riolering ontlasten door afkoppelen	33
5.3 Overige maatregelen	35
5.4 Toepasbaarheid.....	36
6 Conclusie en aanbevelingen	37
6.1 Conclusie	37
6.2 Advies.....	39
6.3 Discussie.....	39
Bibliografie	41
Bijlagen	42
Bijlage 1 - Overzichtskaart van het onderzoeksgebied.....	43
Bijlage 2 - Opzet en resultaten van het 2D-model.....	45

1 Inleiding

Steeds vaker verschijnen er berichten in het nieuws over optredende wateroverlast als gevolg van korte extreme regenbuien. Door de grote hoeveelheid water die dan in korte tijd valt zijn watersystemen niet meer in staat om het water te verwerken. Het is een probleem dat door heel Nederland voorkomt. Naar verwachting zal de intensiteit van die buien als gevolg van klimaatverandering alleen maar toe blijven nemen. Het voorkomen van hemelwateroverlast wordt daarom steeds belangrijker. Eén van de locaties die te kampen heeft met hemelwateroverlast als gevolg van korte extreme buien is de stad Nijmegen.

1.1 Aanleiding

In Nijmegen komt hemelwateroverlast als gevolg van extreme buien geregeld voor [1]. De verantwoordelijkheid om dat te voorkomen ligt voornamelijk bij de gemeente. De gemeente draagt binnen haar grenzen namelijk de verantwoordelijkheid voor verschillende watertaken. Eén van die watertaken is het inzamelen en doelmatig verwerken van afstromend hemelwater. Dat is vastgelegd in de Waterwet [2]. Hoewel de andere watertaken ook een raakvlak hebben met hemelwater (het verwerken van afvalwater en grondwater), staat de verantwoordelijkheid voor het inzamelen en doelmatig verwerken van hemelwater centraal in dit rapport.

Om aan haar verantwoordelijkheid te voldoen, heeft de Gemeente Nijmegen in haar beleid aandacht besteed aan de omgang met regenwater. In het waterplan [3] en de structuurvisie [4] ligt bijvoorbeeld een sterke nadruk op het afkoppelen van verhard oppervlak. In het gemeentelijk Rioleringsplan (GRP) is het beleid concreter vastgelegd. Daarin is beschreven dat een bui met een herhalingstijd van één keer per twee jaar (ongeveer 20mm in een uur) zonder problemen verwerkt moet worden door het rioolstelsel, zonder dat daarbij water op straat optreedt. In het geval van zwaardere regenbuien is het de bedoeling dat overtollig water geborgen wordt in de openbare ruimte. Daarbij dient geen wateroverlast in gebouwen of op routes voor de hulpdiensten te ontstaan [5]. Het toepassen van het beleid gebeurt op verschillende manieren. Hoofdzakelijk bij het ontwerpen van de riolering, maar het wordt ook toegepast bij de inrichting van de openbare ruimte. Bijvoorbeeld door de aanleg van wadi's. Daarnaast is de omgang met hemelwater een groot aandachtspunt bij de ontwikkeling van nieuwe wijken en bij renovatie van bestaand stedelijk gebied.

1.2 Probleemstelling

Het beleid, zoals hierboven beschreven, heeft bijgedragen aan mitigatie van het probleem. Desondanks komt hemelwateroverlast als gevolg van korte extreme buien nog geregeld voor. De oorzaken daarvan lopen sterk uiteen. In veel gevallen ligt de oorzaak bij een verandering in de situatie ter plekke of in de nabijgelegen situatie, maar ook de klimaatverandering speelt vaak een grote rol. Beide veranderingen kunnen zorgen voor een overbelasting van het hemelwaterafvoersysteem. Alleen het opstellen en toepassen van een beleid is dus niet voldoende om de regenwateroverlast tegen te gaan. Om regenwateroverlast te voorkomen moet de gemeente in blijven spelen op veranderende omstandigheden. Daarom doet de gemeente constant onderzoek naar waar regenwateroverlast zich voordoet, wat de oorzaak is en wat er aan gedaan kan worden.



Figuur 1: Overzichtskaart van Nijmegen met het Hengstdal (rode vlak)

Eén van de locaties in Nijmegen waar regenwateroverlast voorkomt is de wijk het Hengstdal in Nijmegen-Oost (zie Figuur 1). De gemeente doet al een aantal jaren onderzoek naar de oorzaken, gevolgen en mogelijke oplossingen van de regenwateroverlast in het Hengstdal. Uit die onderzoeken is tot nu toe gebleken dat de overlast in het Hengstdal voor een groot deel veroorzaakt wordt door water dat afkomstig is van buiten het Hengstdal [6]. Vanuit hoger gelegen gebied welteverstaan. Het water komt bij extreme buien in de vorm van een geconcentreerde stroom (ook wel beekvorming genoemd) via de Berg en Dalseweg het Hengstdal binnen (zie Figuur 2 en Figuur 3). Op basis van meldingen van bewoners is het bekend dat de beekvorming deels veroorzaakt wordt door uit het riool tredend water (op de Berg en Dalseweg ter hoogte van de Kwakkenberglaan), maar meer dan dat is er niet bekend over de beekvorming.

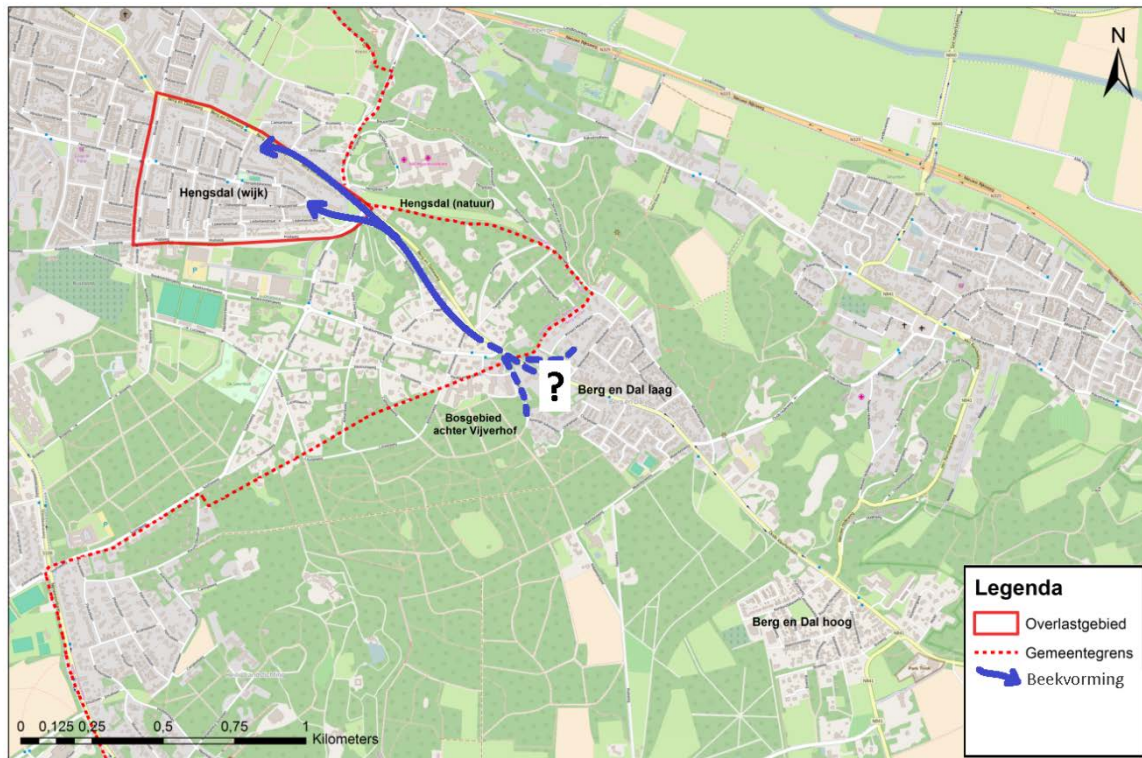


Figuur 2: Beekvorming met hoge stroomsnelheid vanwege veel helling, Berg en Dalseweg 30-05-2016

1.3 Doelstelling

De gemeente heeft binnen het Hengstdal al geprobeerd om het water te sturen en om het beter te verwerken. Dat is gedaan door het (ver)plaatsen van drempels en door het aanleggen van infiltratievoorzieningen. Het is echter een lastige taak gebleken om de gehele toestroom binnen het Hengstdal te verwerken. Het ligt dan ook veel meer voor de hand om het water bovenstrooms te verwerken. Deze optie is in de eerste instantie niet in beschouwing genomen omdat het gebied bovenstrooms van het Hengstdal grotendeels buiten de grenzen van de Gemeente Nijmegen valt (Figuur 3). Het bovenstroomse hemelwaterafvoersysteem is voor medewerkers van Gemeente Nijmegen onbekend gebied, of met andere woorden: een “black box”. Ze hebben geen inzicht in de processen die meespelen in de hemelwaterafvoer. Het is bekend dat er bij extreme neerslag een grote hoeveelheid water tot afstroming komt, maar wat er zich binnen de “black box” afspeelt is onduidelijk. Die onduidelijkheid werpt vraagtekens op. Waarom is de aanvoer zo groot, en is er iets tegen te doen? Om die vragen te kunnen beantwoorden is het van belang om een beeld te krijgen van de hemelwaterafvoerprocessen die spelen binnen de “black box”. Pas als dat beeld gevormd is kan er gekeken worden naar eventuele oplossingen.

Het doel van dit onderzoek is allereerst om erachter te komen waarom de aanvoer van regenwater naar het Hengstdal zo groot is. Vervolgens is het de bedoeling om uit te vinden of het mogelijk is om de aanvoer te verminderen, of zelfs geheel tegen te gaan, door het treffen van maatregelen binnen het watersysteem bovenstrooms van het Hengstdal.



Figuur 3: kaart met het Hengstdal (overlastgebied), Berg en Dal en de locaties waar beekvorming voorkomt.

1.4 Hoofd- en deelvragen

Op basis van de doelstelling is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

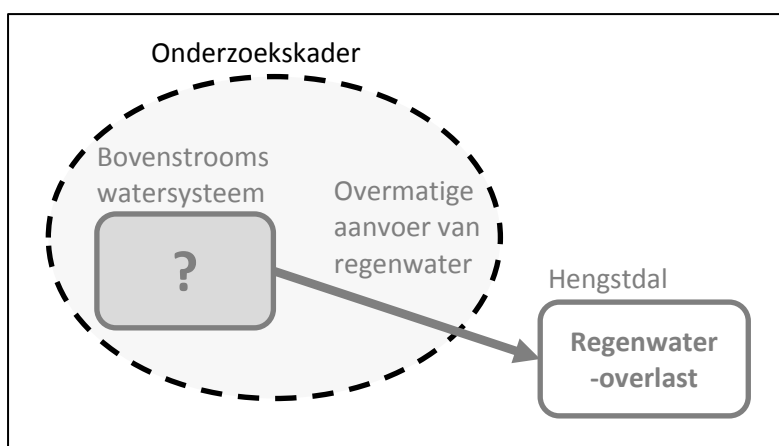
Hoe kan de aanvoer van regenwater tijdens extreme neerslag, vanuit het bovenstroomse watersysteem naar het Hengstdal, het beste beperkt of tegengegaan worden?

Om de onderzoeksvraag goed onderbouwd te kunnen beantwoorden is deze opgesplitst in een aantal deelvragen:

1. *Wat is de hemelwaterafvoerstructuur van het gebied dat verantwoordelijk is voor de aanvoer van regenwater naar het Hengstdal?*
2. *Hoe functioneert het watersysteem dat verantwoordelijk is voor de aanvoer van regenwater naar het Hengstdal tijdens extreme neerslag?*
3. *Welke maatregelen kunnen er getroffen worden om de aanvoer van regenwater naar het Hengstdal tijdens extreme neerslag te beperken of tegen te gaan?*

1.5 Afbakening

Uit de probleemstelling, doelstelling en onderzoeksvragen is al op te maken dat dit onderzoek dus niet gericht is op het Hengstdal, maar op het watersysteem dat daar bovenstrooms van ligt. Het Hengstdal zelf wordt binnen dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De focus ligt enkel op het gebied dat hemelwater aanlevert richting het Hengstdal via de Berg en Dalseweg (zie Figuur 4). De 'ondergrens' van het onderzoeksgebied ligt ter hoogte van de kruising van de Berg en Dalseweg en de Sophiaweg (waar in Figuur 3 de waterstroom het Hengstdal binnen komt). De overige grenzen zijn binnen het onderzoek vastgesteld en worden in dit rapport behandeld.



Figuur 4: schematische weergave van de afbakening/het onderzoekskader

1.6 Doelgroep

Dit rapport is geschreven voor medewerkers van de gemeenten Berg en Dal en Nijmegen, en voor docenten van hogeschool Van Hall Larenstein. Eventueel kan door beide gemeenten besloten worden om (delen van) dit rapport openbaar te maken voor haar inwoners.

