

Oplossing voor verwachte neerslaghoeveelheden in de woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat te Amersfoort

Matthijs den Dunnen

31-5-2017



Dit betreft het afstudeerrapport van Matthijs den Dunnen, student Land – en Watermanagement aan de hogeschool Van Hall Larenstein te Velp

Oplossing voor verwachte neerslaghoeveelheden in de woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat te Amersfoort

Status rapport:	Definitief
Versie rapport:	1.0
Datum uitgave:	31 mei 2017
Dossiernummer:	115-16-BWZ
Opdrachtgever:	Dhr. J van 't Klooster, Gemeente Amersfoort
Auteur:	Matthijs den Dunnen, Hogeschool van Hall Larenstein
Begeleider:	Dhr. M. van Dorst
Begeleidend docent:	Dhr. P. Groenhuijzen
Studentnummer:	3128
Email:	Matthijs.dendunnen@hvhl.nl

In samenwerking met:

Gemeente Amersfoort
Hellestraat 24
3811 LL Amersfoort



BWZ Ingenieurs
Varkensmarkt 9
4101CK Culemborg



Hogeschool Van Hall Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp



Versiebeheer

Tabel: Versiebeheer rapportage

Rapportversie	Datum	Omschrijving
1_v 1	16-03-2017	Opzet rapport
1_v 2	5-05-2017	1 ^e tussenresultaat rapport
1_v 3	08-05-2017	Verwerken onderzoeksresultaten
1_v 4	16-05-2017	Concept rapport ingeleverd
1_v 5	20-05-2017	Feedback verwerkt
1_v 6	31-05-2017	Afronding en layout

Definitielijst

Onderstaand wordt een verklarende woordenlijst weergegeven. Dit betreffen definities die in dit rapport vaker terugkomen en waarvan de betekenis voor de lezer onduidelijkheden kan oproepen.

Hemelwater	Verzamelnaam voor verschillend soorten neerslag. Dit betreft voornamelijk regen maar kan ook hagel of sneeuw zijn
Waterberging	De mogelijkheid om (hemel) water tijdelijk op te slaan voordat het wordt afgevoerd
K-waarde	Doorlatendheid van de bodem, een zandgrond heeft een hogere K-waarde dan een kleigrond
Gemengd rioolstelsel	Een rioolstelsel waarmee zowel vuil- als schoon water wordt afgevoerd
Infiltratie	Het indringen van hemelwater door het maaiveld naar de onverzadigde zone van de bodem
Klimaatadaptief	Aanpassen aan de veranderingen van de klimaatverandering
Water op straat	Aanduiding van het feit dat (regen)water op het maaiveld blijft staan en-of dat water uit het riool op straat stroomt
Wateroverlast	Wateroverlast is een verzamelnaam voor situaties waarin mensen overlast ondervinden als gevolg van water
Afstromingsverlies	Bruto neerslag die plaatselijk wordt geabsorbeerd aan het oppervlak waar dit op valt en niet tot afstroming komt.
Evapotranspiratie	Is het regenwater dat direct verdampt nadat het gevallen is en de verdamping (transpiratie) door beplanting/bomen.
Verdamping	Betreft het water dat overgaat in gasfase als gevolg van warmte. Verdamping vindt voornamelijk plaats uit oppervlakteberging (plasvorming)
Plasvorming	Ontstaat doordat de eerste neerslag die afstroomt langs het oppervlak wordt geborgen in laagten van het maaiveld
Waterbergingsopgave	De totale behoefte om water te bergen in een gebied
Waterbergingstekort	Een tekort aan de behoefte om water te kunnen bergen
Dimensionering	Op basis van ervaring en met behulp van relatief eenvoudige vuistregels globaal bepalen van de afmetingen
Waterbalans	De waterbalans geeft een overzicht van alle verschillende watercomponenten in een gebied
Infiltratieverlies	Hemelwater dat uit de infiltratievoorziening infiltreert in de bodem
First flush	Term uit rioolbeheer die aangeeft dat het grootste gedeelte van de vervuiling in het afgevoerde water zit. In dit rapport wordt er de eerste hoeveelheid hemelwater ten behoeve van de infiltratie bedoeld.

Voorwoord

Voorliggend rapport betreft een afstudeeronderzoek dat is opgesteld door Matthijs den Dunnen, deeltijdstudent Land- en Watermanagement aan Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp.

Het afstudeeronderzoek betreft een vraagstuk van de gemeente Amersfoort over een oplossing om toekomstig verwachte neerslaghoeveelheden plaatselijk en tijdig te kunnen verwerken in een onderzoeksgebied in de wijk Leusderkwartier van de stad Amersfoort.

Tijdens het onderzoek heb ik ervaring opgedaan op het gebied van klimaatverandering en stedelijk waterbeheer. Concreet heb ik onderzoek verricht naar de gevolgen van (piek)buien op stedelijk gebied en oplossingen om (water)overlast hierdoor te beperken.

Hierbij wil ik graag specifiek de heer J. van 't Klooster van de gemeente Amersfoort en de heer M. van Dorst van BWZ Ingenieurs bedanken voor hun ondersteuning en begeleiding tijdens het onderzoek. Zonder jullie was het niet mogelijk geweest om dit leerzame en interessante afstudeeronderzoek uit te voeren. Tevens wil ik firma BWZ-Ingenieurs bedanken voor het beschikbaar stellen van een werkplek en natuurlijk ook de andere collega's bedankt voor jullie tijd.

Ook wil ik de heer P. Groenhuijzen bedanken voor de waardevolle feedback die ik kreeg tijdens het opstellen van het onderzoeksplan. Dit bleek een stabiele basis te zijn tijdens de uitvoering van het afstudeeronderzoek waarop ik kon terugvallen.

Ik kijk terug op een leuke periode waarin ik veel heb geleerd over het verwerken van hemelwater, een onderwerp waar mijn interesse naar uit gaat. Mijn doel is om deze kennis in de toekomst te gaan gebruiken en een passende baan te zoeken.

Matthijs den Dunnen, 31 mei 2017

Samenvatting

Als gevolg van de klimaatverandering valt er in Nederland gemiddeld steeds meer neerslag waarbij het steeds vaker voor komt dat in relatief korte tijd een extreme neerslaghoeveelheid valt. Gemeente Amersfoort heeft als opgave in het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort (periode 2012-2021) beschreven dat in rioolprojecten (nieuwbouw of renovatie) rekening moeten houden met de klimaatverandering door het vergroten van de waterbergingscapaciteit. Tevens zijn in dit plan ambities opgenomen ten aanzien van wateroverlast. Om in de toekomst wateroverlast als gevolg van de extreme neerslaghoeveelheden te voorkomen zijn maatregelen vereist om hemelwater plaatselijk vast te houden zoals het bergen en infiltreren van hemelwater in de bodem. De wens van gemeente Amersfoort is om het bergen en infiltreren van hemelwater in de toekomst toe te gaan passen op perceelsniveau onder verantwoordelijkheid van perceelseigenaren. De gemeente verwacht hierdoor op langere termijn een kostenbesparing te kunnen realiseren en tevens te kunnen voldoen aan de opgave en ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021. Als blijkt dat de oplossing succesvol en duurzaam is zal deze aanpak integraal worden opgenomen in toekomstige rioolprojecten binnen de gemeente. Gemeente Amersfoort is voornemens om in een woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat op korte termijn een rioolrenovatieproject te starten. Dit project bestaat uit de renovatie van het gemengd rioolstelsel in combinatie met het afkoppelen van de hemelwaterhuisaansluitingen. Tevens wordt in de woonwijk ter hoogte van de gemeentelijke wegen een waterpasserende verharding met waterbergende fundering aangebracht. De gemeente Amersfoort verlangt een onderzoek naar de effectiviteit van meest geschikte infiltratietechniek op perceelsniveau in combinatie met de waterpasserende verharding in de openbare ruimte. In het onderzoek is ook bepaald in welke mate de infiltratie op perceelsniveau bijdraagt aan een reductie op de waterbergingsopgave voor de woonwijk.

In het onderzoek is een analyse gemaakt van de verwachte klimaatproblemen en gebiedskenmerken van de woonwijk. Op basis van de gebiedskenmerken is bij de gemeente geïnventariseerd wat de uitgangspunten zijn voor het ontwerp van het meest geschikte infiltratiesysteem. Aanvullend is een selectie gemaakt van infiltratietechnieken voor de toepassing op perceelsniveau en de kosten om dit te realiseren. Door middel van een multicriteria analyse is de technisch financiële haalbaarheid van de infiltratietechnieken bepaald. Om de bijdrage van de infiltratie op perceelsniveau in relatie tot de reductie op de waterbergingsopgave vast te stellen zijn scenario's uitgewerkt waarin is uitgegaan van 0 %, 50 %, 75 % en 100 % infiltratie van het hemelwater van het dakoppervlak. Tevens zijn scenario's opgesteld waarin is uitgegaan van een waterbergingsopgave zonder gebiedsvreemd water.

Uit het onderzoek is gebleken dat om de voldoen uit de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021 ten aanzien van water op straat, de onderstaande uitgangspunten moeten worden opgenomen in het rioolrenovatieproject.

- Er dient in ieder geval een waterpasserende verharding met waterbergende fundering te worden gerealiseerd ter hoogte van de wegen in de openbare ruimte.
- De afwaterende wegen van buiten het onderzoek moeten worden geblokkeerd door middel van het plaatsen van drempels.
- In deelgebieden 2 (A-B) moeten aanvullende infiltratievoorzieningen worden gerealiseerd om het water van de parkeerterreinen trottoirs vast te houden/plaatselijk te infiltreren.

Om het rioolrenovatieproject succesvol te laten zijn dient in ieder geval te worden gestreefd naar 50 % afkoppeling van het dakoppervlak in het onderzoeksgebied. Tevens moet worden gestreefd naar een volledige waterberging van alle type afvoerend oppervlak op de grotere percelen.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Probleembeschrijving	9
1.3 Onderzoeksdoel	10
1.4 Onderzoeksgebied	10
1.5 Doelgroep	11
1.6 Leeswijzer	11
2 Methodiek.....	12
2.1 Werkwijze	12
2.2 Onderzoeksmethoden	13
3 Gebiedskenmerken.....	16
3.1 Ondergrond (laag 1).....	16
3.1.1 Reliëf	16
3.1.2 Bodemopbouw.....	17
3.1.3 Bodemdoorlatendheid	17
3.1.4 Grondwater	17
3.2 Infrastructuur (laag 2)	18
3.2.1 Stroombanen.....	18
3.2.2 Wegen	19
3.2.3 Riolering	20
3.3 Occupatie (laag 3)	21
3.3.1 Percelen en panden.....	21
4 Uitgangspunten	23
5 Infiltratietechnieken	25
5.1 Overzicht infiltratietechnieken	25
5.1.3 Infiltratieput	27
5.2 Aanklegkosten	28
5.3 Technische criteria	29
5.4 Technisch financiële haalbaarheid	30
6 Ontwerp infiltratiesysteem.....	32
6.1 Scenario's.....	32
6.2 Waterbergingsopgave	33
6.2.1 Type afvoerend oppervlak.....	33
6.2.2 Afstromingsverliezen	34
6.2.3 Resultaten	36
6.3 Effectiviteit Infiltratietechnieken	38
6.3.1 Infiltratie op perceelsniveau.....	38
6.3.2 Waterpasserende verharding.....	39
6.4 Water op straat.....	40
6.4.1 Infiltratieverlies	41
6.4.2 Ledigingstijd	42
6.5 Kosten infiltratiesysteem	44
7 Conclusie	45
7.1 Conclusie	45
7.2 Aanbevelingen	45
7.3 Discussie.....	46
8 Bronvermelding.....	48

Bijlagen

- 1 Wetgeving en beleid
- 2 Fotocollage onderzoeksgebied
- 3 Beschrijving en resultaten veldonderzoek
- 4 Aanvullende gebiedskenmerken
 - 4.1 Archeologische waardenkaart gemeente Amersfoort
 - 4.2 Bodemkwaliteitskaart gemeente Amersfoort
 - 4.3 Stroombanenkaart waterschap Vallei en Eem
- 5 Context
- 6 Kostenspecificatie
- 7 Rekentabel waterbergingsopgave
- 8 Rekentabel water op straat

1 Inleiding

In dit hoofdstuk is het onderwerp van het onderzoek geïntroduceerd. Tevens zijn de aanleiding van het onderzoek en de probleemstelling van gemeente Amersfoort beschreven. Ten slotte zijn de ligging van het onderzoeksgebied, de doelgroep van het onderzoek en een leeswijzer voor dit rapport beschreven.

1.1 Aanleiding

De laatste decennia wordt als één van de gevolgen van de wereldwijde klimaatverandering een veranderende neerslagverdeling opgemerkt. Er valt wereldwijd gemiddeld steeds meer neerslag waarbij het steeds vaker voor komt dat in relatief korte tijd een extreme neerslaghoeveelheid valt. Een voorbeeld hiervan is een bui die op 2 juli 2011 viel in Kopenhagen. Binnen 2 uur viel hier 150 mm neerslag¹. Door de enorme hoeveelheid water in relatie tot de beperkte bergingscapaciteit is een gedeelte van Kopenhagen destijds overstroomd met als gevolg een schade van circa 1 miljard euro. Dat dergelijke buien niet alleen in het buitenland vallen bleek uit de bui die viel op 28 juni 2011 in Herwijnen. Binnen 1 uur viel hier 94 mm neerslag, de hevigst geregistreerde bui in Nederland ooit². Herwijnen betreft een relatief klein dorp in Gelderland met een relatief klein verhard oppervlak. Hier veroorzaakt een extreme neerslaghoeveelheid ten hoogste lichte wateroverlast omdat er naast het verhard oppervlak voldoende ruimte voor het hemelwater is om te infiltreren in de bodem of af te stromen naar oppervlaktewater.

Een vergelijkbare bui in een stedelijk gebied vergroot het risico's op wateroverlast of schade aanzienlijk. Stedelijke gebieden zijn kwetsbaar voor deze extreme neerslaghoeveelheden omdat er grote hoeveelheden grondoppervlak zijn bebouwd of voorzien van een verhardingslaag. Dit biedt onvoldoende mogelijkheden voor hemelwater om te infiltreren in de bodem of af te stromen naar oppervlaktewater waardoor het hemelwater versnelt tot afstroming komt en verzameld in de lager gelegen delen van het stedelijk gebied. Hierbij wordt opgemerkt dat de rioolstelsels waardoor hemelwater wordt afgevoerd in veel stedelijke gebieden (nog) niet zijn gedimensioneerd op extreme neerslaghoeveelheden waardoor een 'water op straat' situatie ontstaat. Een voorbeeld van een 'water op straat' situatie in Amersfoort als gevolg van een bui van 50 mm binnen 2 uur is weergegeven in afbeelding 1.1. Om in de toekomst wateroverlast als gevolg van extreme neerslaghoeveelheden in stedelijke gebieden te voorkomen, zijn maatregelen vereist om hemelwater plaatselijk vast te houden. Een voorbeeld hiervan is het plaatselijk bergen en infiltreren van hemelwater in de bodem.



1.1 Water op straat in Amersfoort op 28 juli 2012 (bron: asmedia.nl, 2012)

¹ bron: rainproof.nl

² Bron: Knmi.nl

1.2 Probleembeschrijving

Binnen Amersfoort wordt geëxperimenteerd met infiltratie van hemelwater in de bodem. Hierbij wordt het hemelwater tijdens en na een extreme neerslaghoeveelheid gebufferd in de openbare ruimte en vervolgens geïnfiltrerd in de bodem. De wens van gemeente Amersfoort is om het bergen en infiltreren van hemelwater in de toekomst toe te gaan passen op perceelsniveau onder verantwoordelijkheid van perceelseigenaren. De gemeente verwacht hierdoor op langere termijn een kostenbesparing te kunnen realiseren en tevens te kunnen voldoen aan de doelstellingen voor waterberging uit het gemeentelijk Rioleringsplan Amersfoort 2012-2021. In tabel 1.2 zijn de ambities van de gemeente Amersfoort weergegeven ten aanzien van water op straat. Daarnaast wordt beschreven dat voor de komende periode een kostenbesparing kan worden gerealiseerd door het toepassen van een recent ontwikkelde rioolrenovatietechniek (relinen) bij rioolrenovatieprojecten. Hierbij wordt een riool niet vervangen, maar wordt via rioolputdeksel in de straat aan de binnenkant van het riool een waterdichte kunststof laag aangebracht.