1.7 Leeswijzer

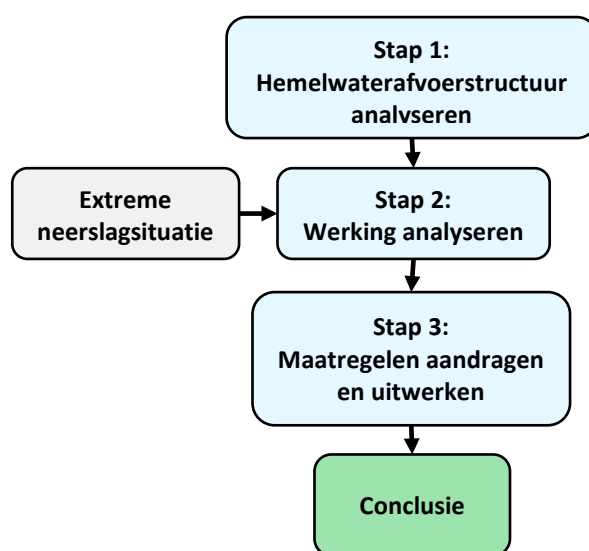
De opzet van het onderzoek, en de methoden die daarbinnen toegepast zijn, worden beschreven in hoofdstuk 2. Vervolgens komen de resultaten van het onderzoek aan bod. Het eerste hoofdstuk waarin de resultaten besproken worden is hoofdstuk 3. Daarin is beschreven hoe het hemelwaterafvoersysteem eruit ziet, dat verantwoordelijk is voor de beekvorming op de Berg en Dalseweg. De werking van het hemelwaterafvoersysteem tijdens extreme neerslag is beschreven in hoofdstuk 4. Daarbij zijn ook de knelpunten behandeld. De maatregelen die tegen die knelpunten getroffen kunnen worden zijn beschreven in hoofdstuk 5. En ten slotte is in hoofdstuk 6 de conclusie van het onderzoek behandeld. In het rapport worden af en toe straatnamen gebruikt. Om een daarvan een overzicht te bieden is in een overzichtskaart van het onderzoeksgebied toegevoegd als bijlage. Daarin zijn de straten duidelijk aangegeven.

2 Onderzoeksaanpak

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is een bepaalde aanpak gehanteerd. In dit hoofdstuk wordt de opzet van het onderzoek eerst in grote lijnen beschreven, en vervolgens wordt er verder ingezoomd op de gebruikte methoden. Het doel van dit hoofdstuk is om een beeld te schetsen van de totstandkoming van de onderzoeksresultaten die in de rest van dit rapport beschreven worden.

2.1 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek zoals dat uitgevoerd is, kan opgedeeld worden in een aantal stappen (zie Figuur 5). Elke stap is terug te koppelen aan één van de deelvragen, en het resultaat van elke stap geeft dan ook antwoord op één van de deelvragen. Het resultaat van alle drie de stappen samen geeft vormt een antwoord op de hoofdvraag.



Figuur 5: schema van de opzet van het onderzoek

Stap 1: Hemelwaterafvoerstructuur analyseren

Het hemelwaterafvoersysteem dat verantwoordelijk is voor de beekvorming op de Berg en Dalseweg was bij aanvang van het onderzoek een “black box”. Van de structuur binnen het systeem was zo goed als niks bekend. Daarom is als eerste stap de structuur van het bovenstroomse hemelwaterafvoersysteem onderzocht. Het resultaat van deze stap is beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten van deze stap zijn vervolgens als basis gebruikt voor de tweede stap.

Stap 2: Werking van het hemelwaterafvoersysteem analyseren

Tijdens de tweede stap van het onderzoek is een beeld gevormd van de werking van het hemelwaterafvoersysteem tijdens extreme neerslag. In de eerste instantie is geprobeerd om de werking van het systeem te analyseren aan de hand van een modelsimulatie. Uiteindelijk is dat niet haalbaar gebleken. De analyse van de werking is uiteindelijk gedaan aan de hand van analytische berekeningen en praktijkwaarnemingen. Daarbij is onder andere gebruik gemaakt van een extreme neerslag situatie die in de praktijk plaatsgevonden heeft (zie tekstblok). Als resultaat van deze stap zijn een aantal knelpunten vastgesteld.

Stap 3: maatregelen aandragen en uitwerken

Tijdens de laatste stap is gezocht naar maatregelen. Eerst is zeer globaal gekeken naar waar mogelijkheden en kansen liggen om de verwerking van hemelwater te verbeteren. Daarna is een selectie gemaakt van kansrijke maatregelen, en die zijn verder uitgewerkt. Bij de uitwerking van die maatregelen is zo gedetailleerd mogelijk berekend hoe groot het effect ervan is op de aanvoer van regenwater naar het Hengstdal. Tot slot zijn de maatregelen nog tegen elkaar afgewogen op basis van de criteria: effectiviteit, duurzaamheid en kosten efficiëntie.

De keuze voor de recente extreme neerslagsituatie

Het was niet bekend of er een extreme bui zou vallen binnen de onderzoeksperiode. Om die reden is in de eerste instantie gekozen om voor de analyse van het functioneren van het watersysteem gebruik te maken van de bui die viel op **30-31 augustus 2015** (ca. 6 maanden voorafgaand aan dit onderzoek). Van die gebeurtenis was namelijk veel informatie beschikbaar in de vorm van foto's, video's, meldingen van bewoners en waarnemingen van medewerkers van de gemeente. Echter, op **30 mei 2016** (binnen de onderzoeksperiode) viel nog een extreme bui. Van die gebeurtenis is meer en gedetailleerdere informatie verzameld. Daarom is voor de analyse uiteindelijk hoofdzakelijk gebruik gemaakt van die laatst genoemde neerslag situatie.

2.2 Methoden

Nadat de opzet van het onderzoek in grote lijnen beschreven is kan er ingezoomd worden op de gebruikt methoden. In deze paragraaf is beschreven welke methoden toegepast zijn binnen het onderzoek. Er is steeds duidelijk aangegeven waarvoor de methoden gebruikt zijn, en waar de resultaten te vinden zijn die de methode opgeleverd heeft.

Startoverleg met beide gemeenten

Omdat ook de Gemeente Berg en Dal een rol speelt in het onderzoek is zij betrokken bij het onderzoek. Dat is gedaan door middel van een startoverleg met medewerkers van de Gemeente Nijmegen en de Gemeente Berg en Dal.

GIS-analyse (ArcGIS)

De GIS-analyse is vooral ingezet voor de structuuranalyse van het hemelwaterafvoersysteem. Voor de GIS-analyse is gebruik gemaakt van het softwarepakket ArcGIS. Dat softwarepakket biedt de mogelijkheid om digitale gebiedsgegevens van bijvoorbeeld riolering, hoogte en landgebruik te visualiseren en te analyseren. De resultaten van de GIS-analyse zijn te vinden in hoofdstuk 3. Het softwarepakket ArcGIS is ook ingezet om de input van het 2D-model voor te bereiden (zie par **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Denk daarbij aan het selecteren van de hoogtegegevens voor het juiste gebied, en het omzetten van landgebruik informatie naar oppervlakteruwheden.

Veldwaarnemingen tijdens extreme neerslag

Om kennis van functioneren van het watersysteem in de praktijk op te doen, zijn veldwaarnemingen gedaan tijdens een extreme neerslagsituatie. Op 30 mei 2016 heeft zich een extreme neerslagsituatie voorgedaan. Opvallende en/of belangrijke bevindingen die gedaan zijn tijdens die neerslagsituatie zijn uitgebreid op beeld vastgelegd. Er is een document met een uitgebreid verslag van alle praktijkkennis opgesteld [7]. Een beknoptere beschrijving is in dit rapport opgenomen (zie par 0).

Interviews

Een deel van de praktijkkennis die beschreven is in paragraaf 4.3, is opgedaan in gesprekken met bewoners. Door tijdens die gesprekken open vragen te stellen en door de bewoners locaties aan te laten wijzen op een kaart is voor de bewoners de gelegenheid gecreëerd om de praktijkkennis die zij hebben zo uitgebreid mogelijk over te dragen. Een enkel interview is gecombineerd met een veldbezoek zodat waarnemingen nog duidelijker beschreven konden worden.

Neerslaganalyse

Van de bui die viel op 30 mei 2016 waren verschillende neerslagreeksen beschikbaar. Tijdens de neerslaganalyse zijn die verschillende reeksen uitgebreid geanalyseerd. Daarbij is onder vooral veel aandacht besteed aan de betrouwbaarheid van de bronnen. De resultaten van de neerslaganalyse zijn kort samengevat en opgenomen in dit rapport (zie par 4.1). Een uitgebreide rapportage is opgenomen in een apart document [8].

2D-model (SOBEK)

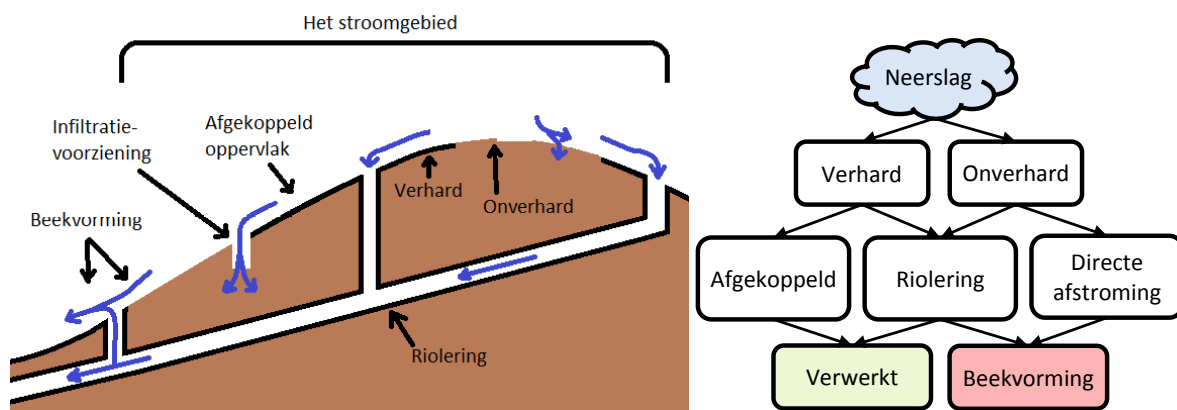
Tijdens de analyse van de werking van het hemelwaterafvoersysteem is gewerkt met een computermodel dat oppervlakkige afstroming simuleert (2D-model). Daarbij is gebruik gemaakt van het softwarepakket SOBEK. De opzet van het model, en een globale beschrijving van de resultaten die het model oplevert, zijn opgenomen in de bijlagen. In paragraaf 4.2 is de bruikbaarheid van het model toegelicht.

Analytische berekeningen

Analytische berekeningen zijn toegepast om een beeld te krijgen van de werking van het hemelwaterafvoersysteem. Het gaat om relatief eenvoudige berekeningen. Toch zijn ze zeer bruikbaar. Een beschrijving van de berekeningen, en de resultaten ervan, zijn te vinden in paragraaf 4.2.

3 Het huidige hemelwaterafvoersysteem

De beekvorming op de Berg en Dalseweg bij extreme neerslag wordt gevoed door de neerslag die wordt afgevoerd vanuit het bovenstroomse stroomgebied. Alle eigenschappen van dat stroomgebied, die invloed hebben op de verwerking van hemelwater, vormen samen het hemelwaterafvoersysteem (zie Figuur 6). Dat hemelwaterafvoersysteem wordt in dit hoofdstuk beschreven. Het hoofdstuk is daarbij opgesplitst in drie paragrafen, waarin steeds een ander soort oppervlak aan bod komt. Allereerst wordt het verharde oppervlak behandeld, dat afwatert via de riolering. Daarbij is ook aandacht besteed aan de riolering. Vervolgens komt het onverharde oppervlak aan bod. Het onverharde oppervlak draagt via oppervlakkige afstroming, en ook via de riolering, bij aan de beekvorming. Ten slotte is nog aandacht besteed aan het oppervlak dat afgekoppeld is, en aan de manier waarop neerslag die erop valt verwerkt wordt. Het functioneren van het hemelwaterafvoersysteem tijdens extreme neerslag wordt in hoofdstuk 4 beschreven.



Figuur 6: schematisch overzicht van het hemelwaterafvoersysteem en afvoerprocessen die daarin spelen

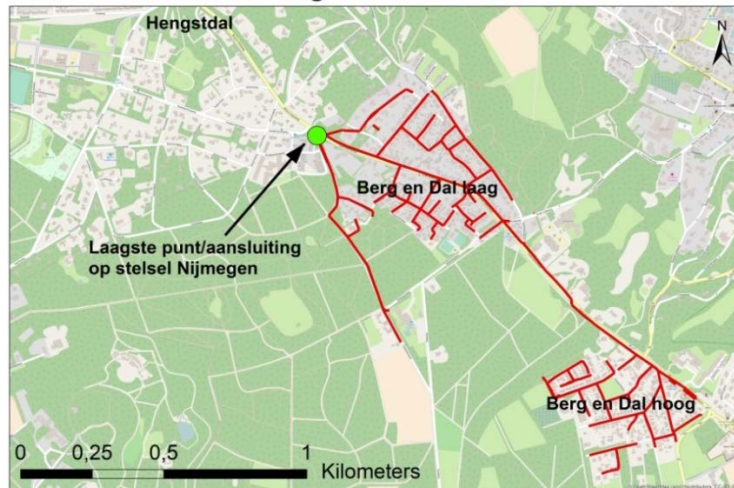
3.1 Verhard oppervlak en riolering

In de probleemstelling is al genoemd dat de beekvorming voor een deel gevoed wordt door een overstort uit het riool op de kruising van de Berg en Dalseweg en de Kwakkenberglaan. Bewoners hebben gemeld dat er daar vaak water vanuit een rioolput op straat terecht komt. Het rioolstelsel van Berg en Dal en het verharde oppervlak dat daarop aangesloten is kunnen daarom gerekend worden tot het stroomgebied dat verantwoordelijk is voor de beekvorming. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de riolering van Berg en Dal eruit ziet, en welk verhard oppervlak erop aangesloten is.

Riolering van Berg en Dal

Het water treedt op de kruising van de Berg en Dalseweg en de Kwakkenberglaan uit het riool omdat daar het laagste punt van de riolering van Berg en Dal ligt. In Figuur 7 is de structuur van het rioolstelsel van Berg en Dal weergegeven. Het gaat om een rioolstelsel met een sterk hellend karakter. Het hoogste punt ligt op 92,3m en het laagste punt op 72,15m t.o.v. NAP. Op het laagste punt, waar bij veel neerslag de overstort optreedt, ligt ook het lozingspunt van het rioolstelsel van Berg en Dal. Het stelsel is daar aangesloten op de riolering van Nijmegen en kan daarop lozen met een maximaal debiet van 144m³/uur (bron: Antal Zuurman, gem Nijmegen). Naast de lozings- (of ledigings-) capaciteit beschikt het stelsel van Berg en Dal nog over dynamische berging. De dynamische berging bedraagt 260m³ (berekend a.d.h.v. GIS-data verkregen van de gem. Berg en Dal). Wanneer de lozingscapaciteit en de bergingscapaciteit van de riolering overschreden worden, treedt water uit het riool. Het is belangrijk om hierbij te vermelden dat het niet duidelijk is hoe groot het overstortdebiet is. Als het overstortdebiet beperkt is, dan is het mogelijk dat de dynamische berging nog toe neemt. Of en hoeveel dat toe kan nemen is onduidelijk. Het rioolstelsel van Berg en Dal beschikt niet over statische berging.

Het rioolstelsel van Berg en Dal



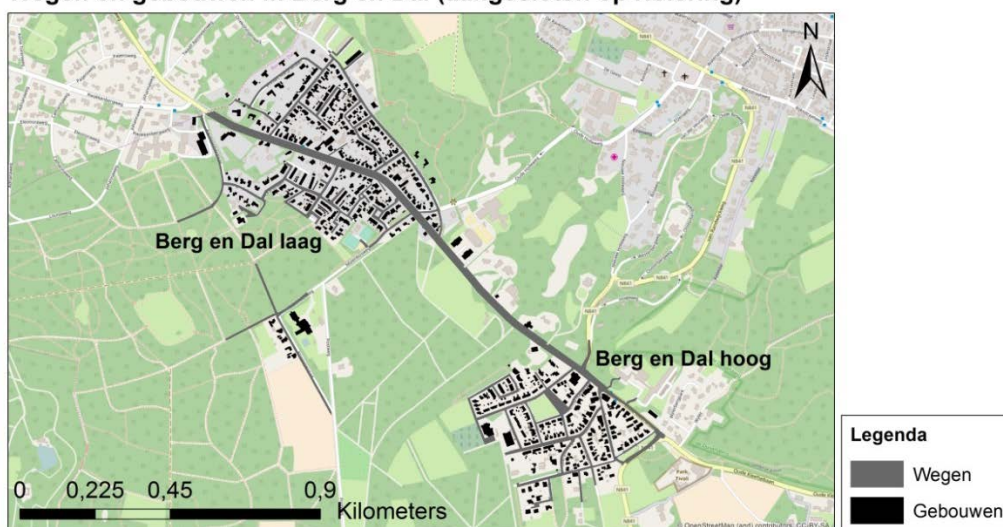
Figuur 7: Het rioolstelsel van Berg en Dal.

Bij de lozingscapaciteit van $144\text{m}^3/\text{u}$ moet nog rekening gehouden worden met de droogweerafvoer (dwa). Voor het vaststellen van de dwa zijn een aantal aannamen gedaan. Zo is ervan uitgegaan dat een huishouden gemiddeld 3 bewoners heeft. Elke bewoner verbruikt gemiddeld 120l water per dag over een tijd van 10 uur. Dat komt neer op een droogweerafvoer van $36\text{l}/\text{uur}$ per huishouden ($3 \cdot 120/10$). Op basis van gegevens uit het BAG (Basis Administratie Gebouwen) is bepaald dat er 660 huishoudens zijn in Berg en Dal. Dat komt neer op een dwa van $23760\text{l}/\text{u}$ of $23,76\text{m}^3/\text{u}$. Van de ledigingscapaciteit blijft dan nog iets meer dan $120\text{m}^3/\text{u}$ over voor de afvoer van hemelwater.

Aangesloten oppervlak

Het is dus niet zo dat al het hemelwater dat via de riolering van Berg en Dal afgevoerd wordt op straat terecht komt. Pas wanneer de lozings- of ledigingscapaciteit en de bergingscapaciteit van de riolering overschreden worden, stort het riool over (op straat). Omdat bewoners gemeld hebben dat die overstort geregeld plaats vindt, wordt al het verharde oppervlak dat aangesloten is op de riolering van Berg en Dal gezien als onderdeel van het stroomgebied dat bijdraagt aan de beekvorming. In Figuur 8 is de verharding van Berg en Dal weergegeven. De verharding van Berg en Dal beslaat in totaal 19,7 hectare, waarvan 9,7 hectare bestaat uit wegooppervlak en 10 hectare uit daken. Van die 19,7ha is overigens 3,1ha afgekoppeld (zie par 3.3). Er is dus 16,6ha verhard oppervlak aangesloten op de riolering.

Wegen en gebouwen in Berg en Dal (aangesloten op riolering)



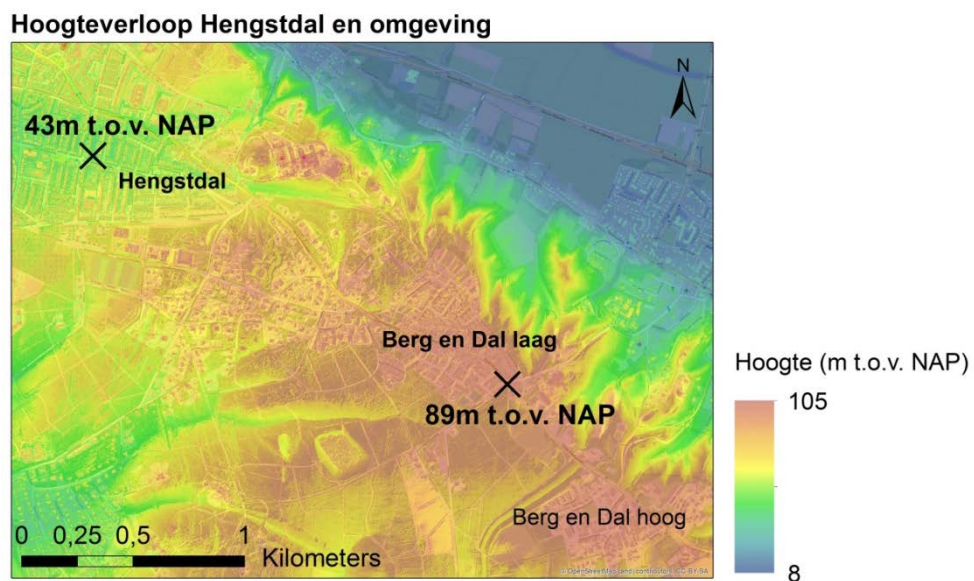
Figuur 8: Alle wegen en gebouwen in Berg en Dal die aangesloten zijn op de riolering.

3.2 Hellend onverhard oppervlak

De beekvorming op de Berg en Dalseweg wordt niet alleen gevoed door neerslag die valt op verharding. Ook neerslag die valt op het onverharde oppervlak vormt een bron van hemelwateraanvoer. Wanneer het gaat om onverhard oppervlak, dan kan meestal ervanuit gegaan worden dat vrijwel alle neerslag infiltreert (afhankelijk van de bodemsamentelling e.d.). En aangezien de beekvorming op de Berg en Dalseweg niks met grondwater te maken heeft, maar enkel met directe oppervlakkige afstroming, zou dat betekenen dat het onverharde oppervlak buiten beschouwing gelaten kan worden. Het gaat hier echter om een stroomgebied met een sterk hellend karakter. In deze paragraaf wordt de invloed beschreven die het hellende karakter heeft op de afstroming van neerslag die valt op onverhard oppervlak. Daarbij wordt ook toegelicht welk onverhard oppervlak valt binnen het stroomgebied van de beekvorming op de Berg en Dalseweg.

Hoogteverloop en afstromend hemelwater

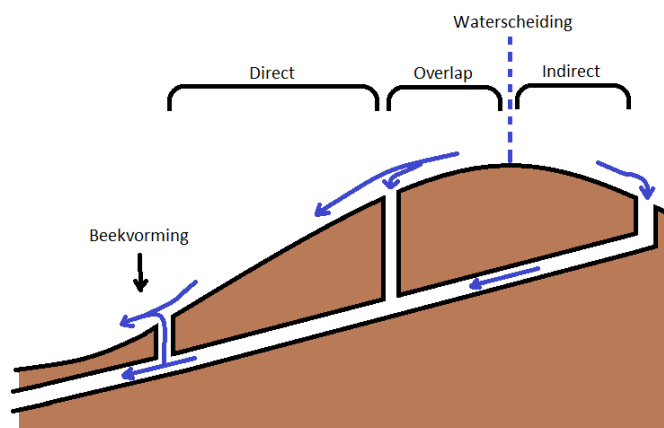
Het Hengstdal en Berg en Dal liggen tegen de flank van een stuwwal. In de hoogtekaart is dat duidelijk terug te zien (zie Figuur 9). Wat meteen opvalt, is dat het hoogteverschil voor Nederlandse begrippen erg groot is. De locatie waar de wateroverlast zich voor doet ligt op een hoogte van rond de 43 meter boven NAP en het hoogste punt in de directe omgeving ervan ligt op bijna 90 meter boven NAP. Het hoogteverschil bedraagt dus ongeveer 45 tot 50 meter met een afstand die hemelsbreed ongeveer 2 kilometer bedraagt. Dat is een relatief groot hoogteverschil. Bij een gebied met een dergelijk hellend karakter kan het voorkomen dat ook neerslag die op overhard oppervlak valt tot afstroming komt. Een deel zal infiltreren, maar zodra de infiltratie capaciteit overschreden wordt door de neerslagintensiteit, dan zal er afstroming plaats vinden. In een vergelijkbaar (hellend) gebied elders in Nederland is vastgesteld dat ervan uitgegaan kan worden dat tijdens een extreme bui de eerste 15mm neerslag infiltreert [9]. De overige neerslag zal tot afstroming komen.



Figuur 9: Hoogteverloop Nijmegen-Oost en Berg en Dal.

Onverharde oppervlak binnen het stroomgebied

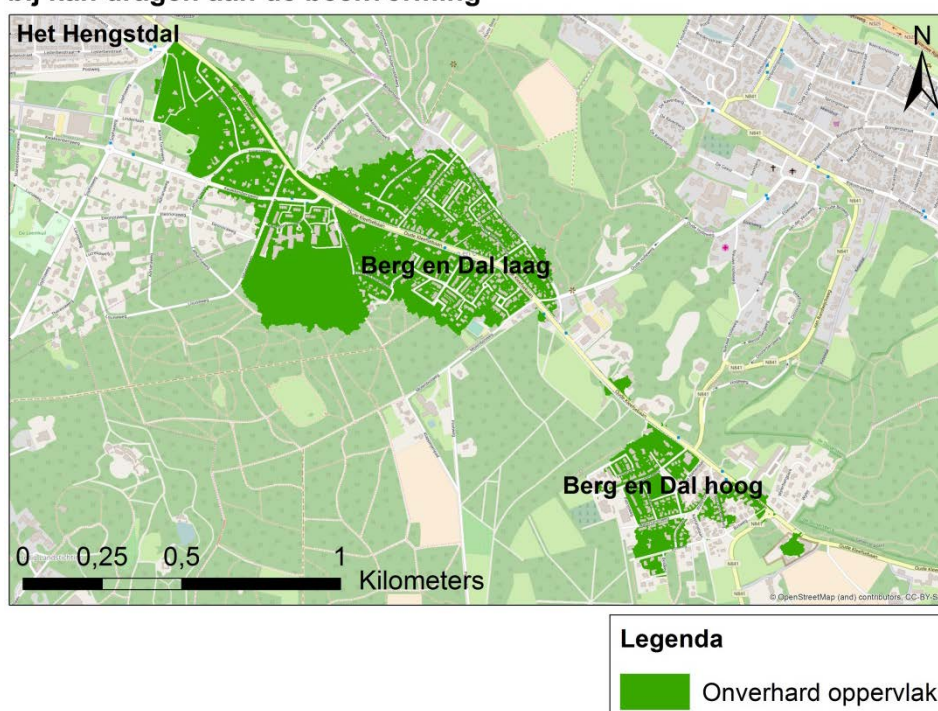
Er kan binnen het onverharde oppervlak onderscheid gemaakt worden tussen onverhard oppervlak dat direct- of indirect behoort tot het stroomgebied van de beekvorming op de Berg en Dalseweg. Wanneer het direct behoort tot het stroomgebied, dan kan neerslag die tot afstroming komt via de oppervlakte richting de Berg en Dalseweg stromen. Indirect betekend dat afstromend water via de oppervlakte de beek op de Berg en Dalseweg niet kan bereiken (door de aanwezigheid van een waterscheiding), maar dat het via de riolering van Berg en Dal wel de beek kan bereiken. In Figuur 10 is schematisch het verschil tussen een direct en indirect bijdrage weergegeven.



Figuur 10: Schematische weergave/uitleg van direct of indirect bijdrage door onverhard oppervlak.

In Figuur 11 is weergegeven welk onverhard oppervlak meegerekend kan worden tot het stroomgebied van de beekvorming op de Berg en Dalseweg. Opvallend is daarbij het deel van het stroomgebied dat samen valt met Berg en Dal hoog. Dat valt geheel onder de categorie indirect. Water dat daar tot afstroming komt kan enkel via de riolering bijdragen aan de beekvorming op de Berg en Dalseweg. Via de oppervlakte is dat onmogelijk gezien het hoogteverloop en aanwezige waterscheidingen. Het onderscheid tussen direct en indirect is bewust niet weergegeven in de kaart. Daar waar de twee overlappen is de grens namelijk erg lastig te bepalen. De totale hoeveelheid onverhard oppervlak bedraagt c.a. 47ha. Naar schatting draagt daarvan ongeveer 17ha indirect bij aan de beekvorming.

Onverhard oppervlak dat direct of indirect bij kan dragen aan de beekvorming



Figuur 11: Al het onverharde oppervlak dat tot het stroomgebied behoort.