Uit ervaring is gebleken dat afkoppelprojecten binnen de gemeente succesvol zijn geweest. Binnen Amersfoort zijn er wijken waar in het verleden naast het vuilwaterriool separaat een hemelwaterriool is aangelegd. Dit blijkt een kostbare oplossing te zijn en veroorzaakt onnodig overlast als gevolg van de werkzaamheden. De gemeente zoekt een alternatieve oplossing voor de verwerking van het hemelwater in afkoppelprojecten waarbij infiltratie op perceelsniveau tot de mogelijkheden behoort. Als blijkt dat de oplossing succesvol en duurzaam is zal deze aanpak integraal worden opgenomen in toekomstige afkoppelprojecten binnen de gemeente. Omdat er binnen gemeente Amersfoort geen praktijkervaringen bekend zijn over de infiltratie van hemelwater op perceelsniveau, heeft de gemeente behoefte aan een onderzoek waarin de technische haalbaarheid, effectiviteit en kosten hiervan worden onderzocht.

Tabel 1.2 Ambities water op straat (bron: gemeentelijk rioleringsplan 2012-2021, pagina 30, 2011)

Categorie	Maximale frequentie (per jaar)	Beschrijving
Hinder	0,5	Dit betreft kortdurende (korter dan circa 1 uur) en beperkte hoeveelheden (minder dan circa 5 cm) water-op-sstraat in woonwijken en op bedrijventerreinen.
Materiele of economische schade	0,05	Dit betreft kortdurende, beperkte hoeveelheden water-op-sstraat in winkelgebieden en op ontsluitings-/hoofdwegen, ondergelopen tunnels, opdrijven van putdeksels, of langdurige (langer dan circa 1 uur), forse (meer dan circa 5 cm) hoeveelheden water-op-sstraat in woonwijken en op bedrijventerreinen.
Ernstige materiele of economische schade	0,02	Dit betreft water in winkels, bedrijven, woningen, kelders en ernstige belemmering van het (economische) verkeer. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden met kwetsbare infrastructuur, zoals transformatorhuisjes en telefooncentrales. Deze kans van optreden is vergelijkbaar met de norm voor de kans op wateroverlast in stedelijk gebied vanuit oppervlaktewater (1 keer per 100 jaar volgens het Nationaal Bestuursakkoord Water - Actueel).

1.3 Onderzoeksdoel

De woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat dient als pilotlocatie voor het infiltreren van hemelwater op perceelsniveau omdat de gemeente Amersfoort voornemens is om in deze woonwijk op korte termijn (2018) een rioolrenovatieproject te starten. Hierbij wordt het huidige gemengd rioolstelsel gerelined en wordt het dakoppervlak van de woningen binnen de contour van het onderzoeksgebied voor zover redelijkerwijs mogelijk is, volledig afgekoppeld. Ten slotte is de gemeente voornemens om de verouderde asfaltverharding ter hoogte van de openbare wegen in deze woonwijk te vervangen voor een waterpasserende klinkerverharding met waterbergende fundering. Binnen de gemeente Amersfoort is niet bekend wat de meest geschikte infiltratietechniek is om toe te passen in combinatie met het realiseren van een waterpasserende verharding in de openbare ruimte. De meeste geschikte oplossing bestaat uit een duurzaam en op termijn goedkoper alternatief waarbij moet worden gestreefd naar de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021 ten aanzien van wateroverlast zoals weergegeven in tabel 1.2.

Aan de hand van de probleemstelling is de navolgende onderzoeksvraag geformuleerd.

- Wat is de meest geschikte oplossing om hemelwater in de woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat te infiltreren?

Met meest geschikt wordt in dit geval bedoeld: voldoende bergingsmogelijkheden om te voldoen aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021 (tabel 1.2) tegen de laagst mogelijke kosten.

Om tot een antwoord te komen op de hoofdvraag zijn de onderstaande deelvragen opgesteld.

- Wat zijn de gebiedskenmerken van het onderzoeksgebied en hoe functioneert het huidige watersysteem?
- Welke mogelijke oplossingen of combinaties van oplossingen zijn mogelijk om de verwachte hoeveelheid neerslag binnen het onderzoeksgebied te verwerken?
- Welke criteria zijn van belang bij de beoordeling van de mogelijke oplossingen om de verwachte hoeveelheid neerslag in het onderzoeksgebied te verwerken?
- Hoe effectief zijn de mogelijke oplossingen en wat is de bijdrage aan het reduceren van de verwachte wateroverlast?
- Wat is de technisch financiële haalbaarheid van de meest geschikte oplossing om de verwachte hoeveelheid neerslag in het onderzoeksgebied te verwerken?

1.4 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied is gelegen in het Leusderkwartier, een stadsdeel van Amersfoort en betreft de woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat. De grenzen van het onderzoeksgebied zijn vastgesteld door de gemeente Amersfoort op basis van de uit te voeren renovatiewerkzaamheden aan het gemengd rioolstelsel. In afbeelding 1.3 wordt de contour van het onderzoeksgebied weergegeven. In afbeelding 1.4 wordt de regionale ligging van het onderzoeksgebied weergegeven. De ligging van de A28 ten zuiden en de stadskern Amersfoort ten noorden van het onderzoeksgebied zijn duidelijk weergegeven.



1.3 Contour onderzoeksgebied (bron: Luchtfoto ESRI, 2017)



1.4 Regionale ligging onderzoeksgebied (bron: Luchtfoto ESRI, 2017)

1.5 Doelgroep

De doelgroep van dit onderzoek bestaat uit beoordelaars van Hogeschool Van Hall Larenstein en de opdrachtgever dhr. J. van 't Klooster van gemeente Amersfoort (adviseur beheer openbare ruimte). Mogelijk kunnen de resultaten van het onderzoek worden gebruikt om in andere stadsdelen van Amersfoort vergelijkbare oplossingen toe te passen voor het verwerken van de verwachte extreme neerslaghoeveelheden.

1.6 Leeswijzer

In deze paragraaf wordt de hoofdstukindeling besproken. Tevens is weergegeven waar de antwoorden op de deelvragen in het rapport zijn te vinden.

Hoofdstuk 1 van het rapport bestaat uit de inleiding met de aanleiding en het doel van het onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze en de gebruikte onderzoeksmethoden beschreven. Hoofdstuk 3 bestaat uit de analyse van de gebiedskenmerken. In hoofdstuk 4 zijn de uitgangspunten beschreven ten behoeve van het ontwerp van het infiltratiesysteem. Hoofdstuk 5 bestaat uit een overzicht van de infiltratietechnieken en de technische financiële haalbaarheid van de toepassing op perceelsniveau. In hoofdstuk 6 wordt het ontwerp van het infiltratiesysteem gepresenteerd waarbij wordt ingegaan op scenario's, de waterbergingsopgave en water op straat. In hoofdstuk 7 zijn de conclusie, aanbevelingen en discussie beschreven. In hoofdstuk 8 is de bronvermelding weergegeven.

Het antwoord op de eerste deelvraag is te vinden in hoofdstuk drie.

Het antwoord op de tweede en derde en vijfde deelvraag is te vinden in hoofdstuk vijf.

Het antwoord op de vierde deelvraag is te vinden in hoofdstuk zes.

De hoofdvraag is beantwoord in hoofdstuk zeven.

2 Methodiek

Dit hoofdstuk beschrijft in de eerste paragraaf de werkwijze en in de tweede paragraaf de gebruikte onderzoeksmethoden tijdens de uitvoering van het onderzoek. De methode en werkwijze zijn vooraf vastgesteld in het onderzoeksplan.

2.1 Werkwijze

Het onderzoek is uitgevoerd in een aantal stappen. Dit is weergegeven in figuur 2.1. Deze stappen zijn hierna kort toegelicht.

2.1 Onderzoeksstappen

Stap 1	Analyse van gebiedskenmerken
Stap 2	Definiëren ontwerpuitgangspunten
Stap 3	Onderzoek naar infiltratietechnieken
Stap 4	Ontwerp infiltratiesysteem
Stap 5	Rapportage en conclusie

Stap 1 Analyse gebiedskenmerken

De eerste onderzoeksstap heeft bestaan uit de analyse van gebiedskenmerken. In deze fase is een locatie inspectie uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in de huidige situatie van het onderzoeksgebied. Daarnaast is uit diverse bronnen informatie gehaald met betrekking tot de gebiedsinrichting. Een analyse van de gebiedskenmerken is noodzakelijk inzicht te krijgen in risico's op wateroverlast (omvang, plaats), bepalen effectiviteit van een afkoppelproject en technische uitvoering.

Stap 2 Definiëren ontwerpuitgangspunten

In de tweede onderzoeksstap zijn de ontwerpuitgangspunten bepaald op basis van de gebiedskenmerken. Er is onderzoek uitgevoerd naar de klimaateffecten en op basis hiervan is een maatgevende extreme neerslaghoeveelheid bepaald. Daarnaast zijn wensen van de gemeente met betrekking tot de afkoppeling en renovatie van het gebied geïnventariseerd. Ten slotte zijn voor de uitvoering van berekeningen uitgangspunten bepaald met betrekking tot hoeveelheden en de huidige afstroming.

Stap 3 Inventarisatie en beoordelen infiltratietechnieken

In de derde onderzoeksstap is informatie opgezocht over de technische eigenschappen van infiltratievoorzieningen. Tevens zijn eenheidsprijzen opgevraagd op basis waarvan de kosten per infiltratietechniek zijn bepaald. In deze fase is ook nagedacht over de technische criteria voor de realisatie van infiltratievoorzieningen op perceelsniveau.

Stap 4 Ontwerp infiltratiesysteem

In de vierde onderzoeksstap zijn berekeningen uitgevoerd aan het ontwerp van de mogelijke oplossingen. In deze fase zijn scenario's opgesteld om het aandeel van infiltratie op perceelsniveau aan te tonen. In het eerste scenario is de nulsituatie van het onderzoeksgebied bepaald. Daarnaast is in de scenario's onderscheid

gemaakt tussen 50 %, 75 % en 100 % afkoppeling van het dakoppervlak in relatie tot de reductie op de waterbergingsopgave voor het onderzoeksgebied. Tevens is in de scenario's onderscheid gemaakt tussen wel of geen afwatering van hemelwater van buiten het onderzoeksgebied naar binnen het onderzoeksgebied. Na het analyseren van de resultaten uit deze stap is overleg geweest met de opdrachtgever om de betrouwbaarheid van de berekeningen door te spreken.

Stap 5 Rapportage en conclusie

Ten slotte is een conclusie getrokken over de resultaten uit het onderzoek. De hoofdvraag is beantwoord en alle gegevens uit het onderzoek zijn verwerkt in de rapportage. Dit was ook een evaluatiemoment om te controleren of de juiste antwoorden voor de opdrachtgever zijn verkregen door de uitvoering van het onderzoek.

2.2 Onderzoeksmethoden

In deze paragraaf zijn de gebruikte onderzoeksmethoden en de daarbij behorende werkzaamheden beschreven.

Literatuuronderzoek

In het literatuuronderzoek is kennis over extreme neerslaghoeveelheden en de afvoer daarvan verzameld door kennisportalen te raadplegen. Daarnaast is informatie over klimaatscenario's en neerslagstatistiek geraadpleegd. Vanuit gemeente Amersfoort zijn beleidsdocumenten zoals het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort, klimaatagenda water en de intentieverklaring ruimtelijke adaptatie verstrekt. Naast de verkregen beleidsdocumenten vanuit de gemeente is ook vigerende wet- en regelgeving met betrekking tot hemelwaterinfiltratie geraadpleegd. Op het web is kaartmateriaal opgezocht met betrekking tot bodem(kwaliteit), grondwateronttrekking, kadastrale gegevens en basisregistratie adressen en gebouwen. Om informatie te verzamelen over infiltratietechnieken en de toepassing daarvan zijn websites als groenblauwenetwerken en rainproof geraadpleegd. Voor de technische specificaties van de infiltratietechnieken zijn websites van leveranciers zoals Wavin, Betonputten en Dyka bekeken. Om de afvoer van de overstort en het infiltratieverlies te berekenen is gebruik gemaakt van de module 'rioleringsberekeningen' uit het 3e jaar van de studie Land- en Watermanagement. Een overzicht van de gebruikte bronnen is opgenomen in hoofdstuk 8. Voor een samenvatting van de geraadpleegde wetgeving en beleid wordt verwezen naar bijlage 1.

Er is gebruik gemaakt van praktijkkennis over de verwerking van hemelwater door Stichting RIONED. Deze stichting is het kennisinstituut voor stedelijk waterbeheer en riolering in Nederland. De stichting wordt geparticipeerd door overheden, bedrijven en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Voor onderhavig onderzoek is gebruik gemaakt de leidraad riolering, module C2100 (Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren

Lagenbenadering gebiedskenmerken

De analyse van de gebiedskenmerken is uitgevoerd volgens de methode van de lagenbenadering. Door deze methode is het onderzoeksgebied opgesplitst in verschillende lagen en wordt een beeld verkregen van de belangrijkste gebiedskenmerken.

Reservoirmodel Raintools

Rioned heeft recent het softwareprogramma Raintools ontwikkeld voor het toetsen van infiltratievoorzieningen en de overstort op het gemeentelijk riool. Dit programma zou in eerste instantie worden gebruikt als onderdeel van het onderzoek maar is bij nader inzien niet geschikt gebleken voor dit

onderzoek omdat het onderzoeksdoel bestaat uit het aantonen van effectiviteit van infiltratie van hemelwater op perceelsniveau in verhouding tot de gehele waterbergingsopgave van het gebied. Raintools richt zich op de effecten van extreme neerslaghoeveelheid in de bestaande situatie en gaat uit van afvoer via een gemeentelijk rioolstelsel. Uitgangspunten voor onderhavig onderzoek zijn het voorkomen van de afvoer van hemelwater via een gemeentelijk rioolstelsel en de infiltratie van hemelwater op perceelsniveau. Tevens is Raintools door beperkingen aan de testversie niet geschikt om de juiste extreme neerslaghoeveelheid te gebruiken die is opgenomen als uitgangspunt voor dit onderzoek.

Interviews

Tijdens de uitvoering van het onderzoek zijn gesprekken gevoerd met de opdrachtgever. Uit de gesprekken met de opdrachtgever zijn praktische zaken met betrekking tot het functioneren en de ligging van het huidige rioolstelsel naar voren gekomen.

Op 4 mei 2017 is in het veldbezoek contact gezocht met bewoners uit het onderzoeksgebied. Hieruit is gebleken dat er op perceelsniveau weinig tot geen wateroverlast wordt ervaren bij een extreme neerslaghoeveelheid. De bewoners gaven aan dat de waterproblemen in het onderzoeksgebied voornamelijk worden veroorzaakt door de verouderde asfaltverharding. Tijdens neerslag ontstaat er plasvorming op deze verharding terwijl op de onverharde delen van het gebied nooit plasvorming wordt waargenomen. De goede infiltratiemogelijkheden zorgen periodiek zelfs voor droge situaties met negatieve gevolgen voor de beplante bovenlaag. Ook is door een bewoner de wens uitgesproken om de grasvelden tussen de appartementencomplexen in de huidige staat te willen behouden voor recreatieve doeleinden. De bewoner gaf aan te genieten van de 'tuin' voor de appartementencomplexen.

Er heeft contact plaatsgevonden met de opsteller van de stroombanenkaart (dhr. M. Eijkelkamp van het Waterplatform Vallei en Eem). Uit het contact is gebleken dat een locatie inspectie noodzakelijk is om de resultaten van de stroombanen te verifiëren. Omdat de kaart is opgesteld op basis van een raster van 0,5 m² kunnen kleine oneffenheden in het maaiveld worden overzien door ArcGis, het programma waarmee de stroombanenanalyse is uitgevoerd.

Veldonderzoek

Er zijn twee veldbezoeken uitgevoerd op 4 maart en 4 mei 2017. Het eerste veldbezoek heeft bestaan uit een locatie inspectie. Het doel was om inzicht te verkrijgen in de gebiedskenmerken en verificatie van de stroombanenkaart. Er zijn foto's gemaakt van de situatie ter plaatse van het onderzoeksgebied. Een fotocollage van de situatie in het onderzoeksgebied is opgenomen in bijlage 2.

Het tweede veldbezoek heeft in teken gestaan van veldonderzoek. In de deelgebieden 2 (A-B) zijn 2 grondboringen uitgevoerd tot 2 m-mv. De boringen zijn uitgevoerd om in het veld te verifiëren dat de grondwaterstand dieper bevindt dan 2 m-mv. Tevens zijn 3 infiltratiemetingen uitgevoerd ter hoogte van de grasvelden in deelgebieden 2 (A-B). De metingen zijn uitgevoerd met behulp van een dubbele ring infiltrometer. Dit is een instrument waarmee de waterinfiltratiesnelheid vanaf het maaiveld in de bovengrond bepaald kan worden. De onderzijde van de ringen is tot beneden het maaiveld gedrukt en vervolgens zijn de ringen met water gevuld, waarna de snelheid waarmee het water in de grond trekt gemeten wordt. Door de dubbele ring wordt zijdelingse wegzijging van het infiltrerende water beperkt. De resultaten van de infiltratiemetingen zijn opgenomen in het hoofdstuk ontwerp infiltratiesysteem. De verklaring van de deelgebieden is opgenomen in de gebiedskenmerken. Voor een nadere beschrijving van het veldonderzoek en de resultaten wordt verwezen naar bijlage 3.