3.3 Afgekoppeld oppervlak

De hoeveelheid verhard oppervlak in Berg en Dal is in de afgelopen jaren toegenomen. Dat betekent dat de afvoer in het riool ook toegenomen is, terwijl het maximale debiet waarmee het rioolstelsel gelegeerd kan worden beperkt gebleven is. Om dat te compenseren heeft de Gemeente Berg en Dal ervoor gekozen om delen van de verharding af te koppelen van het gemengde stelsel. Daarbij is ingezet op het verwerken van hemelwater door middel van infiltratie. Er zijn daarvoor een tweetal methoden toegepast. Namelijk de aanleg van een infiltratievijver, en het plaatsen van infiltratieputten. In deze paragraaf zijn beide methoden beschreven.

Infiltratie vijver

Eén van de toegepaste methoden om hemelwater te infiltreren is de aanleg van een infiltratievijver aan de Nassaulaan (zie Figuur 12 voor de locatie). De infiltratievijver is een stuk openbaar groen dat tot een diepte van ongeveer 2 meter uitgegraven is (Figuur 13). De infiltratievijver heeft een bodemoppervlak van 600m² (Figuur 14), en kan gevuld worden tot een waterstand van ongeveer 1,30 meter. Op die hoogte zit namelijk een overstortdrempel. Wanneer de waterstand in de vijver de hoogte van de drempel overschrijdt, dan begint deze over te storten. Wanneer de vijver over begint te storten dan komt het water alsnog in het riool terecht. Gezien de afmetingen en de maximale waterstand kan er dus 780m³ water in de vijver geborgen worden. De gemeente Berg en Dal gaat ervan uit dat de infiltratiecapaciteit van de vijver rond de 10 meter per dag ligt. Uit een meting in het veld is gebleken dat de infiltratie capaciteit in werkelijkheid 7 meter per dag is [10]. In combinatie met het oppervlak levert dat een infiltratiecapaciteit van 175m³/uur op. Volgens de Gemeente Berg en Dal is er 1,5 ha verhard oppervlak aangesloten op de infiltratie vijver.



Figuur 12: De locatie van de infiltratievijver met het aangesloten hemelwaterstelsel

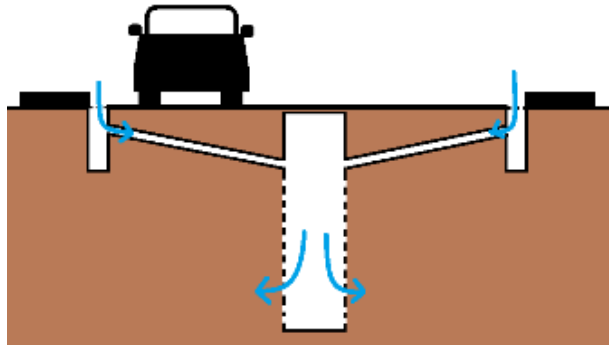


Figuur 13: (links) infiltratievijver aan de Nassaulaan

Figuur 14: (rechts) luchtfoto van de infiltratievijver met zichtlijn van Figuur 13

Verticale infiltratieputten

De tweede manier om hemelwater in de bodem te verwerken is het toepassen van verticale infiltratieputten. Een verticale infiltratieput is in dit geval een geperforeerde betonnen buis met een diameter van 80cm en een lengte van 4m, die verticaal onder de grond geplaatst is. De omliggende straatkolken zijn in dat geval niet aangesloten op de riolering maar direct op de infiltratie put. Afbeelding (Figuur 15) geeft een schematisch beeld van een infiltratieput. De inhoud van elke put bedraagt 2m^3 .



Figuur 15: schematische weergave van een infiltratieput

De Gemeente Berg en Dal heeft 98 verticale infiltratieputten geplaatst in Berg en Dal (zie Figuur 16). Alle straatkolken langs de Oude Kleefsebaan zijn aangesloten op infiltratieputten, en er zijn een aantal infiltratieputten aangebracht in Berg en Dal hoog. Deze hebben volgens de gemeente Berg en Dal bij een maximale vulling een ontwerp infiltratiecapaciteit van $9\text{m}^3/\text{u}$. Op elke put is gemiddeld 167m^2 verhard oppervlak aangesloten. Vermenigvuldigd met het aantal putten komt dat op een oppervlak van 1,6ha dat afgekoppeld is van het vuilwaterstelsel.



Figuur 16: locaties waar infiltratieputten zijn aangebracht.

4 Hemelwaterafvoer bij extreme neerslag

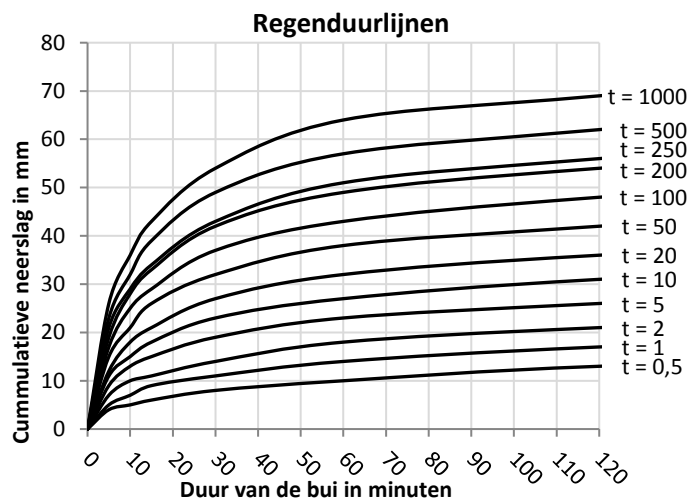
In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe het hemelwaterafvoersysteem dat verantwoordelijk is voor de beekvorming op de Berg en Dalseweg eruit ziet. In dit hoofdstuk is beschreven hoe dat hemelwaterafvoersysteem functioneert tijdens een extreme neerslagsituatie. Allereerst wordt een toelichting gegeven bij de term extreme neerslag. Vervolgens wordt onder het kopje “berekeningen” de theoretische analyse van het functioneren van het hemelwaterafvoersysteem besproken. De theoretische analyse wordt gevolgd door een beschrijving van praktijkbevindingen die gedaan zijn in het veld tijdens een extreme neerslagsituatie. Het doel van dit hoofdstuk is om knelpunten binnen het hemelwaterafvoersysteem te identificeren. Het hoofdstuk wordt daarom afgesloten met een opsomming van de aangetroffen knelpunten.

4.1 Extreme neerslag

In het geval van dit onderzoek staat de term extreme neerslag voor; “een neerslagsituatie die maximaal één tot enkele uren duurt, en waarbij een hoge neerslag intensiteit optreedt”. De term extreme neerslag kan ook staan voor buien met een iets lagere intensiteit, en met een lange duur, maar dat is niet relevant voor dit onderzoek. Langdurige neerslag levert namelijk geen problemen op in het Hengstdal. Nu is de term die hierboven genoemd is nog niet erg concreet. Om het concreter te maken wordt in deze paragraaf gekeken naar de normen die gebruikt zijn bij het ontwerpen van het hemelwaterafvoersysteem, en naar een extreme neerslagsituatie die zich recentelijk voor heeft gedaan.

Normen en neerslagstatistiek

De gemeente Nijmegen heeft de norm gehanteerd dat het hemelwaterafvoersysteem een bui die eens in de twee jaar voorkomt ($t=2$) moet kunnen verwerken, zonder dat daarbij water op straat optreedt (laat staan dat water bij gebouwen binnen dringt). Een $t=2$ bui komt overeen met een neerslagsom van ongeveer 20mm (zie Grafiek 1). Wanneer een neerslag situatie de norm van $t=2$ overschrijdt, dan is het acceptabel als water op straat blijft staan. Dat wordt dan gezien als berging. Wateroverlast, in de zin van water in gebouwen of geblokkeerde noodroutes (voor de hulpdiensten) is ook dan nog onwenselijk. In dit onderzoek is als uitgangspunt genomen dat dezelfde normen als hierboven beschreven, ook gehanteerd worden voor het gebied dat verantwoordelijk is voor de aanvoer van water naar het Hengstdal. Ongeacht het feit dat dat gebied grotendeels buiten die grenzen valt. Dat houdt in dat voor de analyse die verderop in dit hoofdstuk beschreven is, gebruik gemaakt is van BUI08 uit de leidraad riolering. Die modelbui komt overeen met een neerslag som van 19,8mm [11].



Grafiek 1: regenduurlijnen opgesteld door het KNMI [12]

Actualiteit en relevantie

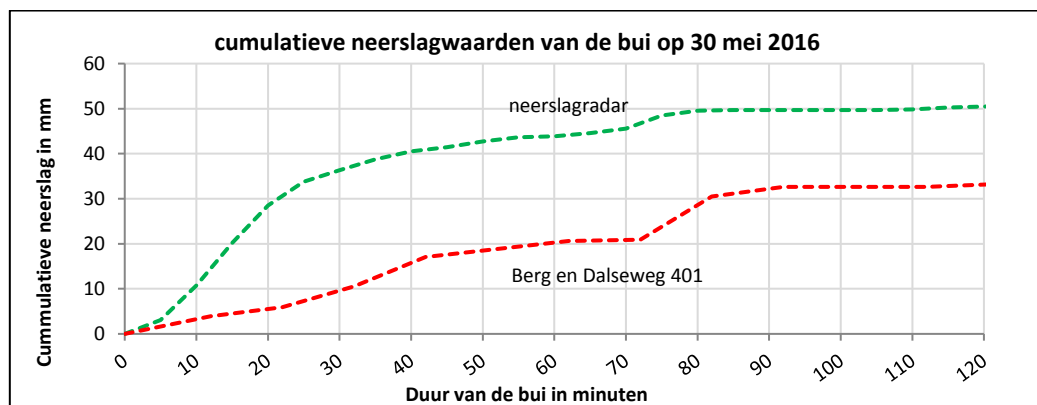
Er kunnen overigens een tweetal kanttekeningen gesteld worden bij de hierboven genoemde normen en herhalingstijden. Zo is de actualiteit ervan discutabel. De regenduurlijnen die de gemeente Nijmegen gebruikt heeft bij het ontwerp zijn namelijk opgesteld in 2007. Met het oog op de huidige klimaatverandering kan gesteld worden dat die normen achterhaald zijn. In 2011 werd namelijk al geconcludeerd dat de neerslagintensiteit vanaf het jaar 2000 al 10% hoger was dan in de 100 jaar ervoor. En daarnaast werd voorspeld dat de neerslagintensiteit in de toekomst mogelijk met 25% tot 108% toe kan nemen [13]. Om die percentages om te zetten in nieuwe concrete normen en/of herhalingstijden is niet direct mogelijk, maar het schetst wel een beeld van de veranderingen in het klimaat. De tweede kanttekening heeft betrekking op de relevantie van de normen voor het Hengstdal en de omgeving ervan. Het uitgangspunt is dat bij meer dan 20mm/u neerslag water op straat geborgen kan worden. Berging op straat is in dit gebied echter niet mogelijk vanwege het sterk hellende karakter. Water dat op straat komt, komt direct tot afstroming. Het afstromende water verzamelt dan benedenstrooms, met alle problemen van dien.

Recente extreme neerslag

Hierboven is genoemd dat voor de analyse van het functioneren van het hemelwaterafvoersysteem gebruik gemaakt wordt van BUI08. Die bui is echter niet meer dan een theoretische reeks met neerslagwaarden. Vanuit de praktijk is het niet bekend wat er gebeurt als een dergelijke situatie op treedt. Om die reden is in ook een neerslagsituatie uit de praktijk gebruikt voor de analyse van het functioneren. De bui die viel op 30 mei 2016 om precies te zijn. Van die bui zijn neerslagreeksen en, nog belangrijker, praktijkwaarnemingen beschikbaar (zie Figuur 17). De bui duurde volgens de neerslag reeksen ongeveer 90 minuten. De hoeveelheid neerslag die gemeten is verschilt per bron. Zo geeft de neerslag radar een bui-som van 52mm terwijl het grondstation dat in het gebied aanwezig is 35mm gemeten heeft (Grafiek 2). Uit een analyse van beide bronnen is geconcludeerd dat de betrouwbaarheid van beide twijfelachtig is [8]. Er is uiteindelijk gekozen om uit te gaan van het gemiddelde, omdat het aannemelijk is dat de radar een overschatting geeft en het grondstation een onderschatting. Dat betekent dus dat uitgegaan is van een bui met een som van 43,5mm en met een duur van 90 minuten. Dat komt neer op een bui met een herhalingstijd van 50 jaar.



Figuur 17: grote hoeveelheden water op straat tijdens de bui van 30-05-2016



Grafiek 2: cumulatieve neerslag waarden gemeten door de neerslagradar en het grondstation op 30 mei 2016

4.2 Berekeningen

Op basis van de informatie van het hemelwaterafvoersysteem (zie hoofdstuk 3) en de neerslaggegevens die in de vorige paragraaf beschreven zijn, kan de werking van het hemelwaterafvoersysteem geanalyseerd worden. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de analyse van de werking van het systeem gedaan is, en wat de resultaten van de analyse zijn. Daarbij is eerst aandacht besteed aan het feit dat het toepassen van een hydraulisch 2D-model niet haalbaar gebleken is binnen dit onderzoek. Nadat het toepassen van een 2D-model niet haalbaar bleek zijn een aantal analytische berekeningen gedaan. De resultaten daarvan geven een beeld van de aanvoer- en verwerking van hemelwater binnen het systeem, en zijn ook in deze paragraaf beschreven. De analytische berekeningen zijn redelijk eenvoudig, maar geven wel een beeld van de situatie.

Modelleren met een 2D-model

Er is binnen dit onderzoek geprobeerd om de werking van het hemelwatersysteem in beeld te brengen door het opzetten van, en rekenen met een 2D-model. Het model dat gebruikt is, simuleert hoe neerslag die valt binnen het modelgebied afstroomt via de oppervlakte. Bij gebrek aan gegevens zijn voor de 2D-modellering redelijk veel aannames gedaan. Een beschrijving van de opzet en de resultaten van het model is opgenomen in de bijlagen van dit rapport. Na analyse van de resultaten is geconcludeerd dat het model niet bruikbaar is. Een zeer belangrijke reden daarvoor is het gebrek aan voldoende gegevens. Om tot een representatief model te komen is het vrijwel noodzakelijk om de rol van de riolering in het model mee te nemen. Uit praktijkervaringen is namelijk gebleken dat de interactie tussen riolering en oppervlakkige afstroming veel belangrijker is dan aanvankelijk gedacht (zie par 0). De rioleringsgegevens die de Gemeente Berg en Dal verstrekt heeft, zijn echter niet compleet genoeg om een 1D2D-model¹ op te kunnen stellen. Het implementeren van andere parameters (zoals infiltratie) is wel mogelijk, maar vraagt veel tijd. En omdat het twijfelachtig is of het model met infiltratie, maar zonder riolering wel een bruikbaar resultaat oplevert is gekozen om daar geen tijd aan te besteden. Ook de tijd die nodig is om één scenario door te rekenen speelt een rol in de bruikbaarheid van het model. De rekentijd voor één scenario bedraagt namelijk ca. drie dagen. Daarbij komt nog het voorbereiden en analyseren van een scenario, en het risico op bugs en crashes. En tot slot; er zijn geen meetgegevens beschikbaar, en zonder meetgegevens is kalibratie van een model onmogelijk. Dit alles bij elkaar maakt dat het toepassen van een 2D-model niet binnen de kaders van dit onderzoek past.

Aanvoer

Op basis van analytische berekeningen kan een inschatting gemaakt worden van hoeveel water aangevoerd wordt bij een bepaalde neerslagsituatie. Voor de analytische berekeningen is gebruik gemaakt van de neerslag die gevallen is op 30 mei 2016, en van BUI08 (zie par 4.1). In Tabel 2 is weergegeven wat de totale aanvoer is per oppervlak. Bij het berekenen van de hoeveelheid water die tot afstroming komt is ingecalculeerd dat de eerste 15mm die valt op onverhard oppervlak zal infiltreren. Opvallend is dat aanvoer bij de bui van 30 mei ongeveer 4 keer zo groot is als de aanvoer bij BUI08, terwijl de neerslagsom maar een factor 2 groter is. Dat heeft te maken met het feit dat de buffer werking van het onverharde oppervlak veel verder overschreden wordt bij de bui van 30 mei dan bij BUI08. Bij de bui van 30 mei valt ook nog op dat ruim 90% van de aanvoer (19000m³) veroorzaakt wordt door neerslag die valt binnen de eerste 90 minuten. Daarom is in de rest van deze paragraaf vooral gerekend met de neerslag die tijdens die eerste 90 minuten gevallen is.

¹ Model dat de interactie tussen oppervlakkige afstroming en de riolering simuleert.

Totale hoeveelheid afstroming (in m ³)				
	Oppervlakte (in hectare)	30-mei-16 (duur: 2,5u)	30-mei-16 (eerste 90 min)	BUI08 (duur: 1u)
Verhard aangesloten op riolering	16,6	7223	6760	3287
Verhard aangesloten op infiltratievijver	1,5	653	611	297
Verhard aangesloten op infiltratieputten	1,6	696	652	317
Onverhard (directe afstroming)	30	8082	7245	1170
Onverhard (indirecte afstroming)	17	4580	4105	663
Totaal	66,7	21234	19373	5734

Tabel 2: aanvoeren berekend per oppervlak voor de bui van 30 mei 2016 en BUI08

Verwerking van hemelwater en beekvorming

De aanvoer hoeveelheden, die berekend zijn op basis van de neerslag en de afwaterende oppervlakken, zijn gecombineerd met de capaciteiten van het hemelwaterafvoersysteem. Op basis daarvan is een inschatting te maken van de hoeveelheden water die verwerkt worden, en hoeveel water er bij draagt aan de beekvorming bij een dergelijke neerslagsituatie. Bij gebrek aan informatie, en omdat het een relatief klein en sterk hellen gebied betreft is er geen rekening gehouden met afvoer vertraging. In Tabel 3 is weergegeven hoeveel water er naar schatting niet verwerkt kan worden binnen het hemelwaterafvoersysteem. Al het water dat niet verwerkt kan worden draagt, theoretisch gezien, bij aan de beekvorming.

			Afstroming/bijdrage beekvorming	
	Afvoercapaciteit (in m ³ /uur)	Berging (in m ³)	30-mei-16 (eerste 90 min)	BUI08 (duur: 1u)
Riolering (aangesloten verhard + onverhard indirect)	120	260	10426	3570
Infiltratievijver	175	780	0	0
Infiltratieputten	882	196	0	0
Onverhard (direct)	n.v.t.	n.v.t.	7245	1170
Totaal	1177	1236	17671	4740

Tabel 3: geschatte bijdrage aan de beekvorming bij de bui van 30-05-16 en BUI08 (in m³)

Het valt direct op dat infiltratievoorzieningen in beide gevallen in staat zijn om de neerslag, die valt op het oppervlak dat erop aangesloten is, te verwerken. Wat ook op valt is dat de capaciteit van de riolering verre van toereikend is om de neerslag te kunnen verwerken. Zelfs in het geval van BUI08, die gelijk staat aan de norm die gehanteerd wordt voor de hoeveelheid neerslag die het systeem aan zou moeten kunnen.

4.3 Praktijkbevindingen

Uit de twee voorgaande paragrafen blijkt dat er relatief weinig theoretische kennis van het hemelwaterafvoersysteem beschikbaar is. Kennis uit de praktijk is daarom zeer waardevol. Tijdens de bui die viel op 30 mei 2016 is er veel praktijkkennis verzameld. Van de veldwaarnemingen die gedaan zijn tijdens die bui is een uitgebreid rapport opgesteld [7]. De belangrijkste punten uit dat rapport zijn in deze paragraaf uitgelicht. Hier en daar is de informatie nog aangevuld met informatie uit aanvullende onderzoeken. In de praktijk bleek dat voornamelijk de riolering, de infiltratievijver en de infiltratieputten een grote rol spelen in de verwerking van hemelwater en de beekvorming. Maar er zijn ook belangrijke waarnemingen gedaan die betrekking hebben op de rol van hellen onverhard oppervlak. Die punten zijn beschreven in deze paragraaf.

Riolering Berg en Dal heeft onvoldoende capaciteit

Op basis van gesprekken met bewoners kan het bijna als algemene kennis onder bewoners beschouwd worden dat er vaak (één tot meerdere keren per jaar) rioolwater komt uit de put die ligt op de kruising van de Berg en Dalseweg en de Kwakkenberglaan. Dat gebeurde ook op 30 mei 2016. Figuur 18 laat duidelijk zien dat water daar met grote hoeveelheden tegelijk op straat terecht komt. Opmerkelijker was dat er tijdens de bui van 30 mei ook water uit hoger gelegen putten kwam. Dat gebeurde zelfs tot op de hoogte van Oude Kleefsebaan nr. 27 (Figuur 19). Dat punt ligt ruim 7 meter hoger dan de kruising van de Berg en Dalseweg en de Kwakkenberglaan. Bewoners aan de Nassaulaan, die ook veel hoger ligt, gaven ook aan water in huis gekregen te hebben via huisaansluitingen. Alles bij elkaar duidt dit een zeer grote overbelasting van het rioolstelsel.



Figuur 18: (links) water komt uit de put in de Kwakkenberglaan



Figuur 19: (rechts) sporen dat water uit een put getreden is (ter hoogte van Oude Kleefsebaan 27)

Infiltratievijver Nassaulaan heeft ruim voldoende capaciteit

Tijdens de bui van 30 mei 2016 is vastgesteld dat de capaciteit van de infiltratievijver niet volledig benut is. Er was naar schatting nog ongeveer 50 tot 70cm ruimte tot de overstortdrempel (zie Figuur 20). De rode lijn in de foto geeft aan hoe hoog het water volgens enkele bewoners gestaan heeft (tot één derde van de rododendron). Uit reacties van omwonende bleek dat de vijver in het verleden ook zelden tot nooit ver gevuld gestaan heeft.



Figuur 20: de infiltratie vijver na de neerslag van 30 mei 2016 (rode lijn geeft aan hoe hoog het water kwam)

Infiltratieputten functioneren niet

Uit een steekproef tijdens één van de veldbezoeken (13-mei-2016) is gebleken dat niet alle infiltratieputten in de Oude Kleefsebaan goed functioneren. Bij die steekproef zijn drie infiltratieputten geopend. Daarbij bleek dat alle drie tot minstens de helft gevuld waren (Figuur 21). Aan de steekproef ging een droge periode van elf dagen zonder neerslag vooraf. Tijdens bui van 30 mei is ook gebleken dat de infiltratieputten niet naar behoren functioneren. Er ontstond een stroom water op de Oude Kleefsebaan. De kolken in de Oude Kleefsebaan, die aangesloten zijn op de infiltratieputten, namen geen water in. Naar aanleiding van deze waarnemingen is opdracht gegeven voor een inspectie van de infiltratieputten. Bij de inspectie zijn 49 infiltratieputten geïnspecteerd. Daarvan konden een aantal niet geïnspecteerd worden doordat ze bijvoorbeeld onvindbaar waren of te dicht begroeid waren. Van de overige putten is geconcludeerd dat maar één op de vijf aan de ontwerpcriteria voldoet [14]. De oorzaak hiervan is niet geheel duidelijk, maar ligt waarschijnlijk bij het verkeerd reinigen van de infiltratieputten. Bij verkeerd reinigen worden de poriën, waardoor het water moet infiltreren, dichtgespoten met slib.



Figuur 21: infiltratieput na 11 dagen zonder neerslag

Bosgebied achter de Vijverhof (hellend onverhard)

Achter de Vijverhof ligt een stuk bos dat tot het stroomgebied van de beekvorming op de Berg en Dalseweg behoort. Het gaat om één van de grootste aaneengesloten stukken hellend onverhard terrein binnen het stroomgebied. Naar verwachting zou er vanaf dit stuk grond een grote hoeveelheid water tot afstroming komen. In de praktijk bleek dat echter maar beperkt het geval. Op 30 mei bleef het water staan op het pad onderin het bos, dat tegen het terrein van de Vijverhof ligt (Figuur 22). Water werd dus als het ware geborgen op het bospad. Iets hogerop in het gebied zijn langs het pad ook kuilen aangetroffen, die door de beheerder aangelegd zijn om water op te vangen (Figuur 23). Het doel is erosie tegen gaan, maar ze hebben ook een bufferende werking. Naar schatting (lastige vorm om op te meten) hebben de kuilen een bergingscapaciteit van circa 1,5 m³. Bij elkaar zijn ze dus goed voor ongeveer 12 m³ berging. De kuilen zijn overigens maar langs één van de drie paden aangebracht en vangen dus van een klein gebied het water af. Aan de andere kant van het bosgebied is wel waargenomen dat water tot afstroming komt.



Figuur 22: (links) berging van water op pad onderin het bos na de neerslag op 30 mei 2016

Figuur 23: (rechts) situering van één van de bergingskuilen

4.4 Knelpunten

Op basis van de analytische berekening en de praktijkinformatie zijn een aantal concrete knelpunten² vastgesteld. In deze paragraaf worden die knelpunten benoemd en toegelicht. Daarbij is de volgorde gebaseerd op mate van invloed. Allereerst komen de niet functionerende infiltratieputten aan bod. Daarna is er aandacht voor de rol van hellend onverhard oppervlak. En tot slot het knelpunt dat de meeste invloed heeft op de beekvorming; de capaciteit van het rioolstelsel van Berg en Dal.

Niet functionerende infiltratieputten

Een groot deel van de infiltratieputten functioneert niet naar behoren. In paragraaf 0 is gesteld dat vier op de vijf infiltratieputten niet goed werken. Dat betekent dat van de totale verwerkingscapaciteit van de infiltratieputten, die 882m³/uur bedraagt, nog maar 176m³/uur over blijft. Wanneer een infiltratieput te langzaam- of niet leeg loopt zal deze gevuld zijn bij aanvang van een bui. De bergingscapaciteit die de infiltratieputten normaal hebben kan daarom ook als verloren beschouwd worden. Als nog maar één op de vijf goed functioneert, dan betekent dat dat er maar 39m³ berging overblijft. Het slecht functioneren van de infiltratieputten kan omgerekend worden naar een extra belasting van de beekvorming. In het geval van de BUI08 zou dat een extra aanvoer van 101m³ opleveren. In het geval van de bui van 30 mei bedraagt de extra belasting 307m³. Dat is echter maar een heel zeer klein deel van de totale aanvoer. Wel kan gesteld worden dat de infiltratieputten door het slecht functioneren een bijdrage leveren aan de beekvorming. Zouden ze wel functioneren zoals ze ontworpen zijn, dan zouden ze zelfs in staat zijn om de bui van 30 mei te verwerken.

Afstroming van hellend onverhard oppervlak

Uit de resultaten van de analytische berekening komt naar voren dat de rol van het hellende onverharde oppervlak erg groot is. Bij BUI08 is berekend dat ruim 32% van de aanvoer afkomstig zou zijn van onverhard oppervlak, en bij de bui van 30 mei zou dat zelfs bijna 60% zijn. Dat wordt echter enigszins ontkracht door de waarnemingen die in de praktijk gedaan zijn. In de praktijk blijkt dat het onverharde oppervlak, ondanks de helling, ook nog water kan bergen. Hoe groot die bergingscapaciteit is, en hoe groot dus de overschatting van de rol van het hellende oppervlak is, is

² Onder knelpunten wordt verstaan: eigenschappen van het hemelwaterafvoersysteem of situaties die zich daarbinnen voordoen, die tijdens een extreme neerslag situatie een negatieve invloed hebben op de hoeveelheid water die aangevoerd wordt richting het Hengstdal.

onbekend. Maar het staat vast dat het onverharde oppervlak wel een rol speelt. Het is daarom van belang dat er rekening gehouden wordt met de rol van hellend onverhard oppervlak in het ontwerp van het hemelwaterafvoersysteem. Iets dat tot nog toe nog niet gedaan is.