Deelnemen gemeentelijk overleg

Op 10 april 2017 is deelgenomen aan het overleg 'starten voor de start' van gemeente Amersfoort. In dit overleg stond de herinrichting van deze woonwijk centraal. In het overleg waren diverse specialisten aanwezig met betrekking tot bodem en ondergrond, ecologie, communicatie en riolering. In het overleg is naast de mogelijkheden voor infiltratie van hemelwater ingegaan op de herinrichting van deze woonwijk. De communicatie tussen bewoners en de gemeente is een belangrijk onderdeel voor de participatie van bewoners in een afkoppelingsproject. Uit de onderwerpen die voorbij kwamen in het overleg is praktische kennis opgedaan voor de uitvoering van het onderzoek.

Multicriteria analyse

Om de technisch financiële haalbaarheid van infiltratievoorzieningen te toetsen is gebruik gemaakt van een multicriteria analyse. Er is gekozen voor deze methode om tussen diverse discrete alternatieven een rationele keuze te maken op basis van meer dan één onderscheidingscriterium (toetscriterium). Een belangrijk aspect voor een correcte uitvoering van de analyse is het kiezen van de juiste onafhankelijke criteria. De criteria zijn opgesteld op basis van het veldbezoek en de analyse van de gebiedskenmerken. Daarna zijn de criteria besproken met de opdrachtgever en akkoord bevonden. In de analyse zijn de criteria voorzien van scores. De scores zijn relatieve scores en geïndexeerd op een schaal van 0 tot 1. De scores van de criteria zijn vermenigvuldigd met de gewichting per criterium.

Kosten analyse

Om de kosten van infiltratievoorzieningen te bepalen zijn eenheidsprijzen van werkzaamheden en materialen opgevraagd bij twee aannemers in de grond, weg en waterbouw en één hovenier. Op basis van drie eenheidsprijzen zijn gemiddelde eenheidsprijzen vastgesteld. Hieruit zijn de kosten berekend voor de aanleg van de infiltratievoorzieningen op perceelsniveau.

Gisanalyse

Met behulp van ArcGis zijn de kadastrale grenzen in het onderzoeksgebied bekeken. Tevens is informatie uit het basisregister adressen en gebouwen in het onderzoeksgebied weergegeven. Ten slotte zijn op basis van de TOP10NL kaart oppervlakten bepaald van typen afvoerende oppervlak in het onderzoeksgebied. De kaarten in dit rapport zijn ook opgesteld met behulp van ArcGis.

Scenario's

Omdat er voorafgaand aan het onderzoek nog geen duidelijkheid was over het aandeel participerende perceelseigenaren in het project is besloten om met behulp van scenario's te bepalen wat het aandeel van het dakoppervlak op de reductie op de waterbergingsopgave is. Door het opstellen van scenario's wordt inzicht gegeven in mogelijke toekomstige ontwikkelingen. De opdrachtgever kan op basis van de resultaten van het onderzoek anticiperen door sturing te geven aan de uitvoering van het project of het bijstellen van de doelstellingen. In tabel 2.2 is een beknopt overzicht van de scenario's weergegeven. De scenario's zijn toegelicht in hoofdstuk 6.

Tabel 2.1 Overzicht scenario's

Scenario	Afgekoppeld dakoppervlak (%)	Afwaterende wegen	Aanvullend
A	0	Nee	-
B	50	Nee	-
C	100	Nee	-
D	50	Ja	-
E	75	Ja	-
F	100	Ja	-
G	100	Ja	Aanvullende berging parkeerterreinen

3 Gebiedskenmerken

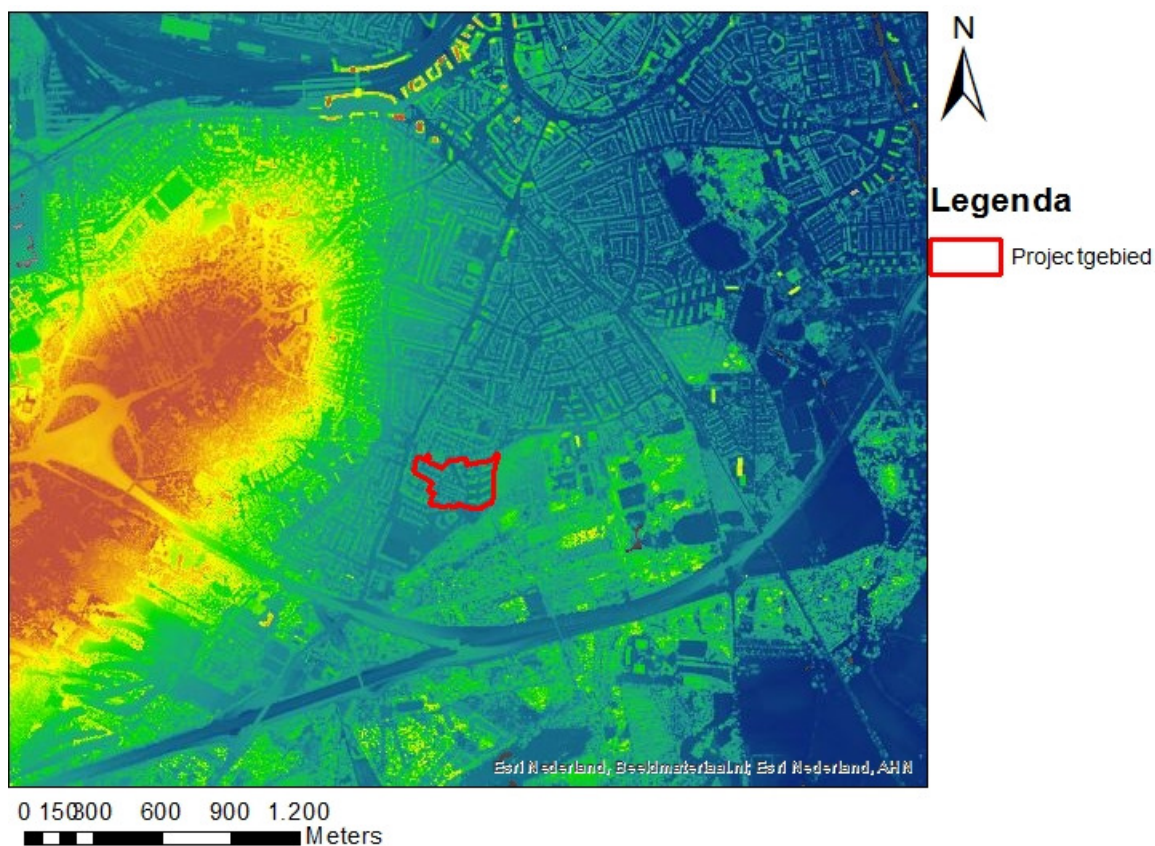
In dit hoofdstuk zijn de gebiedskenmerken van het onderzoeksgebied beschreven volgens de lagenbenadering. De methode van de lagenbenadering splitst het gebied uit in ondergrond, infrastructuur en occupatie. Door inzicht te verkrijgen in de opbouw van de percelen kunnen technische criteria worden opgesteld voor de realisatie van infiltratievoorzieningen. Op basis van de analyse van de gebiedskenmerken zijn de ontwerputgangspunten opgesteld.

3.1 Ondergrond (laag 1)

In deze paragraaf zijn de belangrijkste aspecten van de ondergrond beschreven. Om de infiltratiemogelijkheden te onderzoeken is een beschrijving gemaakt van de textuur en geohydrologische eigenschappen van de bodem. Voor aanvullende minder relevante informatie met betrekking tot geologie, archeologie en grondwateronttrekking wordt verwezen naar bijlage 4.

3.1.1 Reliëf

De maaiveldhoogte in het onderzoeksgebied is gelegen op NAP + circa 7,5 m. Binnen de contouren van het projectgebied is geen sprake van noemenswaardige hoogteverschillen. Het gebied is aan de west- en oostzijde omgeven door afwijkend reliëf. Ten westen van het onderzoeksgebied ligt de Amersfoortse Berg, een uitloper van de Utrechtse Heuvelrug met een maximale maaiveldhoogte van circa 44 m +NAP. Ten Oosten van het onderzoeksgebied ligt een landgoed (Nimmerdor) met een maximale maaiveldhoogte van circa 15 m +NAP. In afbeelding 3.1 is een overzicht gegeven van de hoogteligging van het onderzoeksgebied ten opzicht van de omgeving. Hierbij ligt het maaiveld van de blauw/groen gekleurde gebieden lager dan de geel/oranje gekleurde gebieden.



3.1 Reliëf onderzoeksgebied en omgeving (bron: Luchtfoto ESRI, AHN, 2017)

3.1.2 Bodemopbouw

De bodem bestaat tot 14,25 m-mv uit leemarm en grof zand (Y30 / Zd21). Vanaf circa 14,25 m-mv is sprake van een slecht doorlatende kleilaag, namelijk de Eemklei. Deze kleilaag is, afhankelijk van de ligging binnen Amersfoort, gelegen op ongeveer NAP - 14 m. In tabel 3.2 is de bodemopbouw ter hoogte van het onderzoeksgebied beschreven. De gegevens uit deze tabel zijn ontleend aan www.dinoloket.nl.

Tabel 3.2 Bodemopbouw (bron: dinoloket, 2017)

Diepte (m-mv)	Geologische eenheid / Formatie	Lithologische beschrijving / Grondsoort	Geohydrologische indeling	K-waarde (verticaal)
0,00-2,75	Formatie van Boxtel	Zandige eenheid	Deklaag	Matig ($1 < k < 10$)
2,75-14,25	Formatie van Drenthe	Zandige eenheid	Freatisch pakket	Hoog ($10 < k < 100$)
14,25-15,75	-	Zandige en kleiige eenheid	Waterafsluitende laag	Laag ($0,001 < k < 1$)
15,75-20,00	-	Zandige en kleiige eenheid	Waterafsluitende laag	Matig ($1 < k < 10$)

- Onbekende eenheid, niet duidelijk te beschrijven

3.1.3 Bodemdoorlatendheid

In 2016 is door firma Econsultancy in het kader van een voorgenomen reconstructie van de openbare ruimte een infrastructureel bodemonderzoek uitgevoerd ter hoogte van de Reaumurstraat, Kelvinstraten Fahrenheitstraat (Econsultancy, kenmerk: 2002/001, d.d. 14-10-2016). In tabel 3.3 zijn de resultaten van het infrastructureel bodemonderzoek weergegeven. In overleg met gemeente Amersfoort is besloten de onderzoeksresultaten per bodemlaag te bemiddelen en een k-waarde van 4 m/dag aan te houden voor de onverzadigde ondergrond ter hoogte van het onderzoeksgebied. Deze waarde wordt gebruikt in de berekening van het infiltratieverlies.

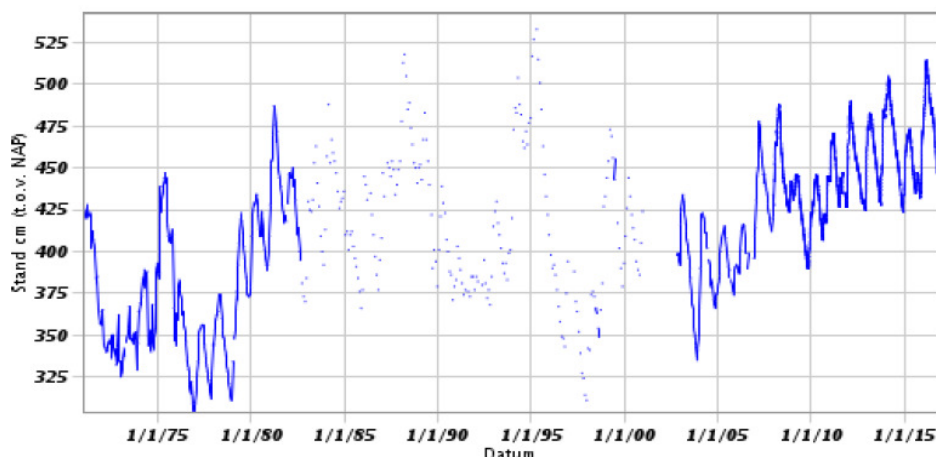
Tabel 3.3 Samenvatting doorlatendheidsonderzoek (bron: Econsultancy, kenmerk: 2002/001, d.d. 14-10-2016)

Boring	Onderzochte bodemlaag (m-mv)	Bodemzone	Bodemtextuur	Gemiddelde K-waarde (m/dag)	Beoordeling
04	1,1-1,5	Onverzadigd	zwak siltig, matig fijn zand	3,7	Goed doorlatend
12	0,1-0,9	Onverzadigd	zwak grindig, zwak siltig, matig fijn zand	4,9	Goed doorlatend
24	1,0-2,0	Onverzadigd	zwak siltig, zeer fijn zand	Meer dan 10 (A)	Zeer goed doorlatend

(A) Omdat de boring niet te verzadigen is bedraagt de K-waarde >10 m/dag)

3.1.4 Grondwater

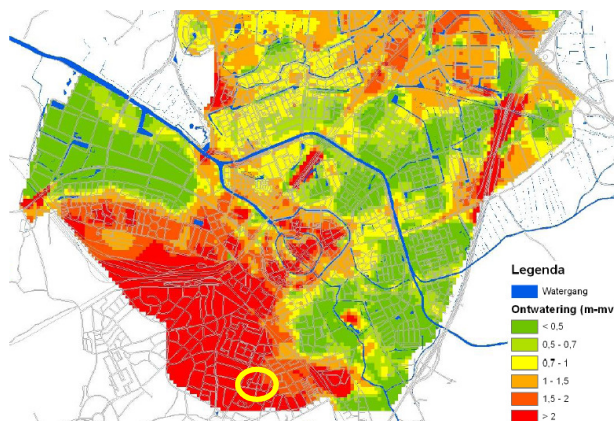
De grondwaterstand fluctueert tussen de 4,5-5,0 m+ NAP. Na omrekening met de hoogteligging van het maaiveld in het plangebied (NAP+ 7,5 m) blijkt de grondwaterstand op circa 2,5-3,0 meter beneden maaiveld te liggen-mv te zijn gelegen. In afbeelding 3.4 is het stijghoogteverloop van het grondwater ter hoogte van de Jan van der Heijden straat weergegeven.



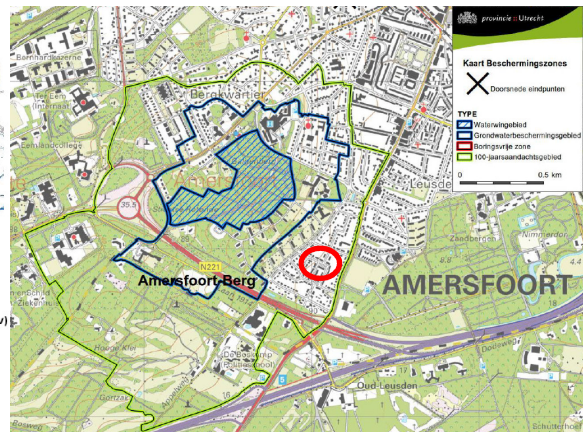
3.4 Stijghoogtelijnen grondwater tussen 1975 en 2015 (bron: dinoloket, 2017)

In het gemeentelijk rioleringsplan is een ontwateringskaart opgenomen. Uit de gegevens van de kaart blijkt dat ter hoogte van het onderzoeksgebied een ontwateringsdiepte van $> 2,0$ m wordt aangetroffen. In afbeelding 3.5 is de ontwateringskaart uit het gemeentelijk rioleringsplan weergegeven. Het onderzoeksgebied is gelegen ten zuiden van de stadskern in de gele cirkel.

Het onderzoeksgebied ligt in de nabijheid van de grondwaterwinning 'Amersfoortse Berg'. Deze grondwaterwinning is in 1955 gestart ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Amersfoort. De onttrekking van het grondwater op de Amersfoortse berg leidt in de omliggende gebieden tot een permanent verlaagde grondwaterstand. In afbeelding 3.6 is de ligging van de grondwaterwinning ten opzichte van het onderzoeksgebied (rode cirkel) weergegeven.



3.5 Ontwateringskaart (bron: Gemeentelijk Rioleringsplan 2012-2021)



3.6 Grondwateronttrekkingsgebied (bron: Provincie Utrecht, 2017)

3.2 Infrastructuur (laag 2)

De infrastructurele netwerken in het onderzoeksgebied bestaan uit openbare wegen en riolering (ondergronds). In deze paragraaf zijn ook de stroombanen beschreven en relatie tot de wegen in het onderzoeksgebied. Tevens worden de gemeentelijke wegen in het onderzoeksgebied beschreven waarbij de gemeente voornemens is om een waterpasserende verharding toe te passen.

3.2.1 Stroombanen

In opdracht van gemeente Amersfoort is door het Waterplatform, Vallei en Eem een stroombanenkaart opgesteld (28-05-2016, M. Eijkelkamp). Op de kaart is te zien dat tijdens extreme neerslaghoeveelheden plasvorming ontstaat ter hoogte van de kruising Kamerlingh Onnesstraat / Einsteinstraat. In de achtertuinen van de geschakelde woningen ter hoogte van de Buys Ballotstraat en Kamerlingh Onnesstraat ontstaat ook plasvorming. Voor de stroombanenkaart wordt verwezen naar bijlage 4.3.

Op basis van de stroombanenkaart blijkt dat de Pascalstraat, Pasteurstraat, Jan van der Heijdenstraat, Treekerbergje en het parkeerterrein naast de Kamerlingh Onnesstraat afwateren naar het plangebied. Opgemerkt wordt dat deze wegen buiten het onderzoeksgebied zijn gelegen. Omdat er geen drempels aanwezig zijn ter hoogte van de contouren van het onderzoeksgebied wordt verondersteld dat hemelwater vanaf deze wegen afstroomt en verzameld aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied ter hoogte van de kruising Kamerlingh Onnesstraat / Einsteinstraat.

3.2.2 Wegen

De wegen en trottoirs in de openbare ruimte zijn voorzien van een asfaltverharding en worden beheerd door de gemeente. Ter hoogte van de kruising van de wegen Einsteinstraat / Robert Kochstraat en aan de zuidzijde van de Kamerlingh Onnesstraat zijn enkele bloemperken gelegen. De oppervlakten hiervan variëren van 36 m² tot 250 m². In afbeelding 3.7 is een overzicht weergegeven van de gemeentelijke wegen inclusief straatnamen.



3.7 Openbare wegen in het onderzoeksgebied (bron: Wegenbestand ESRI, 2017)

In tabel 3.8 zijn de oppervlakten van de wegen en trottoirs weergegeven binnen de contouren van het onderzoeksgebied. In tabel 3.9 is oppervlakte van de wegen en trottoirs weergegeven die buiten het de contouren van het onderzoeksgebied zijn gelegen, maar op basis van de stroombanenkaart afwateren naar het onderzoeksgebied.

Tabel 3.8: Oppervlakte wegen en trottoirs per straatnaam in het onderzoeksgebied (bron: Wegenbestand ESRI, 2017)

Straatnaam	Oppervlakte trottoir en wegen (m ²)
Kamerlingh Onnesstraat	3639
Buys Ballotstraat	3080
Einsteinstraat	2356
Keesomstraat	1880
Robert Kochstraat	2148

Tabel 3.9: Oppervlakte wegen en trottoirs per straatnaam buiten het onderzoeksgebied (bron: Wegenbestand ESRI, 2017)

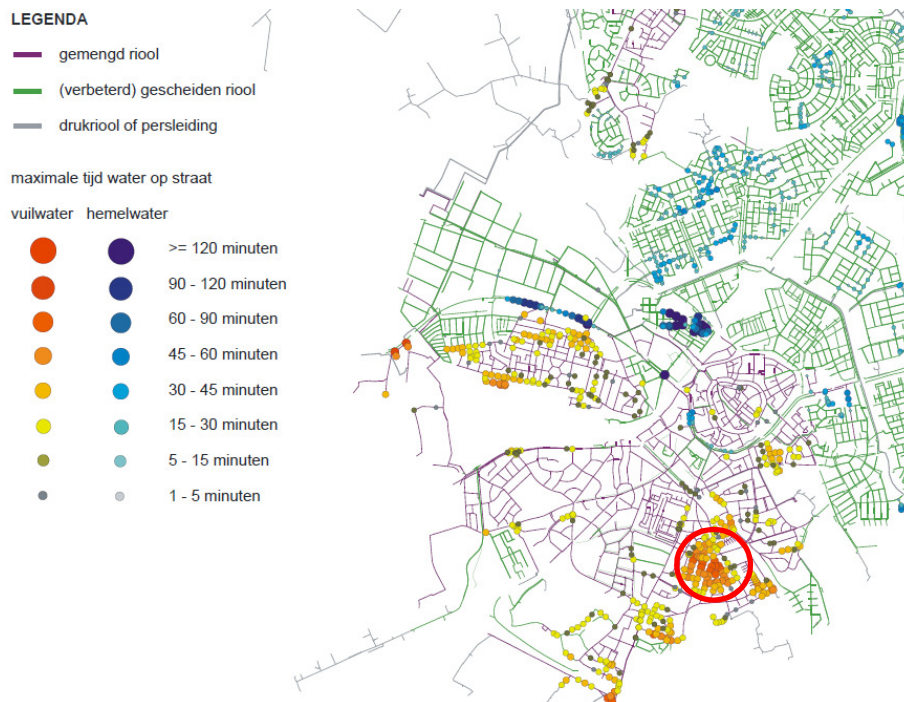
Straatnaam	Oppervlakte trottoir en wegen (m ²)
Pascalstraat	3180
Pasteurstraat	2500
Jan van der Heijdenstraat	3933
Trekerbergje	861
Parkeerterrein Kamerling Onnesstraat	3028

3.2.3 Riolering

Ter hoogte van onderzoeksgebied en de aanvullende wegen op basis van de stroombanenkaart is een gemengd rioolstelsel gelegen. Op basis van de BOB hoogten kan worden geconcludeerd dat de stroomrichting in zuidwestelijke richting is. De trottoirkolken en hemelwateraansluitingen binnen het onderzoeksgebied zullen worden afgekoppeld van het gemengd rioolstelsel. De trottoirkolken ter hoogte van de wegen buiten het onderzoeksgebied worden vooralsnog niet afgekoppeld van het gemengd rioolstelsel ter plaatse. Ter hoogte van de nieuwbouwwijk ten zuiden van het onderzoeksgebied nabij de Zernikestraat is een gescheiden rioolstelsel gelegen.

Op de kruising van de Einsteinstraat/Kamerlingh Onnesstraat zijn een tweetal rioolputten naast elkaar gelegen ten behoeve van vuilwater riool uit het onderzoeksgebied en het hemelwaterriool uit de zuidelijk gelegen nieuwbouwwijk. Op de rioolput ten behoeve van het hemelwaterriool uit de nieuwbouwwijk is een overstort met betonnen buis aangesloten. Deze buis heeft een lengte van circa 85 m en een diameter van 300 mm en stroomt onder vrij verval vanaf deze put in zuidelijke richting het bos in. Deze overstort met buis geeft de mogelijkheid om bij extreme neerslaghoeveelheden een deel van het hemelwater te lozen in het bos. Voor een situatieoverzicht van deze rioolputten wordt verwezen naar de fotocollage in bijlage 2.

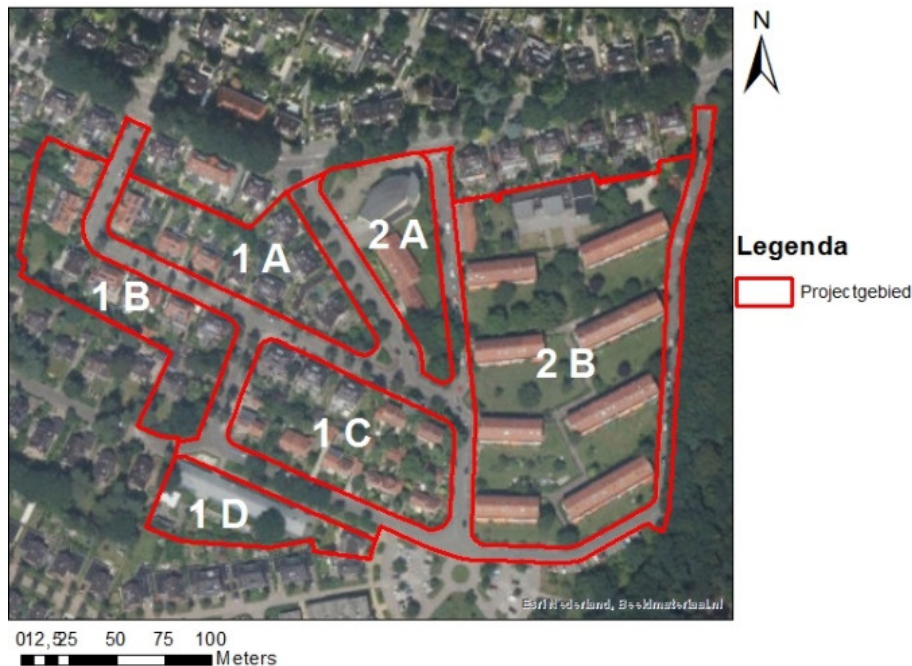
De gemeente heeft met behulp van modelberekeningen in Sobek laten onderzoeken waar in de stad water op straat optreedt als gevolg van extreme neerslag. Op basis van deze informatie is een kaart gemaakt en opgenomen in het gemeentelijk rioleringsplan. De kaart presenteert de risicogebieden ten aanzien van water op straat als gevolg van hevige neerslag. In de meest voorkomende gevallen betreft het locaties waarbij kortdurend water op straat kan worden ervaren. In enkele gevallen kan voor een langere tijd water op straat worden ervaren. In afbeelding 4.10 wordt de kaart weergegeven. Op de kaart is te zien dat de hoogte van het onderzoeksgebied (rode cirkel) na een extreme bui een verhoogd risico ten aanzien van water op straat wordt aangetroffen. Als gevolg van het gemengd rioolstelsel brengt dit een extra risico tot overlast met zich mee. Vuil water op straat kan ook stankoverlast en verontreiniging veroorzaken.



3.10 Verwachte water op straat locaties Amersfoort (bron: Gemeentelijk rioleringsplan 2012-2021, DHV)

3.3 Occupatie (laag 3)

Voor de realisatie van infiltratietechnieken op perceelsniveau is onderzoek naar de percelen en panden relevant in verband met de technische haalbaarheid van infiltratie op perceelsniveau. Voor het bepalen van de meest geschikte infiltratietechniek op perceelsniveau zijn de onderzoeksgebieden gesplitst in deelgebieden. De grenzen van de deelgebieden zijn op basis van kadastrale gegevens en de ligging van de openbare weg bepaald met behulp van ArcGis. De deelgebieden bestaan uit percelen die overeenkomen qua indeling en afmeting. In afbeelding 3.11 is een overzicht weergegeven van de indeling van deelgebieden. In afbeelding 3.14 zijn de functies en de ligging van de panden weergegeven. De deelgebieden komen in het ontwerp van het infiltratiesysteem (H6) terug.



3.11 Situering deelgebieden (bron: kadastrale kaart ESRI, 2017)

3.3.1 Percelen en panden

Ter hoogte van de Buys Ballotstraat en de Kamerlingh Onnesstraat (deelgebieden 1 A-C) zijn geschakelde jaren '30 woningen (2 onder 1 kap) met voor- en achtertuin gelegen. De woningen zijn particulier eigendom. Het dakoppervlak van de woningen varieert tussen de 54 en 167 m². De percelen waarop deze woningen staan worden gekenmerkt door een indeling waarbij de woning op het midden van het perceel staat. Tussen de woning en de openbare weg is een voortuin gelegen van enkele meters diep. Vanaf de voortuin is aan de zijkant van de woning een pad (> 2 m breed) naar de achtertuin gelegen. De voortuinen zijn voornamelijk ingericht als parkeerplaats. De achtertuinen vanaf de woning tot aan de perceelsgrens zijn maximaal 10 meter diep.

Ten zuiden van de Kamerlingh Onnesstraat is in deelgebied 1 D een voormalige school (nu ingericht als woningen) en een woning gelegen. De voormalige school heeft een dakoppervlak van 740 m². De woning heeft een dakoppervlak van 138 m².

Zoals beschreven is in de ontwerpuitgangspunten is een aanname gedaan voor de inrichting van de achtertuinen. De aanname is nodig om criteria te bepalen voor de technische haalbaarheid van infiltratietechnieken. In afbeelding 3.12 is een voorbeeld indeling van een achtertuin weergegeven. In de

voorbeeldtuin is een grasveld en terras weergegeven. De meest geschikte infiltratietechniek dient hier kleinschalig te worden toegepast en met licht materieel te worden gerealiseerd. Waarbij rekening moet worden gehouden met de bereikbaarheid van materieel in de achtertuin.



3.12: Voorbeeld indeling achtertuin
(bron: Ruhaakmakelaardij, 2017)



3.13 Parkeerterrein Fontijnkerk (locatie inspectie 04-05-2017)

De Fontijnkerk met een dakoppervlak van 1090 m² is ten westen van de Einsteinstraat in deelgebied 2 A gelegen. De kerk is in eigendom van de Protestantse gemeente Amersfoort. Een gedeelte van het kerkgebouw wordt ook gebruikt voor kinderdagopvang. Naast de kerk is een parkeerterrein met een oppervlakte van 1240 m² gelegen. Het parkeerterrein is voorzien van een halfverharding. Een overzicht van het parkeerterrein is weergegeven in afbeelding 3.13.

Tussen de Einsteinstraat en Keesomstraat zijn in deelgebied 2 B een achttal appartementencomplexen gelegen met een oppervlak variërend van 400 tot 470 m² per complex. De appartementen betreffen alleen koopwoningen met een vereniging van eigenaren. Het deelgebied wordt gekenmerkt door grasvelden en voetgangerspaden met een elementen verharding gelegen. De grasvelden worden gebruikt voor recreatieve doeleinden door de bewoners van de appartementen. Tevens is hier de Tawhid Amersfoort moskee (590 m²) gelegen. De moskee is in eigendom van stichting El Tawheed. De moskee is niet per voertuig bereikbaar, maar wel voorzien van een verhard plein. Ten westen van de moskee zijn geschakelde garageboxen gelegen met een dakoppervlak van 260 m². Op de onderstaande kaart zijn de Fontijnkerk en de Tawhid moskee weergegeven als bijeenkomst. De voormalige school is weergegeven als kantoor.



3.14 Panden en gebruiksfunctie (bron: Basisregistratie adressen en gebouwen, ESRI, 2017)

4 Ontwerputgangspunten

Onderstaand zijn de ontwerputgangspunten verwoord die de kaders van het onderzoek in vaststellen. De ontwerputgangspunten zijn voortgekomen uit de wensen van de opdrachtgever en bepaald tijdens de analyse van de gebiedskenmerken. De ontwerputgangspunten zijn opgenomen in het ontwerp van het infiltratiesysteem.

- De woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat dient als pilotlocatie voor het infiltreren van hemelwater op perceelsniveau omdat de gemeente Amersfoort voornemens is om in deze woonwijk op korte termijn (2018) een rioolrenovatieproject te starten. Hierbij wordt het huidige gemengd rioolstelsel gerelined en het dakoppervlak van de woningen binnen de contour van het onderzoeksgebied voor zover redelijkerwijs mogelijk is volledig afgekoppeld. Ten slotte is de gemeente voornemens om de verouderde asfaltverharding ter hoogte van de openbare wegen in deze woonwijk te vervangen voor een waterpasserende klinkerverharding met waterbergende fundering.
- De meest geschikte oplossing heeft een levensduur van circa 50 jaar. Er is gekozen voor 50 jaar omdat de renovatiewerkzaamheden (relinen) aan het gemengd rioolstelsel een verlenging van de levensduur van het riool met 50 jaar garandeert.
- Er is alleen onderzoek verricht naar het risico op wateroverlast in de woonwijk door extreme neerslaghoeveelheden met een maximale duur van 1 uur. Er wordt verondersteld dat deze korte extreme buien de grootste impact hebben op de woonwijk ter hoogte van de Kamerlingh Onnesstraat.
- De oplossing heeft capaciteit om 60 mm neerslag ($T=100 + 25\%$) te verwerken waardoor geen schade of overlast mag ontstaan in het onderzoeksgebied. Voor de onderbouwing van deze neerslaghoeveelheid wordt verwezen naar het onderzoek naar de context in bijlage 5. Er is alleen onderzoek uitgevoerd naar regenwater. Andere vormen van neerslag zoals hagel en sneeuw worden buiten beschouwing gelaten.
- Er is geen onderzoek verricht naar de kwaliteit van het hemelwater. Uit voorgaand onderzoek, uitgevoerd door de gemeente Amersfoort, blijkt dat de kwaliteit van hemelwater binnen woonwijken in Amersfoort voldoende is om de bodemkwaliteit niet negatief te beïnvloeden.
- De gemeente Amersfoort verlangt geen onderzoek naar verschillende technieken om hemelwater in de openbare ruimte te infiltreren. Hier wordt met zekerheid een waterpasserende verharding met waterhoudende fundering gerealiseerd.
- Op basis van ervaring van de gemeente Amersfoort wordt verondersteld dat minimaal 50 % van de perceelseigenaren akkoord gaat met infiltratie op perceelsniveau. Derhalve is in het opstellen van de scenario's uitgegaan van tenminste 50 % afkoppeling.
- Het onderzoek richt zich alleen op de technische en financiële haalbaarheid van infiltratietechnieken. Er is geen onderzoek uitgevoerd naar de organisatorische haalbaarheid en het sociale draagvlak van de beste oplossing. De gemeente wenst eerst resultaten uit dit onderzoek te verkrijgen voordat in gesprek wordt gegaan met bewoners.
- Er is geen onderzoek uitgevoerd naar de kosten voor het beheer en onderhoud omdat de kosten voor het reinigen van infiltratievoorzieningen op perceelsniveau door de perceelseigenaar niet nader te bepalen zijn. Daarnaast heeft de gemeente door de toepassing van infiltratievoorzieningen op perceelsniveau geen overzicht op het onderhoud. De kosten voor het reinigen van een waterpasserende verharding met waterbergende fundering zijn binnen de gemeente bekend op basis van ervaring.
- Het parkeerterrein naast de Fontijnkerk in deelgebied 2 A moet functioneel blijven omdat het niet mogelijk is om alle voertuigen aan de kant van de openbare weg te parkeren
- De wens van gemeente Amersfoort is om op termijn de deelgebieden 2 (A-B) volledig af te koppelen. Naast het dakoppervlak dus ook de overige type afvoerend oppervlak.