Beperkte bergings- en lozingscapaciteit van de riolering

De beperkte capaciteit van de riolering van Berg en Dal is verreweg de grootste oorzaak van de beekvorming op de Berg en Dalseweg. Met een ledigingscapaciteit van $120\text{m}^3/\text{uur}$ is het stelsel niet in staat om meer dan $0,7\text{mm}/\text{uur}$ neerslag te verwerken. De bergingscapaciteit van 260m^3 (omgerekend $1,6\text{mm}$) voegt daar iets, maar niet veel aan toe. En dan is de aanvoer van hemelwater vanaf onverhard oppervlak naar de riolering nog buiten beschouwing gelaten.

5 Maatregelen

In dit hoofdstuk worden maatregelen uitgewerkt die toegepast kunnen worden om de knelpunten aan te pakken die in het vorige hoofdstuk beschreven zijn. Er is aandacht besteed aan de mogelijkheden om de capaciteit van de riolering uit te breiden, om meer oppervlak af te koppelen van de riolering en een aantal overige mogelijkheden. Hydrologisch gezien zou het nodig zijn om alle maatregelen die aangedragen worden toe te passen. Dat is echter een onrealistisch streven. Niet alle maatregelen zijn even toepasbaar. Om een uitspraak te kunnen doen over de toepasbaarheid van de maatregelen wordt in dit hoofdstuk steeds ingegaan op de effectiviteit, kosten en duurzaamheid van de maatregelen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een toelichting op de haalbaarheid.

5.1 Capaciteit van de riolering uitbreiden

De capaciteit van de riolering van Berg en Dal is niet voldoende om neerslag die valt op het aangesloten oppervlak te verwerken. Het probleem ligt daarbij vooral in de ledigingscapaciteit. Daarnaast is de berging binnen het stelsel relatief klein. In deze paragraaf is beschreven wat er gedaan kan worden om die situatie te veranderen.

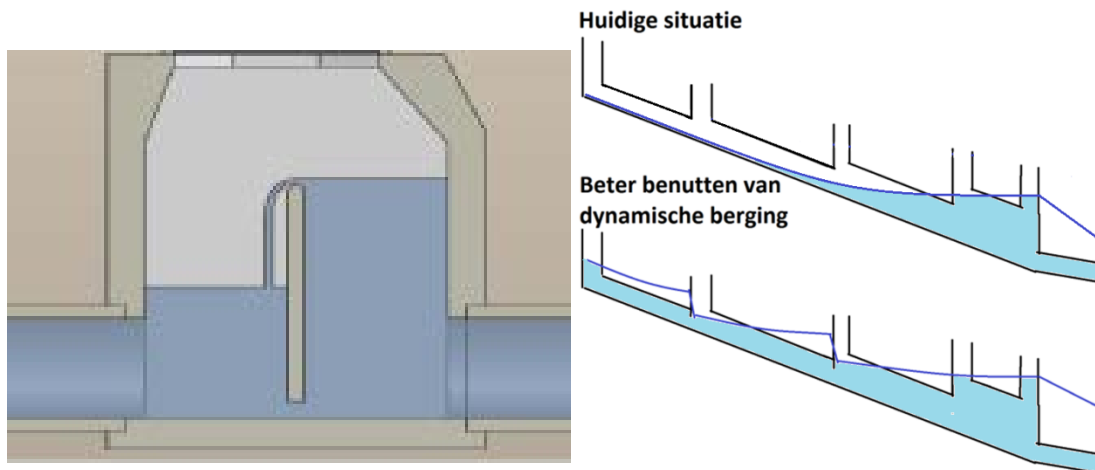
Ledigingscapaciteit vergroten

De huidige ledigingscapaciteit van de riolering bedraagt 120m³/uur. Met een aangesloten oppervlak van 16,6ha komt dat overeen met een ledigingscapaciteit van 0,7mm/uur. In principe zou de riolering volgens de norm een bui van 20mm in een uur moeten kunnen verwerken. Als uitgegaan wordt van de huidige situatie (16,6 ha aangesloten oppervlak en 260m³ berging), dan zou dat betekenen dat de riolering over een ledigingscapaciteit van 3060m³/uur moet beschikken. Om naar een dergelijke capaciteit te streven is om twee redenen niet aan te raden. De eerste reden is dat er binnen het hemelwaterafvoersysteem meer mogelijkheden zijn voor een betere verwerking van hemelwater. De tweede reden is dat de riolering van Berg en Dal loost op het rioolstelsel van Nijmegen. Een verhoging van de ledigingscapaciteit van het stelsel van Berg en Dal zal voor een extra belasting van dat van Nijmegen zorgen. En aangezien Nijmegen binnen haar gemeente grenzen al genoeg problemen heeft met de verwerking van hemelwater, is het belangrijk om eerst te onderzoeken hoeveel extra belasting het rioolstelsel van Nijmegen aan zou kunnen. De kosten van het verhogen van de ledigingscapaciteit zullen gemiddeld uitvallen. Het gaat om een zeer lokale ingreep. En omdat het om een vrij verval riool gaat, dat ook onder vrij verval leeg loopt, is de aanleg van een dure pomp installatie overbodig. De ingreep moet weliswaar gedaan worden in de rijbaan van een doorgaande weg, maar de mogelijkheid om een tijdelijke omleiding aan te leggen beperkt de maatschappelijke impact. Omdat niet duidelijk hoe ver de ledigingscapaciteit uitgebreid kan worden zijn de relatieve kosten niet in te schatten. De duurzaamheid is ook niet in te schatten. Hoewel een bestaande voorziening beter benut wordt, bestaat de kans dat het probleem enkel verschoven wordt. Kortom, vervolgonderzoek is hard nodig voor deze maatregel

Berging uitbreiden

Er is ook een mogelijkheid voor een ingreep binnen het rioolstelsel van Berg en Dal die niet voor een extra belasting van het rioolstelsel van Nijmegen zorgt. Namelijk het vergroten van de bergingscapaciteit. De berging in het stelsel bedraagt nu ongeveer 260m³, en bevindt zich onderin het stelsel. De berging zou uitgebreid kunnen worden door de aanleg van een ondergronds bergingsbassin. Een goedkopere oplossing is echter om de ruimte die al aanwezig is in de riolering beter te benutten. Hierbij kan gedacht worden aan het plaatsen van stuwputten die de doorstroming in de riolering beperken (zie Figuur 24). Er ontstaat dan trapsgewijs meer dynamische berging (zie Figuur 38). Het totale volume van alle leidingen bedraagt 974m³. Van het totale volume wordt nu ongeveer 26% benut als dynamische berging. Hoeveel volume extra benut kan worden hangt af van het aantal stuwputten dat geplaatst kan worden en van de locatie waarop ze geplaatst

worden. Naar schatting moet het echter mogelijk zijn om zeker 25% tot 50% van het totale volume extra te benutten. Dat komt neer op een extra berging van 240 tot 480m³. Voordat stuw putten toegepast kunnen worden zal onderzocht moeten worden (aan de hand van een rioleringsmodel) waar ze geplaatst kunnen worden en hoeveel er geplaatst moeten worden. De kosten die deze maatregel met zich mee brengt, hangen af van het aantal stuwputten dat geplaatst moet worden om een gewenste bergingscapaciteit te creëren. Ondanks het feit dat er wel constructiekosten gemaakt moeten worden, zullen de relatieve kosten gemiddeld uitvallen. Voor het grootste deel wordt namelijk een voorziening aangesproken die al aanwezig is. Door het beter benutten van de bestaande voorzieningen scoort deze maatregel ook goed op duurzaamheid.



Figuur 24: (links) schematische weergave van een stuwput

Figuur 25: (rechts) schematisch voorbeeld beter benutten dynamische berging (blauwe lijn = druklijn in riolering)

5.2 Riolering ontlasten door afkoppelen

In de vorige paragraaf is aandacht besteed aan maatregelen die gericht zijn op het verhogen van de verwerkingscapaciteit van de riolering. In deze paragraaf wordt juist aandacht besteed aan maatregelen die bedoeld zijn om de riolering te ontzien door het afkoppelen van oppervlakken die erop aangesloten zijn.

Meer oppervlak aansluiten op de infiltratievijver

In Berg en Dal is al een deel van het verharde oppervlak afgekoppeld van de riolering en aangesloten op een infiltratievijver. Die infiltratievijver heeft een erg hoge verwerkingscapaciteit. Daarbij is er een relatief klein oppervlak aangesloten op de infiltratievijver. Daardoor komt het zelden voor dat de verwerkingscapaciteit volledig aangesproken wordt. Wanneer er gedacht wordt aan het uitbreiden van het verharde oppervlak is het daarom voor de hand liggend om meer oppervlak aan te sluiten op de infiltratievijver. De infiltratiecapaciteit van de Vijver bedraagt 175m³/uur en de berging 780m³. Bij de huidige norm, een neerslagsituatie van 20mm in een uur (zie par 4.1), betekend dat dat de infiltratievijver in staat is om voor 4,8 ha verhard oppervlak het hemelwater te verwerken. Er kan dus nog ongeveer 3 hectare oppervlak extra aangesloten worden op de infiltratievijver. De kosten van deze maatregel zullen echter hoog zijn. Om meer oppervlak aan te sluiten op de vijver zal namelijk het leidingstelsel dat nu aanwezig is uitgebreid moeten worden. En de aanleg van ondergrondse leidingen is een zeer kostbare ingreep. Bij het inzetten van deze maatregel wordt hemelwater gescheiden ingezameld en wordt een bestaande voorziening beter benut. Daarom scoort deze maatregel goed op duurzaamheid.

Subsidie regeling voor particulieren

Een tweede mogelijkheid is om particulieren te stimuleren om hemelwater op eigen terrein te verwerken (zie Figuur 26). Het totale oppervlak aan daken in Berg en Dal bedraagt ongeveer 10 hectare. Dat is meer dan de helft van al het verharde oppervlak. Het is onrealistisch om ernaar te streven dat de hemelwaterverwerking van dat hele oppervlak door particulieren zelf geregeld wordt. Er kan wel naar gestreefd worden om de hoeveelheid hemelwater die verwerkt wordt door particulieren zo hoog mogelijk te krijgen. Dat kan gedaan worden door het opstellen van een subsidieregeling. De gemeente hanteert al een dergelijke subsidieregeling [15]. Inwoners van de gemeente Nijmegen kunnen een bijdrage krijgen voor elke vierkante meter oppervlak die ze afkoppelen. De gemeente Berg en Dal hoeft deze regeling enkel over te nemen. Het is overigens een zeer goedkope maatregel, aangezien uitgegaan wordt van een eigen bijdrage van inwoners. Uitgaande van het voorbeeld van de gemeente Nijmegen komen de kosten op €50.000 tot €100.000 per hectare afgekoppeld oppervlak. Daarnaast geldt dat het als zeer duurzame maatregel gezien kan worden. Om de kans dat inwoners het oppakken te vergroten, kan eventueel nog geïnvesteerd worden in een voorlichtingscampagne, zodat bekendheid en draagvlak ontstaat.



Figuur 26: Voorbeelden van bovengrondse- en ondergrondse infiltratievoorzieningen die particulieren op eigen terrein aan kunnen leggen

Meer infiltratievoorzieningen

Een laatste mogelijkheid om het oppervlak dat aangesloten is op de riolering te verminderen is door nieuwe infiltratievoorzieningen aan te leggen in de openbare ruimte (zie Figuur 27). Het effect van deze maatregel is niet heel concreet te maken. Afhankelijk van het wel of niet toepassen van andere maatregelen kan vastgesteld worden hoeveel oppervlak nog afgekoppeld moet worden, zodat het hemelwaterafvoersysteem in staat is om neerslag naar behoren te verwerken. De gemeente Nijmegen heeft de voorkeur om infiltratievoorzieningen zoveel mogelijk zichtbaar te houden. De zichtbaarheid zorgt namelijk voor bewustwording onder bewoners. Daarnaast is het meestal goedkoper om bovengrondse (dus zichtbare) voorzieningen aan te leggen. In Berg en Dal is echter weinig openbaar groen aanwezig. Er is dus weinig ruimte voor bovengrondse infiltratievoorzieningen. Het alternatief is om ondergrondse infiltratievoorzieningen te creëren onder bijvoorbeeld wegen, zoals de infiltratieputten die al eerder toegepast zijn in Berg en Dal (zie par. 3.3). Het grootste nadeel daarvan zijn de hoge aanlegkosten. Het afkoppelen door middel van infiltratie is hoe dan ook wel een duurzame maatregel.



Figuur 27: voorbeeld van een bovengrondse (zichtbare) infiltratievoorziening

5.3 Overige maatregelen

Naast het verhogen van de capaciteit van de riolering of het afkoppelen van verhard oppervlak door middel van infiltratie, zijn er nog andere maatregelen die getroffen kunnen worden. Die “overige” maatregelen zijn in deze paragraaf beschreven.

Bestaande infiltratieputten reinigen

De infiltratieputten die al aangelegd zijn functioneren niet naar behoren. Naar verwachting is het mogelijk om de putten te reinigen waardoor de werking ervan weer hersteld wordt. Het is daarbij wel van belang om het reinigen op een correcte manier uit te voeren. Anders bestaat namelijk het risico dat de poriën waardoor het water moet infiltreren juist verder verstopt raken. Wanneer de werking van de infiltratieputten volledig hersteld kan worden, dan zorgt dat ervoor dat bij een $t=2$ bui 101m^3 water minder tot afstroming komt. Voor deze maatregel hoeven geen nieuwe constructies aangelegd te worden, wat de duurzaamheid ten goede komt. Ook zijn de kosten van het toepassen van deze maatregel daardoor erg laag.