- De oppervlakte van de schuren, gelegen in de achtertuinten van deelgebieden 1 (A-D) zijn niet apart bepaald. Verondersteld wordt dat de schuren niet voorzien zijn van een regenwaterafvoer op het gemengd rioolstelsel.
- Het oppervlak van de daken van de garageboxen in deelgebied 2 B is separaat opgenomen in de berekeningen omdat dit is aangesloten op het gemeentelijk rioolstelsel.
- Omdat geen toegang is verkregen tot de achtertuinten van de jaren '30 woningen ter hoogte van de Kamerlingh Onnesstraat en Buys Ballotstraat is een aanneme gedaan over de indeling hiervan. Verondersteld wordt dat de achtertuinten zijn ingericht met terras, schuur en tuin. In de tuinen is het ruimtelijk gezien mogelijk om een infiltratievoorziening te realiseren.
- Het doel van de infiltratievoorziening is om het hemelwater afkomstig van de daken van de panden te infiltreren. Verondersteld wordt dat het hemelwater dat terechtkomt in de tuinen of verharding direct infiltreert of afwatert naar de openbare weg.
- Omdat de voortuinen van de woningen in deelgebied 1 (A-D) maar deels zijn verhard is 50% van het oppervlak getypeerd als open verhard oppervlak. Verondersteld wordt dat een deel van het hemelwater direct na de bui afstroomt naar de aangrenzende openbare weg.
- Als uitgangspunt voor een kleinschalige infiltratievoorziening is gekozen voor 5 m^3 bergingscapaciteit. Op basis van de gegevens uit de basisregistratie adressen en gebouwen (BAG) in deelgebieden 1 (A-D) blijkt dat de gemiddelde woning 84 m^2 (dak)oppervlak heeft. Om de neerslaghoeveelheid van 60 mm te geheel te kunnen bergen is circa 5 m^3 ($75 \text{ m}^2 \times 0,06 \text{ m}$) waterberging benodigd.
- Als uitgangspunt voor een grootschalige infiltratievoorziening is gekozen voor 20 m^3 bergingscapaciteit. Op basis van de gegevens uit de basisregistratie adressen en gebouwen (BAG) blijkt dat de appartementencomplexen en Tawhid moskee een dakoppervlak van circa 350 m^2 hebben. Om per pand te kunnen voldoen aan de waterbergingsopgave is circa 20 m^3 ($350 \text{ m}^2 \times 0,06 \text{ m}$) berging benodigd.
- Omdat er na de realisatie van infiltratietechnieken op perceelsniveau geen overstort mogelijk is zijn de infiltratievoorzieningen gedimensioneerd op het bergen van de totale waterbergingsopgave per dakoppervlak.

5 Infiltratietechnieken

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van het onderzoek naar de technische financiële haalbaarheid van infiltratietechnieken op perceelsniveau weergegeven. De infiltratietechnieken zijn geselecteerd op basis van praktijkervaring van gemeente Amersfoort en de websites groenblauwenetwerken en rainproof. De technische criteria waaraan getoetst wordt zijn opgesteld op basis van een locatie inspectie en besproken met de opdrachtgever.

5.1 Overzicht infiltratietechnieken

In deze paragraaf zijn de geselecteerde infiltratietechnieken weergegeven. Per infiltratietechniek zijn sfeerbeelden weergegeven en een beknopte beschrijving van enkele technische aspecten. In opdracht van gemeente Amersfoort is door firma HSO-Civiel een samenvatting opgesteld van de toegepaste infiltratiesystemen binnen de gemeente. In dit overzicht zijn de ervaringen en de referentielocaties van de technieken weergegeven. Dit overzicht is gebruikt als onderdeel om de ervaringen van gemeente Amersfoort te onderzoeken. Hierbij wordt opgemerkt dat de ervaringen bestaan uit de toepassing van de systemen in de openbare ruimte. Mogelijk leidt de toepassing op perceelsniveau tot andere ervaringen. De gegevens uit de tabellen per infiltratietechniek zijn afkomstig uit het document van de toegepaste infiltratiesystemen en komen overeen met de gestelde criteria om de infiltratievoorzieningen te toetsen.

Waterpasserende verharding met waterbergende fundering

Een waterpasserende verharding betreft een elementverharding met een open of verbrede voeg. Het hemelwater wat op de verharding terecht komt infiltreert direct door de voegen naar het onderliggende cunet. Dit betreft een fundatielaag bestaande uit een steenslag met 35% porositeit. Door de hardheid van de steenslag en de grote hoek van inwendige wrijving zijn na verdichten en afschuiven uitgesloten. De levensduur van de waterpasserende verharding wordt bepaald door de mate van verzakking of spoorvorming. In tabel 5.1 is een samenvatting gegeven van de technische aspecten van deze infiltratievoorziening. In afbeelding 5.2 is een referentiebeeld van deze infiltratietechniek weergegeven.

Tabel 5.1 Waterpasserende verharding met waterbergende fundering (bron: Aquaflo (2017), ervaring gemeente Amersfoort (2016))

Waterpasserende verharding met waterbergende fundering	
Technisch aspect	Beknopte omschrijving
Waterbergingscapaciteit	De waterbergende fundering heeft een bergingscapaciteit van 140 liter per m ² . Om 1 m ³ hemelwater te bergen is circa 7 m ² verharding nodig.
Ontgravingsdiepte bij realisatie	Om de waterpasserende verharding met waterbergende fundering te realiseren is een ontgraving tot circa 0,5 m-mv. vereist.
Functionaliteit	De verharding is belastbaar door verkeer of kan worden gebruikt als voetpad. Er bestaan ook mogelijkheden om de verharding toe te passen ter hoogte van een terras.
Levensduur	Op basis van document toegepaste infiltratiesystemen Amersfoort 30 jaar.
Onderhoud	Bij toepassing als openbare weg, de verharding 1x per jaar reinigen met een veegzuigwagen en de voegen controleren. Eventueel de voegen bijvullen met split.
Samenvatting ervaring gemeente Amersfoort	In de wijk Vathorst is deze techniek veelvuldig toegepast. Uit ervaring is gebleken dat een controle en reiniging van de voegen bij een grote verkeersbelasting noodzakelijk is. Uit ervaring is gebleken dat de keuze van het straatwerk en de vulling van de voegen belangrijk is voor de levensduur en het functioneren



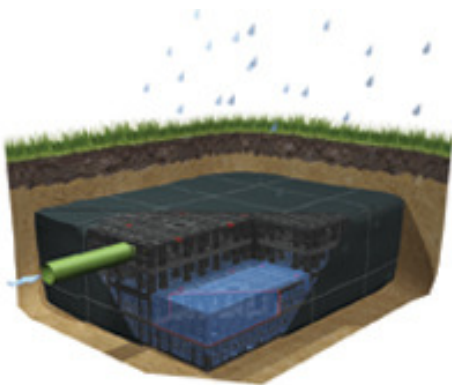
5.2 Waterpasserende verharding met waterbergende fundering (bron: Aquaflow.nl, 2017)

Infiltratiekrat

Infiltratiekratten zijn kunststof kratten omhuld met geotextiel. De kratten zijn koppelbaar waardoor iedere gewenste bergingscapaciteit met iedere mogelijke vorm kan worden gerealiseerd. De kratten worden ondergronds aangebracht waardoor multifunctioneel ruimtegebruik bovengronds mogelijk is. Afhankelijk van de bovengrondse belasting is een dekking van minimaal 30 cm nodig. De kratten zijn makkelijk toe te passen door het lage gewicht en ook geschikt voor kleinschalige realisatie, bijvoorbeeld op perceelsniveau. In tabel 5.3 is een samenvatting gegeven van de technische aspecten van deze infiltratievoorziening. In afbeeldingen 5.4 en 5.5 zijn een dwarsdoorsnede en een voorbeeld van infiltratiekratten weergegeven.

Tabel 5.3 Infiltratiekrat (bron: Dyka (2017), ervaring gemeente Amersfoort (2016))

Infiltratiekrat	
Technisch aspect	Beknopte omschrijving
Waterbergingscapaciteit	Op basis van gegevens van leveranciers zijn de grootste kratten die worden verkocht geschikt voor maximaal circa 1000 liter per m ² . Er bestaan ook mogelijkheden om kratten te stapelen tot de gewenste bergingscapaciteit wordt behaald. Om 1 m ³ hemelwater te bergen is circa 1 m ² kratten benodigd.
Ontgravingsdiepte bij realisatie	Afhankelijk van het gebruik van de bovengrond is inclusief dekking bij het gebruik van de grootste krat een ontgraving tot circa 1,5 m-nv benodigd.
Functionaliteit	Als voldoende dekking wordt aangebracht boven de ondergrondse kratten bestaan er mogelijkheden om de kratten toe te passen onder een openbare weg. Toepassing onder een gazon is ook mogelijk.
Levensduur	Op basis van document toegepaste infiltratiesystemen Amersfoort 25 jaar.
Onderhoud	De zandvang bij de aansluiting van de leiding op de kratten dient jaarlijks te worden geledigd. De levensduur kan worden verlengd als de kratten van binnen kunnen worden gereinigd. Vaak bestaan hiertoe geen mogelijkheden door het ontbreken van een inspectieput.
Samenvatting ervaring gemeente Amersfoort	De gemeente staat negatief ten opzicht van het gebruik van infiltratiekratten in de openbare ruimte. Uit ervaring is gebleken dat de infiltratiecapaciteit van krattenvelden snel afneemt door het dichtslippen van het geotextiel. Ook is gebleken dat de zand- en/of bladvang vaak geledigd dient te worden als deze zijn aangesloten op groot verhard oppervlak. Over kleinschalige toepassing op perceelsniveau zijn geen ervaringen bekend



5.4 Dwarsdoorsnede infiltratiekratten (bron: dyka, 2017)



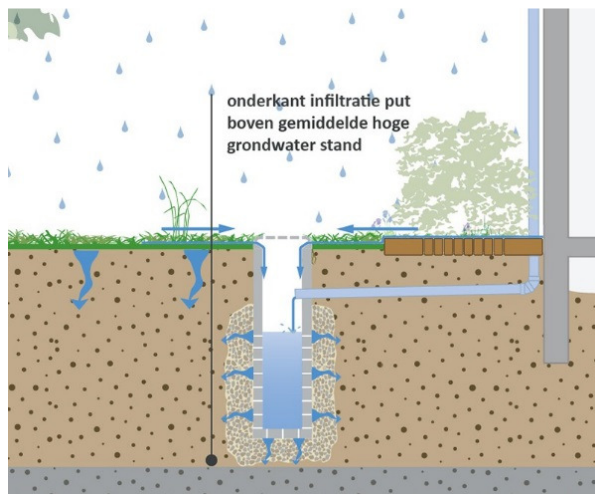
5.5 Infiltratiekratten (bron: Wavin, 2017)

5.1.3 Infiltratieput

Aan de onderzijde is de put open waardoor het hemelwater direct kan infiltreren in de onderliggende bodem. Een infiltratieput neemt relatief weinig ruimte in beslag omdat deze verticaal wordt geplaatst. De put is ook toe te passen in de onverzadigde zone. Er wordt dan een mantelbuis rondom de put geplaatst en opgevuld met grof materiaal. In tabel 5.6 is een samenvatting gegeven van de technische aspecten van deze infiltratievoorziening. In afbeeldingen 5.7 en 5.8 zijn een dwarsdoorsnede en een voorbeeld van een betonnen infiltratieput weergegeven.

Tabel 5.6 Verticale infiltratieput (bron: Wavin, Betonputten (2017), ervaring gemeente Amersfoort (2016))

Infiltratieput	
Technisch aspect	Beknopte omschrijving
Waterbergingscapaciteit	Er is onderzoek verricht naar een tweetal putten. Ten eerste een kleine put met een lengte van 1,65 m en diameter van 1,7 m, heeft een oppervlak van 2,2 m ² en realiseert een waterberging van 3 m ³ . Ten tweede een grote put met een lengte van 2,48 m en diameter van 3,48 m heeft een oppervlak van 9,5 m ² en realiseert een waterberging van 20 m ³ . De kleine put realiseert een waterberging van 1,36 m ³ per m ² . De grote put realiseert een waterberging van 2,10 m ³ per m ² .
Ontgravingsdiepte bij realisatie	Om een put van 1,65 m lengte te kunnen plaatsen is een ontgravingsdiepte van minimaal 2 m benodigd. Om een put van 2,48 m lengte te kunnen plaatsen is een ontgravingsdiepte van minimaal 3 m benodigd.
Functionaliteit	De infiltratieput is voorzien van een putdeksel aan de bovenzijde waardoor de put bereikbaar dient te blijven. Het putdeksel is gelegen ter hoogte van het maaiveld.
Levensduur	Op basis van document toegepaste infiltratiesystemen Amersfoort 50 jaar.
Onderhoud	De zandvang bij de aansluiting van de leiding op de put dient jaarlijks te worden geledigd. Tevens dient de binnenkant van de infiltratieput eens per 2 jaar te worden schoongemaakt.
Samenvatting ervaring gemeente Amersfoort	In de Surinamelaan en Arubalaan zijn verticale infiltratieputten toegepast. De gemeente staat positief ten opzichte van het gebruik en de werking van de infiltratieputten. De voordelen zijn een gegarandeerde lange levensduur (>50 jaar) en relatief weinig ruimtebeslag. Een nadeel is de beperkte bergingscapaciteit van de infiltratieputten.



5.7 Dwarsdoorsnede verticale infiltratieput (bron: Rainproof, 2017)



5.8 Infiltratieput van beton (bron: betonputten, 2017)

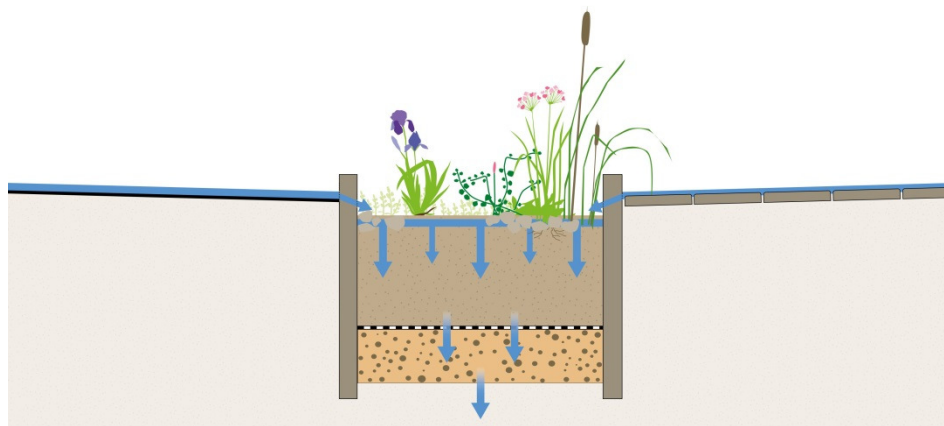
Infiltratiestrook

Een infiltratiestrook bestaat uit een verdiepte greppel in het maaiveld waar afstromend hemelwater tijdelijk kan worden geborgen. De bodem van de infiltratiestrook bestaat uit de bovengrond waardoor het water op eenvoudige wijze infiltreert naar de ondergrond. De aanleg van infiltratiestroken is alleen mogelijk als blijkt dat de infiltratiecapaciteit van de bodem voldoende is om de gewenste neerslaghoeveelheden plaatselijk te verwerken. Door de infiltratiestrook verdiept te ontgraven of te voorzien van randen kan de bergingscapaciteit worden vergroot. Een infiltratiestrook is een alternatieve, vaak goedkopere oplossing, om hemelwater plaatselijk te infiltreren. Als de voorziening voorzien is van een natuurlijk flauw talud en veilige berm bestaan er

mogelijkheden om de bovengrond te blijven gebruiken voor de huidige activiteiten. In tabel 5.9 is een samenvatting gegeven van de technische aspecten van deze infiltratievoorziening. In afbeelding 5.10 is een dwarsdoorsnede van een infiltratiestrook weergegeven.