Beekvorming (deels) accepteren

De laatste mogelijkheid die aangedragen wordt is niet zozeer een maatregel. Het is meer een gedoogbeleid voor het probleem. De kans erg klein dat het haalbaar is om al het water dat nu afstroomt via de Berg en Dalseweg binnen het bovenstroomse gebied te verwerken. Daarom kan de mogelijkheid worden overwogen om de afstroming van hemelwater via de Berg en Dalseweg (deels) te accepteren. Zolang het water over de Berg en Dalseweg stroomt, is het namelijk nog geen probleem. Pas aangekomen in het Hengstdal zorgt het voor problemen. De gemeente Nijmegen kan mogelijkheden overwegen om water op te vangen voordat het Hengstdal bereikt wordt. Ter hoogte van de kruising met de Sophia weg bijvoorbeeld liggen aan beide zijden van de Berg en Dalseweg stukken openbaargroen. Mogelijk is die ruimte geschikt voor het aanleggen van bergings- en/of infiltratievoorzieningen. Zowel de effectiviteit als de kosten en duurzaamheid van deze mogelijkheid dienen door de gemeente Nijmegen overwogen te worden.

5.4 Toepasbaarheid

In deze paragraaf zijn alle aangedragen maatregelen naast elkaar gezet. Op basis van de ingeschatte effectiviteit, relatieve kosten en duurzaamheid is aan elke maatregel een goede-, gemiddelde- of lage toepasbaarheid toegekend (zie Tabel 4). De volgorde die daaruit voortgevloeit is kan gehanteerd worden als een prioritering voor het toepassen van maatregelen.

Maatregel	Effectiviteit	Kosten (relatief)	Duurzaamheid	Toepasbaarheid	Vervolgonderzoek
Bestaande infiltratieputten reinigen	laag	laag	goed	goed	ja
Subsidie regeling voor afkoppelen door particulieren	n.t.b.	laag	goed	goed	nee
Dynamische berging binnen de riolering verhogen	gemiddeld	gemiddeld	goed	gemiddeld	ja
Meer oppervlak aansluiten op de infiltratievijver	hoog	hoog	goed	gemiddeld	nee
Meer infiltratievoorzieningen aanleggen	hoog	hoog	goed	laag	ja
Ledigingscapaciteit van de riolering verhogen	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.	laag	ja
Beekvorming (deels) accepteren	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.	laag	ja

Tabel 4: toepasbaarheid van de maatregelen op basis van de ingeschatte effectiviteit, relatieve kosten en duurzaamheid.

Vooraf het reinigen van de bestaande infiltratieputten en het opstellen van een subsidie regeling voor het afkoppelen door particulieren hebben een hoge toepasbaarheid gescoord. Het is dan ook aan te raden om die maatregelen in ieder geval uit te voeren. Het verhogen van de dynamische berging binnen de riolering en het vergroten van het oppervlak dat aangesloten is op de infiltratievijver zijn ook maatregelen waarvan het aan te raden is om ze toe te passen. De aanleg van meer infiltratievoorzieningen is hydrologisch gezien zeker aan te raden. Maar omdat de kosten door ruimtegebrek hoog zullen zijn, is de toepasbaarheid van die maatregel erg laag. Het verhogen van de ledigingscapaciteit en het accepteren van de beekvorming vallen onder de mogelijkheden die als laatste overwogen kunnen worden. Hoewel de laatste twee opties niet de voorkeur hebben, is het gezien de omvang van het probleem zeer onwaarschijnlijk dat deze uitgesloten kunnen worden.

6 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt de conclusie behandeld die voortgevloeid is uit dit onderzoek. Op basis van die conclusie is tevens een advies opgesteld dat ook behandeld wordt in dit hoofdstuk. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een discussie waarin aandacht is besteed aan de gehanteerde methoden, de resultaten en het onderzoek in het algemeen.

6.1 Conclusie

In deze paragraaf is de conclusie van het onderzoek beschreven. Daarbij zijn de hoofd- en deelvragen die genoemd zijn in de inleiding als leidraad gebruikt. Er is achtereenvolgens een beschrijving gegeven van de hemelwaterafvoerstructuur, de werking ervan tijdens extreme neerslag en van de potentiële maatregelen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een uitspraak over de beste aanpak van de aanvoer van hemelwater vanuit Berg en Dal naar het Hengstdal.

De hemelwaterafvoerstructuur

De beekvorming op de Berg en Dalseweg wordt veroorzaakt door de afvoer vanuit een bepaald hemelwaterafvoersysteem. De structuur binnen dat systeem ziet er als volgt uit; Het gehele oppervlak dat valt onder het verantwoordelijke systeem beslaat in totaal een oppervlak van 66,7 hectare. Daarvan bestaat het grootste deel (47 hectare) uit onverhard oppervlak. De overige 19,7 hectare bestaat uit verhard oppervlak. Voor het onverharde oppervlak kan ervanuit gegaan worden dat enkel de eerste 15mm neerslag die daarop valt infiltreert. De overige neerslag die op het onverharde oppervlak valt, zal tot afstroming komen. Ongeveer twee derde van het onverharde oppervlak (30 ha) draagt direct bij aan de beekvorming. Het overige verharde oppervlak watert via de riolering af richting de Berg en Dalseweg. Het onverharde oppervlak watert grotendeels ook af via de riolering. Een klein deel is echter afgekoppeld via infiltratievoorzieningen. 1,5 hectare verhard oppervlak is aangesloten een infiltratievijver en 1,6 hectare is afgekoppeld via verticale infiltratieputten. De verwerkingscapaciteit van de hierboven genoemde voorzieningen is weergegeven in Tabel 5.

	Afvoercapaciteit (in m ³ /uur)	Berging (in m ³)
Riolering (zonder dwa)	120	260
Infiltratievijver	175	780
Infiltratieputten	882	196

Tabel 5: verwerkingscapaciteit van de voorzieningen binnen het hemelwaterafvoersysteem

Hemelwaterafvoer tijdens extreme neerslag

Het hemelwaterafvoersysteem, zoals hierboven beschreven, zou volgens de huidige normen in staat moeten zijn om een bui van 20mm in een uur te verwerken zonder dat daarbij water op straat komt (vanuit de riolering). Met het oog op de klimaatveranderingen is het twijfelachtig of die norm nog voldoende is. Uit analytische berekeningen is echter gebleken dat het hemelwaterafvoersysteem in de huidige staat niet eens over de capaciteit beschikt om 20mm neerslag in een uur te verwerken. Op basis van zowel de analytische berekeningen alsook praktijkbevindingen, kan geconcludeerd worden dat het hemelwaterafvoersysteem sterk tekort komt in verwerkingscapaciteit. Die tekortkoming is toegewijd aan een drietal knelpunten. Het grootste knelpunt is de beperkte verwerkingscapaciteit van de riolering van Berg en Dal. Dat staat niet in verhouding de hoeveelheid oppervlak die erop afwatert. Een tweede knelpunt is de rol van het onverharde oppervlak. Bij het ontwerp van het hemelwaterafvoersysteem is er geen rekening gehouden met het feit dat bij meer dan 15mm neerslag, neerslag op onverhard oppervlak ook tot afstroming begint te komen. Dat zorgt voor een grote extra belasting van het hemelwaterafvoersysteem. En als derde is geconcludeerd dat de infiltratieputten niet naar behoren functioneren.

Potentiele maatregelen

Naar aanleiding van de aangetroffen knelpunten zijn een aantal potentiële maatregelen opgesteld. De volgende mogelijkheden om de wateroverlast te verminderen zijn aangedragen:

- **Ledigingscapaciteit van de riolering verhogen.**

Afhankelijk van de capaciteit die beschikbaar is in het rioolstelsel van Nijmegen, kan de ledigingscapaciteit van de riolering van Berg en Dal verhoogd worden.

- **Bergingscapaciteit van de riolering uitbreiden.**

Door het plaatsen van stuwputten kan 240 tot 480 m³ meer bergingscapaciteit gerealiseerd worden binnen het rioolstelsel van Berg en Dal.

- **Meer oppervlak aansluiten op de infiltratievijver.**

Door het uitbreiden van het hemelwaterstelsel van Berg en Dal kan meer verhard oppervlak aangesloten worden op de infiltratievijver aan de Nassaulaan.

- **Subsidieregeling opstellen voor afkoppelen door particulieren.**

Door het opstellen van een subsidieregeling kunnen inwoners van Berg en Dal gestimuleerd worden om hemelwater op eigen terrein te verwerken.

- **Meer infiltratievoorzieningen aanleggen.**

Door (ondergrondse) infiltratievoorzieningen aan te leggen kan meer oppervlak afgekoppeld worden van het rioolstelsel.

- **Bestaande infiltratieputten reinigen.**

Door de bestaande infiltratieputten op (een juiste wijze) te reinigen kan de werking ervan hersteld worden.

- **Beekvorming (deels) accepteren.**

Het afstromende water kan eventueel wel deels benedenstrooms verwerkt worden. In dat geval kan de beekvorming deels geaccepteerd worden.

De beste aanpak

De potentiële maatregelen zijn beoordeeld op effectiviteit, relatieve kosten en duurzaamheid. Op basis daarvan kan gesteld worden dat het aan te raden is om de bestaande infiltratieputten te reinigen en om subsidie regeling op te stellen voor het afkoppelen door particulieren. Ook is het aan te raden om de dynamische berging binnen de riolering uit te breiden en om het oppervlak dat aangesloten is op de infiltratievijver te vergroten. De effectiviteit en duurzaamheid wegen daarbij sterk op tegen de kosten. De aanleg van meer infiltratievoorzieningen is hydrologisch gezien wel aan te raden, maar omdat de kosten door ruimtegebrek hoog zullen zijn, is de voorkeur daarvoor minder sterk. Het verhogen van de ledigingscapaciteit en het accepteren van de beekvorming genieten de minste voorkeur. Echter gezien de omvang van het probleem is het zeer onwaarschijnlijk dat ze uitgesloten kunnen worden.

6.2 Advies

In deze paragraaf is het advies beschreven dat opgesteld is op basis van de conclusie. In het advies is een volgorde gehanteerd waarbij eerst aandacht besteed is aan de maatregelen waarvan geadviseerd wordt om ze in ieder geval toe te passen. Daarna is aandacht besteed aan maatregelen waarvan aanbevolen wordt om ze in overweging te nemen. En ten slotte is er een advies gegeven over de mogelijkheden die er zijn nadat de voorgaande aanbevelingen overwogen en, waar mogelijk, toegepast zijn.

In ieder geval toepassen

Van een drietal maatregelen wordt aanbevolen om ze in ieder geval toe te passen. De eerste is om de subsidieregeling voor afkoppelen door particulieren op te stellen. Het is een zeer eenvoudige maatregel die weinig inzet van de gemeente vraagt. De tweede maatregel die aanbevolen wordt, is het reinigen van de bestaande infiltratieputten. Dit zijn voorzieningen waar in het verleden veel in geïnvesteerd is. Het reinigen is een kleine ingreep met een zeer direct effect. De laatste uit het rijtje is de uitbreiding van de bergingscapaciteit van de riolering. Hoewel de kosten hoger zijn, kan er een redelijk effect mee bereikt worden. Enig vervolgonderzoek is daarbij nog wel noodzakelijk.

Overwegen

De maatregelen die erg veel effect kunnen hebben zijn het aansluiten van meer oppervlak op de infiltratievijver en de aanleg van meer infiltratievoorzieningen. Dat zijn helaas ook de duurste maatregelen. Gezien de omvang van het probleem is echter het advies om alle maatregelen in overweging te nemen. Het advies luidt daarom om te onderzoeken waar zowel ruimtelijk als financieel gezien mogelijkheden zijn voor de toepassing van deze maatregelen.

Laatste mogelijkheid

De laatste mogelijkheid is om de aanvoer van hemelwater vanuit Berg en Dal richting Nijmegen boven of ondergronds te accepteren. Hoewel dat absoluut geen voorkeur heeft is er vrijwel geen andere mogelijkheid. Wanneer alle hiervoor genoemde maatregelen toegepast worden, bestaat er nog steeds een kans dat het probleem in zijn geheel opgelost is. Het is daarom sterk aan te bevelen om ook te kijken naar de benedenstroomse verwerking van hemelwater.

6.3 Discussie

Tijdens de uitvoering van dit onderzoek zijn verschillende bevindingen gedaan en zijn er nieuwe inzichten ontstaan. In deze paragraaf wordt daarop teruggeblikt en gereflecteerd. Onderwerpen die daarbij vooral aan bod komen zijn de gehanteerde methode, de resultaten. De paragraaf wordt afgesloten met een reflectie op dit onderzoek in verhouding tot de oplossing van het probleem.

Om te beginnen een terugblik op de gehanteerde methode; In de eerste instantie was het de bedoeling om de werking van het hemelwaterafvoersysteem inzichtelijk te maken aan de hand van een hydraulisch model. Uiteindelijk bleek dat niet haalbaar bij gebrek aan gegevens. Er is toen besloten om een concessie te doen en de werking “dan maar” te analyseren aan de hand van analytische berekeningen. Het is echter de vraag of een modelberekening met voldoende inputgegevens een beter beeld opgeleverd had. Ook een model blijft namelijk een benadering van de werkelijkheid. Daarbij komt dat er geen meetgegevens zijn van oppervlakkige afstroming wat kalibratie van een model onmogelijk maakt. Het is dus de vraag of de analytische berekening als een concessie gezien kunnen worden. Sterker nog, de analytische berekeningen zijn een veel snellere manier gebleken om een beeld te vormen van de situatie binnen het hemelwaterafvoersysteem.

Wanneer naar de oplossingen sfeer gekeken wordt, dan is die situatie anders. Een snelle (analytische) berekening kan wel een inschatting geven van de effectiviteit van een maatregel. Maar voordat de maatregel daadwerkelijk toegepast kan worden is vaak een nauwkeurige berekening noodzakelijk. Neem bijvoorbeeld het plaatsen van stuwputten om de bergingscapaciteit te verbeteren. Zonder (gedetailleerde) modelberekening is de kans groot dat een stuwput op een verkeerde locatie in de riolering aangebracht wordt. De kans bestaat dan dat er geen- of juist een averechts resultaat behaald wordt. Om die reden is in hoofdstuk 5 steeds duidelijk aangegeven voor welke maatregelen een (verdiepend) vervolgonderzoek noodzakelijk is.

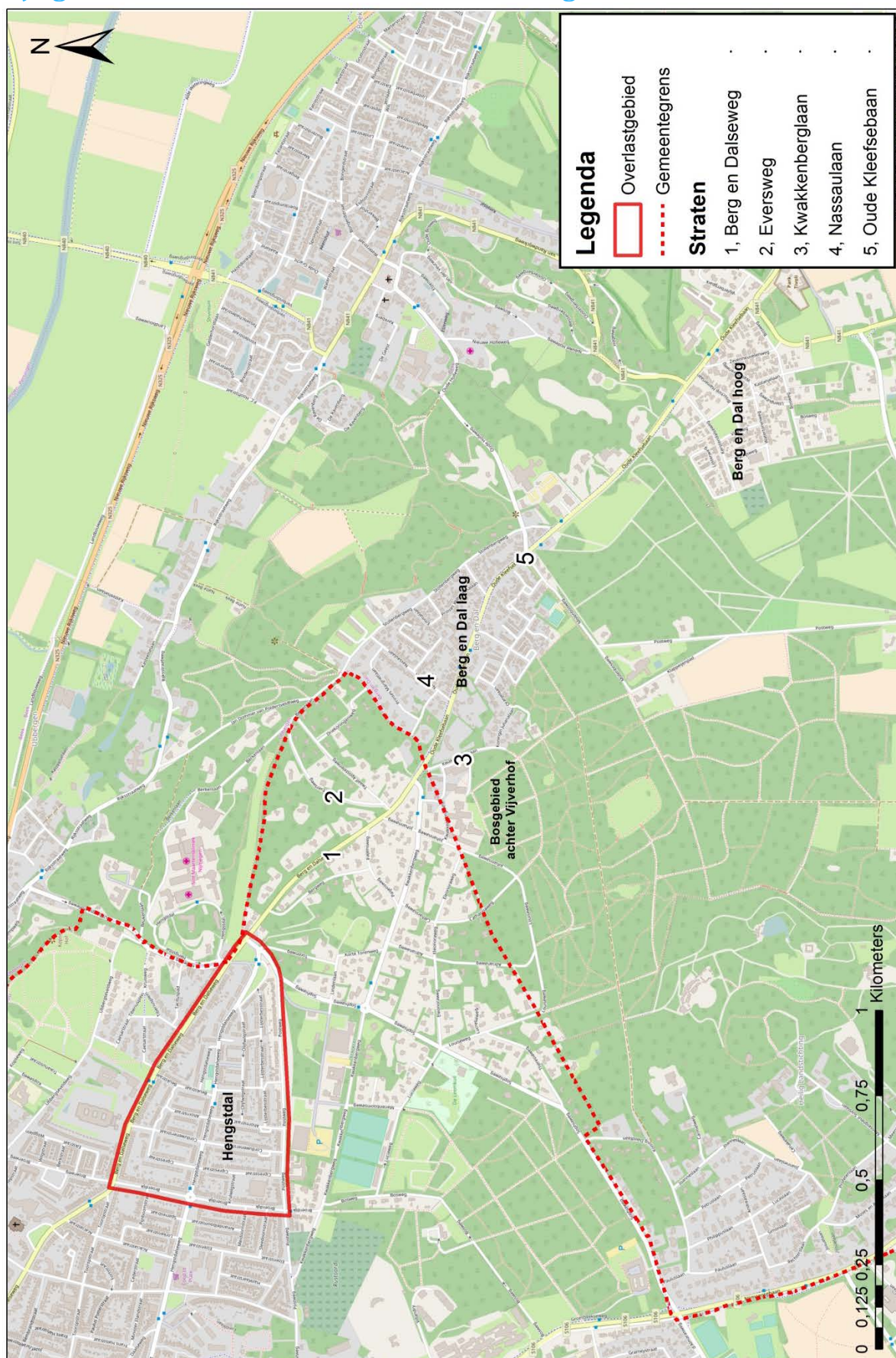
In feite komt het er dus op neer dat de maatregelen die in dit rapport aangedragen worden nog niet concreet zijn omdat daarvoor meer verdieping nodig is. Meer verdieping zou de samenhang van dit rapport en onderzoek niet ten goede komen. Dit rapport kan beter gezien worden als de basis voor de aanpak van het grote probleem. Die basis is belangrijk om er zeker van te zijn dat niet ingezet wordt op de verkeerde maatregelen of op maatregelen op de verkeerde plek. Nu de basis gelegd is kan er verdiept worden in de afzonderlijke maatregelen.

Bibliografie

- [1] T. Kuijpers, „Impact klimaatgebeurtenissen 1990-2012,” Nijmegen, 2013.
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, „Waterwet,” 2009.
- [3] Tauw, „Waterplan Nijmegen,” Gemeente Nijmegen, Deventer, 2001.
- [4] Gemeente Nijmegen, „Structuurvisie Nijmegen,” Gemeente Nijmegen, Nijmegen, 2013.
- [5] Gemeente Nijmegen, „Gemeentelijk Rioleringsplan Nijmegen,” Gemeente Nijmegen, Nijmegen, 2009.
- [6] A. Zuurman, „Rapportage macrospoor Nijmegen-Oost,” Nijmegen, 2013.
- [7] R. Böing, „Verslag extreme bui 30-05-2016,” Nijmegen, 2016.
- [8] R. Böing, „Neerslag analyse 30-05-2016,” Nijmegen, 2016.
- [9] H. Middelburg en G. Lemmen, „Trapsgewijze opvang en infiltratie van regenwater in hellen Leersum,” in *Ervaringen met de aanpak van regenwateroverlast in bebouwd gebied*, Ede, Stichting RIONED, 2014, pp. 66 - 78.
- [10] Gemeente Nijmegen, „Infiltratieonderzoek Berg en Dal en Nijmegen-Oost,” Gemeente Nijmegen, Nijmegen, 2016.
- [11] Stichting RIONED, „Module C2100, Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren,” in *Leidraad Riolering*, EDE, Stichting RIONED, 2004.
- [12] A. Buishand en J. Wijngaard, „Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren,” De Bilt, 2007.
- [13] G. Lenderink, G. van Oldenborgh, E. van Meijgaard en J. Attema, „Intensiteit van extreme neerslag in een veranderend klimaat,” in *Meteorologica*, nr2, 2011, pp. 17-20.
- [14] R. Kempers en A. Zuurman, „Memo onderzoek infiltratieputten,” Nijmegen, 2016.
- [15] Gemeente Nijmegen, „Afkoppelen met subsidie,” [Online]. Available: <http://www.waterbewust.nl/afkoppelen.html>. [Geopend 21 december 2016].
- [16] Brisbane City Council, „Natural channel design,” Brisbane City Council, Brisbane, 2003.
- [17] Landelijke samenwerkingsverband GBKN, „Wat is de GBKN?,” [Online]. Available: <http://www.gbkn.nl/nieuwesite/html/productinformatie.html>. [Geopend 18 december 2016].

Bijlagen

Bijlage 1 - Overzichtskaart van het onderzoeksgebied



Bijlage 2 - Opzet en resultaten van het 2D-model

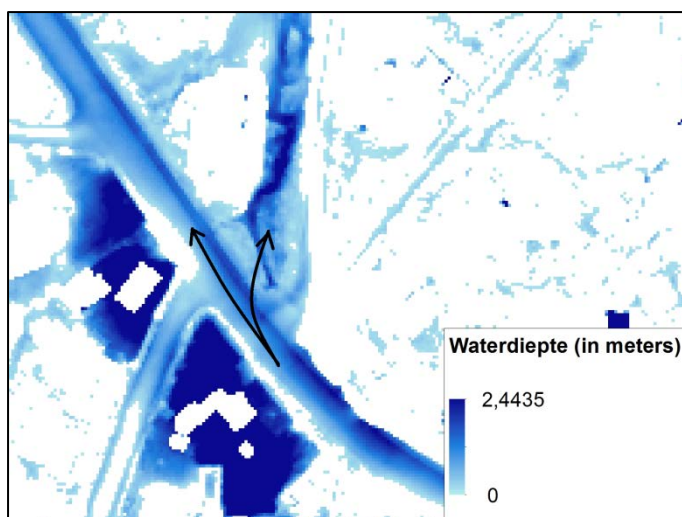
Het 2D-model waarmee gerekend is, is een model dat simuleert hoe neerslag die valt binnen het modelgebied afstroomt via de oppervlakte. Als ruimtelijke omvang van het modelgebied is het gebied genomen dat direct kan afwateren richting de Berg en Dalseweg (zie Figuur 10). De hoeveelheid gegevens die voor de rest gebruikt zijn als input is zeer beperkt. Hieronder zijn alle input gegevens op een rijtje gezet:

- Hoogte (AHN3 gegevens met 1x1m resolutie)
- Oppervlakteruwheid, gebaseerd op literatuur [16], bodemgebruik [17] en veldwaarnemingen.
- Neerslagreeks 30 mei 2016 gemeten door de neerslagradar
- Neerslagreeks 30 mei 2016 gemeten door het grondstation aan de Berg en Dalseweg

Bij gebrek aan gegevens zijn voor de 2D-modellering redelijk veel aannames gedaan. Zo is de rol van de riolering weggelaten, omdat er onvoldoende data beschikbaar was voor een 1D2D-modellering (een model waarbij interactie tussen riolering en oppervlakkige afstroming gesimuleerd wordt). Ook infiltratie van neerslag op onverhard oppervlak is niet meegenomen in de 2D-modellering. Tijdens het opzetten van het model is gebruik gemaakt van een “expert judgement”. Dit houdt in dat de globale opzet van het model voorgelegd is aan een aantal hydrologen. De hydrologen die hiervoor geraadpleegd zijn, zijn werkzaam bij onder andere Waterschap Rijn en IJssel, ingenieursbureau Nelen en Schuurmans en hogeschool Van Hall Larenstein. De door hun voorgestelde aanpassingen zijn vervolgens doorgevoerd in het uiteindelijke model. Het uiteindelijke model beschrijft een oppervlak waar gedurende een bepaalde periode een bepaalde hoeveelheid neerslag op “losgelaten” kan worden. Tijdens de simulatie van een dergelijk scenario wordt dan berekend hoe die neerslag tot afstroming komt. Een simulatie met het model levert als resultaat voor elke tijdstap een kaart die de waterstanden weergeeft.

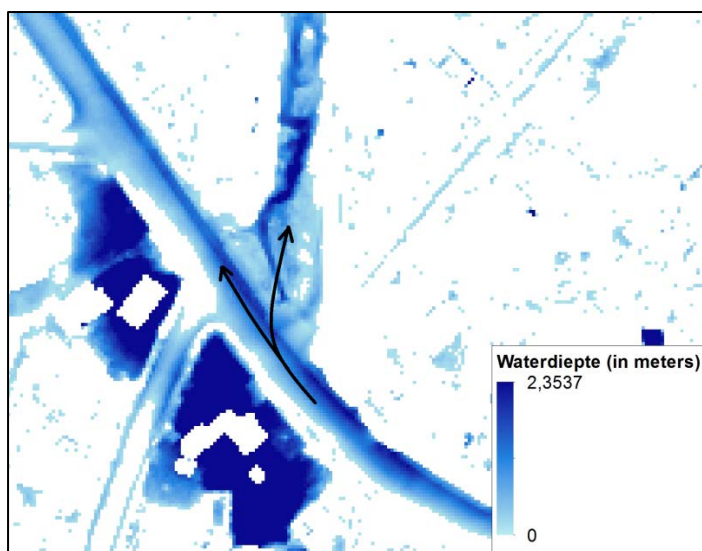
Resultaten

Nadat met het model twee scenario's doorgerekend zijn, is gebleken dat het model niet bruikbaar is om een uitspraak te kunnen doen over de beekvorming op de Berg en Dalseweg. In het eerste scenario is het model doorgerekend met neerslagwaarden die gemeten zijn door de regenradar op 30 mei 2016 (zie par 4.1). De rekenresultaten van dat scenario tonen echter een veel extremer beeld dan dat er in de praktijk te zien was. Hieronder is een voorbeeld gegeven van een dergelijke situatie. In een uitsnede van de modelresultaten is de Berg en Dalseweg ter hoogte van de Eversweg (zijstraat) weergegeven. Volgens de modelresultaten zou het water daar hoger dan de drempel bij de inrit van de Eversweg komen. Het gevolg daarvan is dat de stroom zich opsplijt, en dat er zowel op de Berg en Dalseweg als op de Eversweg veel water stroomt. Die splitsing van de waterstroom heeft in de praktijk, op 30 mei, niet plaats gevonden [7].



Uitsnede modelresultaat eerste scenario

In een tweede scenario is gerekend met de neerslag hoeveelheden die gemeten zijn door het grondstation (zie par 4.1). De waarden die daardoor gemeten zijn liggen veel lager dan die van de neerslagradar, en geven waarschijnlijk juist een onderschatting van de neerslag die viel op 30 mei. Het vermoeden was dan ook dat het gebruik van deze neerslagreeks een minder extreem beeld op zou leveren. Dat is niet het geval gebleken. Ook de resultaten van het tweede scenario geven een veel extremer beeld dan in de praktijk waargenomen is. Hieronder is dezelfde uitsnede als hierboven weergegeven, maar nu van het tweede scenario. Hoewel iets minder extreem dan het eerste scenario zijn de resultaten nog steeds een overschatting van de werkelijkheid.



Uitsnede modelresultaat tweede scenario