Tabel 5.9 Infiltratiestrook (bron: Rainproof (207), ervaring gemeente Amersfoort (2016))

Infiltratiestrook	
Technisch aspect	Beknopte omschrijving
Waterbergingscapaciteit	Infiltratiestroken kunnen voor iedere gewenste bergingscapaciteit worden gebruikt. Als voorbeeld is een infiltratiestrook met een diepte tot 0,5 m-mv. gebruik. Om 1 m ³ hemelwater te bergen is 2 m ² infiltratiestrook benodigd. Hierbij is uitgegaan van verticale randen.
Ontgravingsdiepte bij realisatie	Om de infiltratiestrook te realiseren is een ontgraving tot 0,5 m-mv benodigd.
Functionaliteit	De infiltratiestrook kan worden gebruikt voor beplanting of worden aangelegd in een gazon. Het is niet mogelijk om de infiltratiestrook zwaar te belasten in verband met het verdichten van de bovengrond.
Levensduur	Op basis van document toegepaste infiltratiesystemen Amersfoort 70 jaar.
Onderhoud	Afhankelijk van het gebruik van de infiltratiestrook dient de grond of de beplanting te worden onderhouden. De infiltratiestrook heeft geen aanvullende vereisten in het onderhoud.
Samenvatting ervaring gemeente Amersfoort	Infiltratiestroken bieden een goedkope oplossing voor de verwerking van hemelwater. Omdat de bodem ter hoogte van de hogere delen uitermate geschikt is voor de infiltratie van hemelwater zijn infiltratiestroken veelvuldig toegepast binnen de gemeente.



5.10 Dwarsdoorsnede infiltratiestrook (bron: Rainproof, 2017)

5.2 Aanlegkosten

In deze paragraaf zijn de resultaten van het onderzoek naar de aanlegkosten van infiltratietechnieken weergegeven. De eenheidsprijzen voor een waterpasserende verharding zijn afkomstig van firma Aquaflo. Om de aanlegkosten van de overige infiltratievoorzieningen te bepalen zijn eenheidsprijzen van werkzaamheden en materialen opgevraagd bij een hoveniersbedrijf en twee aannemers in de grond, weg en waterbouw. De eenheidsprijzen zijn afkomstig van aannemer Van der Holst uit Wassenaar, aannemer ZVS uit Eemnes en hovenier W. Loeve uit Hoogblokland. Om de kosten van infiltratietechnieken te kunnen berekenen is een kostenraming op basis van de eenheidsprijzen opgesteld voor kleinschalige toepassing (5 m³ waterberging) en toepassing op grotere percelen (20 m³ waterberging). Er is geen onderzoek uitgevoerd naar de kosten voor het beheer en onderhoud omdat de reinigingskosten voor infiltratievoorzieningen op perceelsniveau door de perceelseigenaar niet te bepalen zijn. De specificatie van de verkregen eenheidsprijzen en kostenraming voor de aanleg van de infiltratievoorzieningen is bijgevoegd in bijlage 6. Een overzicht van de aanlegkosten per infiltratievoorziening met een kleine (5 m³) en grote (20 m³) bergingscapaciteit is weergegeven in tabel 5.11.

Tabel 5.11 Aanlegkosten infiltratievoorziening per perceel (bron: Bijlage 6)

Infiltratietechniek	Capaciteit 5 m ³	Capaciteit 20 m ³
Waterpasserende verharding met waterbergende fundering	€ 1.820,00	€ 7.384,00
Infiltratiekrat	€ 2.417,67	€ 7.880,17
Infiltratieput	€ 2.161,33	€ 3.404,33
Infiltratiestrook	€ 771,00	€ 1.686,00

Uit de resultaten voor het onderzoek naar de aanlegkosten in tabel 5.11 blijkt dat een infiltratiestrook de goedkoopste oplossing is voor kleinschalige en grootschalige toepassing. De toepassing van infiltratiekratten blijkt de duurste oplossing te zijn.

5.3 Technische criteria

In deze paragraaf zijn criteria beschreven waaraan de haalbaarheid van de toepassing van infiltratietechnieken op perceelsniveau is getoetst. De criteria die hieronder genoemd zijn, zijn algemene criteria die veelal bij het plaatsen van objecten/kunstwerken worden gebruikt. De beargumentering van de criteria is toegepast op de onderzochte infiltratiemiddelen. De criteria zijn opgesteld naar aanleiding van de locatie inspectie en naderhand afgestemd met de opdrachtgever. Er is gelet op de objectiviteit van de criteria om te kunnen toetsen. De toetsing van de criteria is uitgevoerd met een multicriteria analyse en is uitgewerkt in paragraaf 5.4. De scores zijn relatieve scores en geïndexeerd op een schaal van 0 tot 1. De scores van de criteria zijn in de multicriteria analyse vermenigvuldigd met de weging van het aspect.

Ruimtegebruik

Per infiltratietechniek is berekend hoeveel kuub waterberging kan worden gerealiseerd per vierkante meter grondoppervlak. Een grotere berging per vierkante meter scoort hoger in de waardering omdat hier minder ruimte voor benodigd is. Dit criterium krijg als weging 2 x omdat dit niet het primaire doel van de meest geschikte oplossing is maar wel noodzakelijk voor mogelijkheid om een infiltratietechniek op perceelsniveau toe te passen.

Investeringskosten

De gemeente streeft naar een goedkope oplossing. Een techniek met lagere realisatiekosten scoort hoger in de waardering. Eén van de primaire doelen in het afkoppelproject is het vinden van een goedkoper alternatief. Dit criterium krijg als weging 3 x omdat dit het vinden van een goedkope oplossing een van de hoofddoelen van het afkoppelproject is.

Ontgravingsdiepte

Voor iedere infiltratietechniek is de overlast bepaald aan de hand van de diepte van de ontgraving in m-mv. Een diepere ontgraving scoort lager omdat onder veilig talud een groter werkoppervlak benodigd is. Daarnaast zullen aanvullende herstelwerkzaamheden moeten worden uitgevoerd. Dit criterium krijg als weging 2 x omdat dit niet het hoofddoel van de meest geschikte oplossing is maar wel belangrijk in kansen op participatie van perceelseigenaren aan het afkoppelproject.

Instandhouding bodemgebruik

Tevens is de instandhouding van het huidige bodemgebruik na de realisatie van de infiltratievoorziening bepaald. Een herindeling of functieverandering van het bodemgebruik maakt een infiltratietechniek minder geschikt voor de toepassing op perceelsniveau omdat hiervoor aanvullende werkzaamheden benodigd zijn. Als het huidige bodemgebruik behouden kan blijven scoort het criterium hoger. Tevens maakt het de keuze om te participeren aan het afkoppelproject voor perceelseigenaren minder aantrekkelijk. Daarom heeft dit criterium 3x als weging toebedeeld gekregen.

Levensduur

Gestreefd wordt naar het toepassen van een techniek met zo lang mogelijke levensduur. Een langere levensduur scoort hoger in de waardering omdat dit op termijn een duurzamere oplossing is en aanvullende renovatiekosten beperkt. Omdat dit criterium voor de aanleg van infiltratietechnieken op perceelsniveau in een pilotgebied niet als het belangrijkste aspect wordt beschouwd krijgt dit criterium 1x als weging toebedeeld.

Onderhoudsinspanning

Om een grotere kans te maken op participatie van percee-eigenaren wordt de onderhoudsinspanning van de infiltratietechnieken getoetst per jaar. Een infiltratietechniek met een lagere onderhoudsinspanning scoort hoger in de waardering. Dit criterium weegt 1x mee omdat het onderhoud minder overlast veroorzaakt dan het ruimtegebruik en de ontgravingsdiepte.

Beleving

Om de percee-eigenaren bewust te maken van de klimaatproblemen en de noodzaak van een duurzame oplossing wordt het aspect beleving ook relevant geacht voor de keuze van een infiltratietechniek op perceelsniveau. Beleving is subjectief en om de beleving objectief te maken voor geschiktheid in een multicriteria analyse is gekozen voor boven- of ondergronds infiltreren van hemelwater. Voor de gemeente is dit een belangrijk aspect maar voor de realisatie van een infiltratievoorziening op perceelsniveau in een pilotgebied minder relevant. Het criterium weegt 1x mee in de beoordeling.

5.4 Technisch financiële haalbaarheid

Om de technisch financiële haalbaarheid van de toepassing van infiltratietechnieken op perceelsniveau te kunnen bepalen is per infiltratietechniek in tabel 5.12 een samenvatting weergegeven.

Met behulp van een multicriteria analyse is de meest geschikte techniek geselecteerd voor toepassing (5 m³ waterberging) op kleinere en toepassing op grotere percelen (20 m³ waterberging). In tabel 5.13 zijn de resultaten per infiltratietechniek verrekent met behulp van relatieve scores en geïndexeerd op een schaal van 0 tot 1. In tabel 5.14 zijn de relatieve scores vermenigvuldigd met de weging per criterium.

Tabel 5.12 Samenvatting infiltratietechnieken

Criteria	Waterpasserende verharding met waterbergende fundering		Infiltratiekrat		Infiltratieput		Infiltratiestrook	
	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³
Ruimtegebruik (m ²)	35	142	5	20	3,97	9,51	10	40
Investeringskosten (€)	€ 1820,00	€ 7.384,00	€ 2.417,67	€ 7.880,17	€ 2.161,33	€ 3.404,33	€ 771,00	€ 1686,00
Ontgravingsdiepte (m-mv)	0,5		1,5		2	3	0,5	
Instandhouding huidig bodemgebruik	Ja		Ja		Nee		Nee	
Levensduur (jaren)	25		30		50		70	
Onderhoudsinspanning (per jaar)	1		1		0,5		0	
Beleving	Bovengronds		Ondergronds		Ondergronds		Bovengronds	

De formule die is gebruikt voor het toekennen van de waarde per aspect is:

$$1 / \text{hoogste eenheid} * \text{eenheid per infiltratietechniek} = X$$

$$1 - X = \text{de waarde}$$

Voorbeeldberekening investeringskosten:

$$1/7.880,17 = 0,000126$$

$$0,000126 \times 7.384,00 = 0,94$$

$$1 - 0,93 = 0,07$$

Tabel 5.13 Relatieve score per infiltratietechniek geïndexeerd tussen 0 en 1 (bron: mkba-informatie.nl, 2017)

Criteria	Weging	Waterpasserende verharding met waterbergende fundering		Infiltratiekrat		Infiltratieput		Infiltratiestrook	
		5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³
Ruimtegebruik (m ²)	2	0	0	0,85	0,85	0,88	0,93	0,71	0,71
Investeringskosten (€)	3	0,25	0,06	0,00	0,00	0,11	0,57	0,68	0,79
Ontgravingsdiepte (m-mv)	2	0,75	0,83	0,25	0,5	0	0	0,75	0,83
Instandhouding huidig bodemgebruik	3	1		1		0		0	
Levensduur (jaren)	1	0,35		0,42		0,71		1	
Onderhoudsinpanning (per jaar)	1	0		0		0,5		1	
Beleving	1	1		0		0		1	

Tabel 5.14 Resultaat multicriteria analyse (bron: mca-informatie.nl, 2017)

Criteria	Weging	Waterpasserende verharding met waterbergende fundering		Infiltratiekrat		Infiltratieput		Infiltratiestrook	
		5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³	5 m ³	20 m ³
Ruimtegebruik (m ²)	2	0	0	1,7	1,7	1,76	1,86	1,42	1,42
Investeringskosten (€)	3	0,75	0,18	0	0	0,33	1,71	2,04	2,37
Ontgravingsdiepte (m-mv)	2	1,5	1,66	0,5	1	0	0	1,5	1,66
Instandhouding huidig bodemgebruik	3	3		3		0		0	
Levensduur (jaren)	1	0,35		0,42		0,71		1	
Onderhoudsinpanning (per jaar)	1	0		0		0,5		1	
Beleving	1	1		0		0		1	
Totaal		6,60	6,19	5,62	6,12	3,30	4,78	7,96	8,45

Uit de multicriteria analyse is gebleken dat de toepassing van een infiltratiestrook voor de kleinschalige toepassing (5 m³ waterberging) op perceelniveau en de toepassing op grotere percelen (20 m³ waterberging) de hoogste score (respectievelijk 7,96 en 8,45) behaald. Dit hangt samen met de relatief lage investeringskosten per perceel ten opzichte van andere technieken. Investeringskosten zijn voor de gemeente een belangrijk criterium omdat het doel van de oplossing een goedkoper alternatief moet bieden waarbij het voorkomen van wateroverlast zoals beschreven in het gemeentelijk rioleringsplan kan worden voorkomen.

De infiltratieput scoort laag in de multicriteria analyse, omdat de realisatie meer overlast veroorzaakt ten opzichte van de andere infiltratietechnieken. Tevens is de instandhouding van het huidige bodemgebruik niet gegarandeerd omdat de bovenzijde van de put bereikbaar moet blijven in verband met de bereikbaarheid van het putdeksel. Verondersteld wordt dat perceeleigenaren eerder kiezen voor een oplossing waarbij de overlast van het realiseren kleiner is. Voor de gemeente zijn de belangrijkste aspecten de financiële haalbaarheid en de garantie op het goed blijven functioneren van de infiltratievoorziening.

6 Ontwerp infiltratiesysteem

In dit hoofdstuk zijn de aanpak en de resultaten van het onderzoek naar de waterbergingsopgave voor het gebied beschreven. Op basis van de waterbergingsopgave is berekend wat de effectiviteit van infiltratietechnieken per scenario kan zijn en hoeveel hemelwater op straat kan worden verwacht per scenario. In dit hoofdstuk zijn de ontwerpuitgangspunten opgenomen.

6.1 Scenario's

Omdat er nog geen onderzoek is verricht naar de participatie van perceeleeigenaren in het afkoppelproject zijn 7 scenario's (A-G) opgesteld om een beeld te verkrijgen van het aandeel dakoppervlak (op perceelsniveau) in relatie tot de reductie op de waterbergingsopgave. Per scenario is aan de hand van de extreme neerslaghoeveelheid van 60 mm een waterbergingsopgave berekend voor het onderzoeksgebied. Scenario A dient als nulsituatie (0 %). In de waterbergingsopgave voor scenario's B en C is onderscheid gemaakt tussen 50 % en 100 % afkoppeling van het dakoppervlak in het onderzoeksgebied. In scenario D-F is onderscheid gemaakt tussen 50 %, 75 % en 100 % afkoppeling van het dakoppervlak in het onderzoeksgebied. Hierbij is het volume afstromend hemelwater van de wegen van buiten het onderzoeksgebied zoals beschreven in de gebiedskenmerken (stroombanenkaart) niet opgenomen in de waterbergingsopgave. Ten slotte is in scenario G gerekend met 100 % afkoppeling van het dakoppervlak in het onderzoeksgebied. Aanvullend is het volume afstromend hemelwater van de wegen buiten het onderzoeksgebied (stroombanenkaart) en het volume hemelwater op de verharding in deelgebieden 2 (A-B) niet opgenomen in de waterbergingsopgave. Onderstaand worden de scenario's omschreven en in tabel 6.3 is het afwaterend oppervlak weergegeven.

Scenario A

Scenario A is opgenomen om de nulsituatie van de waterbergingsopgave in het onderzoeksgebied vast te stellen. Dit scenario is in strijd met het doel van het onderzoek waarbij infiltratie op perceelsniveau wordt gerealiseerd. In dit scenario is uitgegaan van 0 % afkoppeling van het dakoppervlak uit de deelgebieden 1(A-D) en 2 (A-B). Het water afkomstig van de daken zal worden geïnfiltreerd in de openbare ruimte en derhalve voor 100 % mee worden berekend in de waterbergingsopgave. De extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn wel opgenomen in de waterbergingsopgave.

Scenario B

In dit scenario is uitgegaan van 50 % afkoppeling van het dakoppervlak uit de deelgebieden 1(A-D) en 2 (A-B). Het water afkomstig van de daken zal worden geïnfiltreerd in de openbare ruimte en derhalve voor 50 % mee worden berekend in de waterbergingsopgave. De extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn wel opgenomen in de waterbergingsopgave.

Scenario C

In dit scenario is uitgegaan van 100 % afkoppeling van het dakoppervlak uit de deelgebieden 1(A-D) en 2 (A-B). Het water afkomstig van de daken zal worden geïnfiltreerd in de openbare ruimte en derhalve voor 0 % mee worden berekend in de waterbergingsopgave. De extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn wel opgenomen in de waterbergingsopgave.

Scenario D

In dit scenario is uitgegaan van 50 % afkoppeling van het dakoppervlak uit de deelgebieden 1(A-D) en 2 (A-B). Het water afkomstig van de daken zal worden geïnfiltreerd in de openbare ruimte en derhalve voor 50 % mee worden berekend in de waterbergingsopgave. De extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn niet opgenomen in de waterbergingsopgave.

Scenario E

In dit scenario is uitgegaan van 75 % afkoppeling van het dakoppervlak uit de deelgebieden 1(A-D) en 2 (A-B). Het water afkomstig van de daken zal worden geïnfiltreerd in de openbare ruimte en derhalve voor 25 % mee worden berekend in de waterbergingsopgave. De extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn niet opgenomen in de waterbergingsopgave.

Scenario F

In dit scenario is uitgegaan van 100 % afkoppeling van het dakoppervlak uit de deelgebieden 1(A-D) en 2 (A-B). Het water afkomstig van de daken zal worden geïnfiltreerd in de openbare ruimte en derhalve voor 0 % mee worden berekend in de waterbergingsopgave. De extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn niet opgenomen in de waterbergingsopgave.

Scenario G

De wens van de gemeente is om in deelgebied 2 A en B een infiltratievoorziening te realiseren die in ieder geval genoeg capaciteit heeft om hemelwater afkomstig van het gehele dak- en open verhard oppervlak van deze deelgebieden te kunnen bergen. In dit scenario is het hemelwater van alle typen afvoerend oppervlak uit de deelgebieden 2 (A-B) niet opgenomen in de waterbergingsopgave. Daarnaast is in dit scenario gerekend met 100 % afgekoppeld dakoppervlak uit de deelgebieden 1 (A-D). Tevens zijn de extra wegen van buiten het onderzoeksgebied zijn niet opgenomen in de waterbergingsopgave.

6.2 Waterbergingsopgave

De waterbergingsopgave voor het onderzoeksgebied is berekend op basis van typen afvoerend oppervlak en bijbehorende afstromingsverliezen. Transpiratie door beplanting is niet opgenomen in de berekeningen omdat verondersteld wordt dat dit aspect verwaarloosbaar is voor onderhavig onderzoeksgebied (*Bron: Stowa, Hemelwaterafvoer statistiek, 2009*). Om een beeld te verkrijgen van de verschillende watercomponenten in het onderzoeksgebied is een waterbalans (6.1) opgesteld.



6.1 Waterbalans

6.2.1 Type afvoerend oppervlak

Onderstaand zijn de typen afvoerend oppervlak in relatie tot het onderzoeksgebied beschreven. De leidraad riolering, module C2100 (hydraulisch functioneren rioolstelsels) maakt onderscheid tussen hellend en plat oppervlak. Hierbij zijn de navolgende typen afvoerend oppervlak beschreven: dakoppervlak, gesloten verhard oppervlak, open verhard oppervlak en onverhard oppervlak. In tabel 6.2 is het percentage afstromend hemelwater per type afvoerend oppervlak per scenario weergegeven.

Dakoppervlak

Dit betreft de daken van de woningen uit de deelgebieden 1 (A-D), de voormalige school uit deelgebied (1 D), Fontijnkerk uit deelgebied 2 A en de Tawhid moskee, appartementencomplexen en garageboxen uit deelgebied 2 B. Opgemerkt wordt dat alle daken een hellend oppervlak hebben.

Gesloten verhard oppervlak

Dit betreft de Buys ballotstraat, Kamerlingh Onnesstraat, Keesomstraat, Einsteinstraat en Robert Kochstraat binnen de contouren van het onderzoeksgebied. De Pascalstraat, Pasteurstraat en Jan van der Heijdenstraat zijn op basis van de stroombanenkaart (H3) tevens opgenomen in deze categorie maar buiten het onderzoeksgebied gelegen. Alle wegen zijn voorzien van een asfaltverharding.

Open verhard oppervlak

In deze categorie zijn de trottoirs uit deelgebied 2 B en de parkeerterreinen naast de Fontijnkerk in deelgebied 2 A en de Tawhidmoskee in deelgebied 2 B opgenomen. Zoals beschreven in de uitgangspunten (H3) zijn de voortuinen van de woningen in deelgebied 1 (A-D) aanvullend voor 50 % van het oppervlak opgenomen. Ten slotte zijn de straten Treekerbergje en het parkeerterrein ten zuiden van de Kamerlingh Onnesstraat opgenomen. Opgemerkt wordt dat deze straten buiten de contouren van het onderzoeksgebied zijn gelegen.

Onverhard oppervlak

De voortuinen van de woningen in deelgebied 1 (A-D) zijn voor 50% van het oppervlak getypeerd als onverhard. Tevens zijn in deze categorie de tuinen en grasvelden uit deelgebieden 2 (A-B) opgenomen. Ten slotte zijn de bloemperken uit de openbare ruimte opgenomen als onverhard oppervlak.

Tabel 6.2 Percentage afstromend hemelwater per type afvoerend oppervlak per scenario

Scenario		A	B	C	D	E	F	G
Type oppervlak	Beschrijving							
Daken	Woningen, Fontijnkerk, Tawhid moskee, Appartementencomplexen en garageboxen	100 %	50 %	0%	50 %	25 %	0 %	0 %
Gesloten verhard	Buys ballotstraat, Kamerlingh Onnesstraat Keesomstraat, Einsteinstraat en Robert Kochstraat	100 %						
	Pascalstraat, Pasteurstraat en Jan van der Heijdenstraat *	100 %	100 %	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Open verhard	Parkeerterrein Fontijnkerk, Parkeerterrein Tawhid moskee en Trottoirs	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %
	Voortuinen (50 %) #	100 %						
	Treekerbergje en Parkeerterrein Kamerlingh-Onnesstraat *	100 %	100 %	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Onverhard	Openbaar groen en Voortuinen (50 %) #	0 %						
	Tuinen en grasvelden	0 %						

% Percentage afwaterend oppervlak ten behoeve van de waterbergingsopgave

* Zoals beschreven in de gebiedsanalyse zijn deze wegen op basis van de stroombanenkaart opgenomen in de scenario's

Zoals in de uitgangspunten beschreven zijn de voortuinen voor 50% van het oppervlak opgenomen als onverhard en 50 % als open verhard

6.2.2 Afstromingsverliezen

Onderstaand zijn de verschillende afstromingsverliezen per type afvoerend oppervlak beschreven. In bijlage 1 van de Leidraad riolering, module C2100 (hydraulisch functioneren rioolstelsels) zijn standaardwaarden weergegeven voor afstromingsverliezen zoals oppervlakteberging, en infiltratie per type afvoerend oppervlak. In tabel 6.4 zijn de afstromingsverliezen per type afvoerend oppervlak voor het onderzoeksgebied weergegeven.

Hellingshoek

De oppervlakteberging van een type afvoerend oppervlak is afhankelijk van de hellingshoek van het oppervlak.

Oppervlakteberging

Dit betreft het hemelwater wat achterblijft op het oppervlak door de eerste bevochtiging en plasvorming.

Verdamping

Verdamping speelt in het neerslagverlies een beperkte rol. De belangrijkste functie van de verdamping is lediging van de oppervlakteberging. Voor de verdamping worden de maandcijfers van het KNMI volgens Penman gebruikt. De transpiratie door planten is niet opgenomen in dit onderzoek. Gezien de beperkte hoeveelheid planten in het gebied wordt verondersteld dat de transpiratiefactor te verwaarlozen is. In tabel 6.3 zijn de verdampingscijfers per dag per maand weergegeven.

Tabel 6.3 Verdamping in mm per dag per maand (bron: KNMI, 2006)

Jan (mm)	Feb (mm)	Mrt (mm)	Apr (mm)	Mei (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Aug (mm)	Sep (mm)	Okt (mm)	Nov (mm)	Dec (mm)
0,16	0,54	1,29	2,33	3,23	4,00	3,55	2,90	2,00	0,81	0,33	0,16

Infiltratie

Voor het vaststellen van de infiltratiecapaciteit ter plaatse van het onverhard oppervlak in het plangebied wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de infiltratiemetingen uit het veldonderzoek. Hieruit is gebleken dat in een droge bovengrond gemiddeld 50 mm hemelwater in 5 minuten infiltreert uit de first flush van een extreme neerslaghoeveelheid. De resultaten van het veldonderzoek zijn opgenomen in bijlage 3. Voor de infiltratiesnelheid ter hoogte van het open verhard oppervlak worden de standaardwaarden uit module C2100 gebruikt.

Infiltratie is het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt. De intensiteit waarmee dat gebeurt, is de infiltratiesnelheid. Deze is uitgedrukt als een volume water, per grondoppervlakte, per tijdseenheid (bijvoorbeeld mm/min). De infiltratiecapaciteit van de bodem is de maximale infiltratiesnelheid op een bepaald moment. Het verloop van de infiltratiesnelheid in de tijd is het infiltratieverloop.

Hieruit is gebleken dat het water ter hoogte van het onverhard oppervlak dusdanig snel infiltreert dat er sprake is van een infiltratiesnelheid die groter is dan de verwachte neerslaghoeveelheid. Omdat deze infiltratiesnelheid niet altijd gegarandeerd kan worden is op de resultaten van de infiltratiemetingen uit het veldonderzoek een reductiefactor van 2 toegepast.

Rioolberging

Omdat van de wegen van buiten het onderzoek (gebiedskenmerken) niet exact te bepalen is wat het afstroomverlies is wordt hiervoor een aanname gedaan. Naast de oppervlakteberging en verdamping wordt voor dit type afvoerend oppervlak een rioolberging van 25 mm opgenomen in de berekeningen. Verondersteld wordt dat een deel van de bruto neerslag direct door de straatkolken in het gemeentelijk rioolstelsel ter plaatse wordt opgevangen.

6.4 Afstromingsverliezen per type oppervlak (bron: Leidraad riolering, module C2100)

Type oppervlak	Beschrijving	Deelgebied	Hellend / vlak	Oppervlakte berging (mm)	Verdamping * (mm/h)	Infiltratie (mm/h)	Rioolberging (mm)
Daken	Woningen Fontijnkerk Tawhid moskee Appartementencomplexen Garageboxen	1 A-D 2 A 2 B 2 B 2 B	Hellend	0,0	0,016	0,0	-
Gesloten verhard	Buys ballotstraat Kamerlingh Onnesstraat Keesomstraat Einsteinstraat Robert Kochstraat	-	Vlak	0,5	0,016	0,0	-
	Pascalstraat # Pasteurstraat # Jan van der Heijdenstraat #	-	Vlak	0,5	0,016	0,0	25
Open verhard	Parkeerterrein Fontijnkerk Parkeerterrein Tawhid moskee Trottoirs Voortuinen (50 %)	2 A 2 B 2 B 1 A-D	Vlak	0,5	0,016	2,0	-
	Trekerbergje # Parkeerterrein Kamerlingh-Onnesstraat #	-	Vlak	0,5	0,016	2,0	25
Onverhard	Openbaar groen Voortuinen (50 %) Tuinen en grasvelden	- 1 A-D 2 A-D	Vlak	4,0	0,016	600,00 @	-

- Niet van toepassing

Betreft een openbare weg vanaf buiten het onderzoeksgebied (op basis van stroombanenkaart in gebiedskenmerken)

* Er is gekozen voor de verdampingshoeveelheid in juni omdat in deze periode buien met een grote intensiteit worden verwacht

@ Infiltratiecapaciteit meting veldonderzoek (04/05/2017) met reductiefactor 2 (1200 mm/uur / 2 = 600 mm/uur)

6.2.3 Resultaten

Na verrekning van de infiltratieverliezen met het type afvoerend oppervlak is een waterbergingsopgave bepaald per type oppervlak per deelgebied. Voor een overzicht van de rekentabel van de waterbergingsopgave wordt verwezen naar bijlage 7. Onderstaand zijn de formules weergegeven zoals deze zijn opgenomen in de rekentabel. In tabel 6.5 zijn de resultaten van de waterbergingsopgave per type oppervlak per deelgebied weergegeven in m³. In grafiek 6.6 is de totale waterbergingsopgave voor het onderzoeksgebied weergegeven.

De formules voor het berekenen van de waterbergingsopgave zijn:

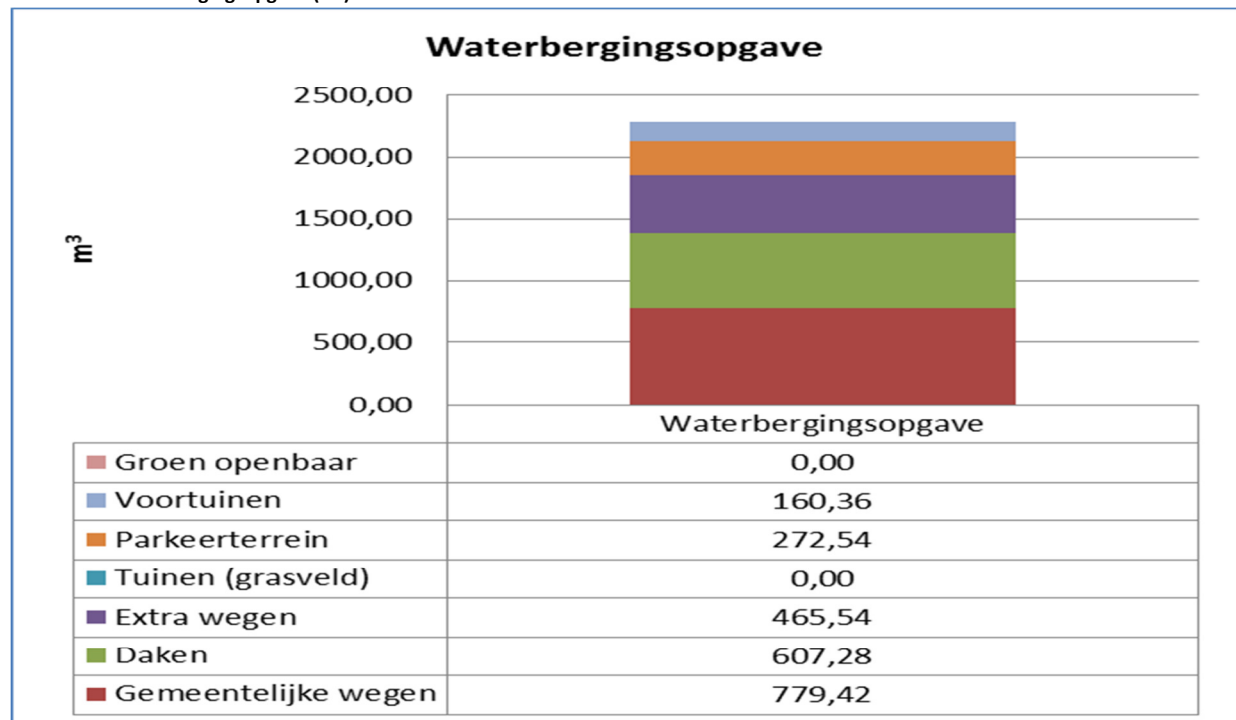
Bruto neerslaghoeveelheid = 60 mm/uur (de bepaling van de neerslaghoeveelheid is opgenomen in de context in bijlage 5)

Netto neerslaghoeveelheid = bruto neerslaghoeveelheid (mm) – oppervlakteberging (mm) – verdamping (mm) – infiltratie (mm) – rioolberging (mm).

Waterbergingsopgave = type oppervlak (m²) x netto neerslaghoeveelheid (mm)

Tabel 6.5 Waterbergingsopgave per type oppervlak per deelgebied

	Oppervlak (m ²)	Waterbergingsopgave (m ³)		Oppervlak (m ²)	Waterbergingsopgave (m ³)
Deelgebied 1 A			Deelgebied 2 B		
Daken woningen	1.214	72,82	Dak Tawhid moskee	590	35,39
Voortuinen onverhard (50%)	786	0	Daken appartementencomplexen	3.445	206,64
Voortuinen verhard (50 %)	785,5	46,71	Daken Garageboxen	260	15,60
Deelgebied 1 B			Parkeerterrein en trottoir	3.343	198,80
Daken woningen	1.242	74,50	Tuin (grasveld)	11.674	0,00
Voortuinen onverhard (50%)	671	0	Openbare ruimte		
Voortuinen verhard (50 %)	671	39,90	Kamerlingh Onnesstraat	3.639	216,46
Deelgebied 1 C			Buys Ballotstraat	3.080	183,21
Daken woningen	1.405	84,28	Einsteinstraat	2.356	140,14
Voortuinen onverhard (50%)	1.009,5	0,00	Keesomstraat	1.880	111,83
Voortuinen verhard (50 %)	1.009,5	60,03	Robert Kochstraat	2.148	127,77
Deelgebied 1 D			Groen openbaar	760	0,00
Daken woningen	878	52,67	Aanvullende wegen van buiten onderzoeksgebied		
Voortuinen onverhard (50%)	230,5	0,00	Pascalstraat	3180	109,66
Voortuinen verhard (50 %)	230,5	13,71	Pasteurstraat	2500	86,21
Deelgebied 2 A			Jan van der Heijdenstraat	3933	135,63
Dak Fontijnkerk	1.090	65,38	Trekerbergje	861	29,68
Parkeerterrein	1.240	73,74	Parkeerterrein Kamerlingh Onnesstraat	3028	104,37
Tuin (grasveld)	1.856	0,00			

Grafiek 6.6 Waterbergingsopgave (m³)

Uit de berekeningen is gebleken dat de totale waterbergingsopgave voor het onderzoeksgebied 2285,13 m³ bedraagt. De gemeentelijke wegen leveren de grootste bijdrage aan de waterbergingsopgave om een tweetal redenen. Ten eerste hebben de gemeentelijke wegen opgeteld de grootste oppervlakte. Ten tweede is het type afvoerend oppervlak 'verhard' waardoor er relatief weinig afstromingsverliezen plaatsvinden. De onverharde typen oppervlak zoals groen openbaar en tuinen dragen niet bij aan de waterbergingsopgave. De oorzaak hiervan is de hoge infiltratiesnelheid, zoals gebleken is uit de infiltratiemetingen tijdens het veldonderzoek. Uit de grafiek blijkt dat de daken in het onderzoeksgebied met 607,28 m³ aanzienlijk bijdragen aan de totale waterbergingsopgave (26,5 %).

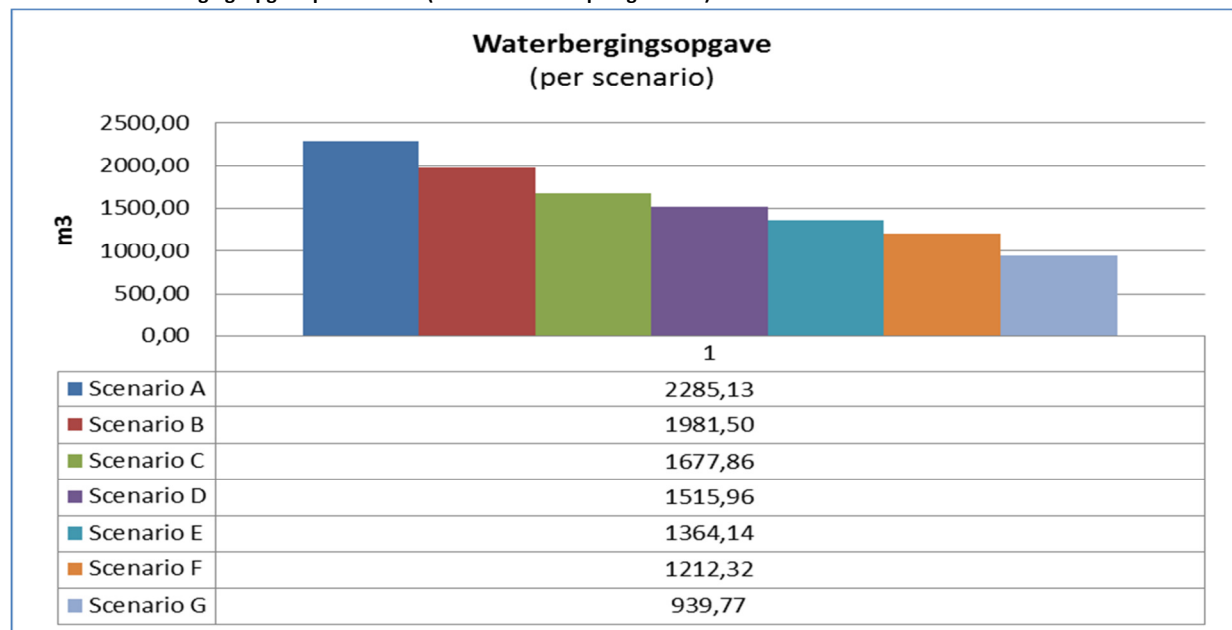
6.3 Effectiviteit Infiltratietechnieken

In deze paragraaf is onderzoek verricht naar de effectiviteit van infiltratietechnieken op perceelsniveau en de waterpasserende verharding in de openbare ruimte. Zoals verwoord in de uitgangspunten is de gemeente voornemens om een waterpasserende verharding toe te passen in de openbare ruimte. De meest geschikte infiltratietechniek voor toepassing op perceelsniveau is bepaald in hoofdstuk 5, infiltratietechnieken.

6.3.1 Infiltratie op perceelsniveau

Om de effectiviteit van infiltratie van hemelwater op perceelsniveau te onderzoeken is per scenario de reductie op de waterbergingsopgave bepaald. Voor de beschrijving van de scenario's wordt verwezen naar paragraaf 6.1. In grafiek 6.7 zijn de resultaten van de waterbergingsopgave per scenario weergegeven. In tabel 6.8 zijn de resultaten van de reductie op de waterbergingsopgave per scenario weergegeven.

Grafiek 6.7 Waterbergingsopgave per scenario (bron: Resultaten paragraaf 6.2)



Om per scenario de reductie op de waterbergingsopgave te berekenen is de onderstaande formule gebruikt:

$$\text{Reductie op waterbergingsopgave (m}^3\text{)} = \text{totale waterbergingsopgave (m}^3\text{)} - \text{waterbergingsopgave per scenario (m}^3\text{)}$$

Tabel 6.8 Reductie op de waterbergingsopgave per scenario (bron: Resultaten paragraaf 6.2)

Scenario	Omschrijving	Reductie op waterbergingsopgave (m³)	Vershil voorgaand scenario (m³)
A	0 % afgekoppeld dakoppervlak	0	
B	50 % afgekoppeld dakoppervlak	303,64	303,64
C	100 % afgekoppeld dakoppervlak	607,28	303,64
D	50 % afgekoppeld dakoppervlak Exclusief extra wegen	769,18	161,90
E	75 % afgekoppeld dakoppervlak Exclusief extra wegen	921,00	151,82
F	100 % afgekoppeld dakoppervlak Exclusief extra wegen	1072,82	151,82
G	100 % afgekoppeld dakoppervlak Exclusief extra wegen Exclusief alle type afvoerend oppervlak deelgebieden 2 (A-B)	1345,36	272,54

De totale waterbergingsopgave in het onderzoeksgebied bedraagt 2285,13 m³. Uit de scenario's die zijn opgesteld om de effectiviteit van infiltratie op perceelsniveau te bepalen is gebleken dat de waterbergingsopgave in het onderzoeksgebied per 25 % afkoppeling van het totale dakoppervlak met 151,82 m³ kan worden gereduceerd. Aanvullend blijkt in scenario D-F de waterbergingsopgave met 465,54 m³ extra hemelwater gereduceerd kan worden door de wegen van buiten het onderzoeksgebied niet op te nemen.. Uit scenario G blijkt dat infiltratie van hemelwater van 100 % dakoppervlak en het open verhard oppervlak in de deelgebieden 2 (A-B) de waterbergingsopgave met nog 272,00 m³ extra reduceert. Het verschil tussen scenario A en G bedraagt 1345,36 m³.

6.3.2 Waterpasserende verharding

Om de effectiviteit van het toepassen van een waterpasserende verharding ter hoogte van de openbare wegen in het onderzoeksgebied te onderzoeken is bepaald hoeveel waterberging (m³) gerealiseerd kan worden per straatnaam. Onderstaand is de formule weergegeven die is gebruikt bij het bepalen van de hoeveelheid waterberging per straat. In tabel 6.6 zijn de resultaten hiervan weergegeven.

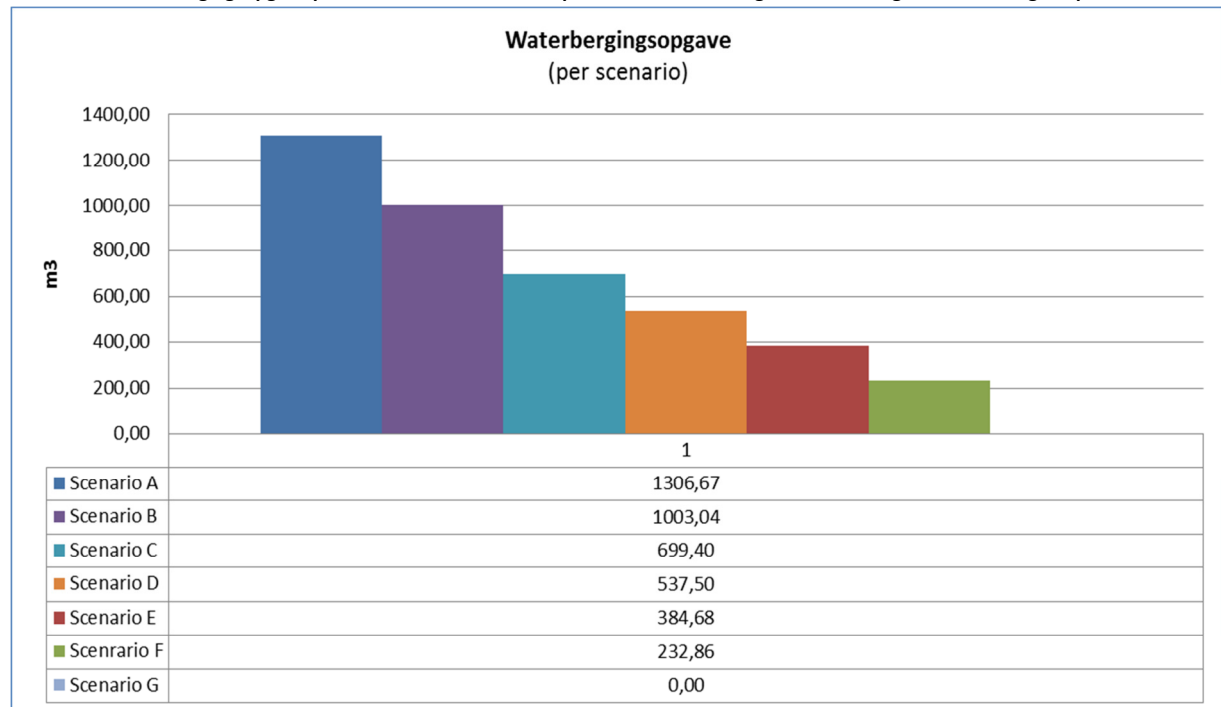
Waterberging in fundering (m³) = totaal oppervlakte (m²) per straatnaam x 140 mm berging (zie infiltratietechnieken)

Tabel 6.6 Waterberging door waterpasserende verharding met waterbergende fundering (bron: Resultaten paragraaf 6.2)

Straatnaam	Oppervlakte straat exclusief trottoir (m ²)	Waterberging (m ³)
Buys Ballotstraat	1676	234,64
Robert Kochstraat	1032	144,48
Einsteinstraat	1284	179,76
Keesomstraat	1258	176,12
Kamerlingh Onnesstraat	1739	243,46
Totaal		978,46

Uit de resultaten blijkt dat een waterberging van totaal 978,46 m³ kan worden gerealiseerd door het toepassen van een waterpasserende verharding met waterbergende fundering ter hoogte van alle straten in het onderzoeksgebied (exclusief trottoirs). Als deze hoeveelheid waterberging (978,46 m³) van de waterbergingsopgave per scenario (grafiek 6.7) wordt afgetrokken blijkt er voor de scenario's A-F nog een aanvullende behoefte te bestaan om water te bergen. In grafiek 6.9 zijn de resultaten weergegeven van de waterbergingsopgave per scenario inclusief de reductie door het toepassen van een waterpasserende verharding met waterbergende fundering ter hoogte van de straten in de openbare ruimte.

Grafiek 6.9 Waterbergingsopgave per scenario inclusief water passerende verharding met waterbergende fundering in openbare ruimte



Uit de resultaten van de waterbergingsopgave per scenario inclusief toepassing van een waterpasserende verharding met waterbergende fundering blijkt dat er voor de scenario's A-F een waterbergingsbehoefte blijft bestaan van 1306,67 m³ in scenario A tot 232,86 m³ in scenario E. In de praktijk komt dit water op straat terecht omdat het niet geborgen kan worden. In scenario G kan wel worden voldaan aan de waterbergingsbehoefte. Om te berekenen voor scenario G hoeveel vierkante meter waterpasserende verharding met waterbergende fundering in de openbare ruimte nodig is, is onderstaande formule gebruikt.

*Waterbergingsopgave scenario G (939,77 m³) / berging waterpasserende verharding met waterbergende fundering (140 mm/m²) = **6712,64 m²** waterpasserende verharding met waterbergende fundering in de openbare ruimte benodigd voor scenario G.*

6.4 Water op straat

Als gevolg van een extreme neerslaghoeveelheid is het conform de ambities van gemeente Amersfoort zoals beschreven in het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021 (zie probleemstelling) geoorloofd dat er tijdelijk water blijft staan op straat. Zoals beschreven in de ambities blijkt 5 cm water op straat een kantelpunt te zijn voor wel, dan geen overlast en/of economische schade als gevolg van water op straat. De norm van 5 cm is gehanteerd om aan te geven dat water op straat boven de stoepranden uitkomt en naar de percelen (panden) afstroomt. Zoals gebleken is uit de resultaten van paragraaf 6.3.2 ontstaat er na toepassing van waterpasserende verharding in de openbare ruimte voor scenario A-F alsnog een waterbergingsbehoefte. Deze waterbergingsbehoefte is omgerekend naar water op straat en getoetst aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021.

Om waterbergingsbehoefte om te rekenen naar een water op straat situatie in het onderzoeksgebied is per scenario uitgegaan van een volledige vulling van de waterbergende fundering van de waterpasserende verharding in de openbare ruimte. Op basis van de stroombanenkaart is aangenomen dat het hemelwater zich verzameld aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied ter hoogte van de kruising Kamerlingh Onnesstraat /Einsteinstraat en een gedeelte van het parkeerterrein van de Kamerlingh Onnesstraat. Met behulp van ArcGis

is de oppervlakte van dit 'water op straat' gebied op de stroombanenkaart bepaald en vastgesteld op circa 4750 m².

In tabel 6.10 is weergegeven hoeveel water op straat wordt verwacht na een extreme neerslaghoeveelheid van 60 mm/uur. Voor een overzicht van de rekentabel voor het gebied met water op straat wordt verwezen naar bijlage 8. Om te kunnen bepalen hoeveel hemelwater verzameld op de straat zijn onderstaande formules gehanteerd.

$$\text{Water op straat (volume in m}^3\text{)} = \text{Waterbergingsopgave per scenario (m}^3\text{)} - \text{volume waterbergende fundering (m}^3\text{)}$$

$$\text{Water op straat (hoogte in m)} = \text{Water op straat (volume)} / \text{Oppervlak 'water op straat' gebied (m}^2\text{)}$$

Tabel 6.10: Water op straat na extreme neerslaghoeveelheid van 60 mm/uur (inclusief volledige vulling van waterbergende fundering)

Scenario	Water op straat (volume in m ³)	Water op straat (hoogte in m)	Voldoet aan ambities
A	1306,67	0,27	Nee
B	1003,04	0,21	Nee
C	699,40	0,15	Nee
D	426,86	0,09	Nee
E	264,95	0,08	Nee
F	113,13	0,02	Ja
G	0	0,00	Ja

In de scenario's A – E is sprake van meer dan 5 cm water op straat (norm GRP). Dit is onacceptabel en vormt een direct risico op wateroverlast. In de scenario's F en G is sprake van een situatie met minder dan 5 cm water op straat. Conform de ambities uit het GRP voldoen deze scenario's.

6.4.1 Infiltratieverlies

In paragraaf 6.4 is berekend hoeveel water op straat terecht komt na een extreme neerslaghoeveelheid van 60 mm/uur. Om onderzoek te verrichten naar de duur van water op straat zijn infiltratieverliezen opgesteld. De infiltratieverliezen betreffen de afstroming en infiltratie van hemelwater uit een 'water op straat' situatie. Voor dit gebied zijn de infiltratieverliezen bepaald door verdamping vanaf het oppervlak, infiltratieverlies uit de waterbergende fundering en het debiet van de buis die is aangesloten op de overstort. Onderstaand worden de afstromingsverliezen beschreven.

Verdamping

De verdamping is op basis van gegevens van het Knmi (tabel 6.2) vastgesteld op 4 mm per dag in Juni, dit geeft een verdamping van 0,016 mm/uur. Om te kunnen rekenen met de verdampingshoeveelheid per uur is het oppervlak van het 'Water op straat' gebied vermenigvuldigd met de verdamping van 0,016 mm/uur. Hier komt een verdampingsdebiet uit van 0,076 m³/uur.

Infiltratieverlies

Met behulp van de onderstaande formule is het infiltratieverlies vanuit de waterbergende fundering van de waterpasserende verharding berekend. Onderstaand zijn de gebruikte formules weergegeven. In tabel 6.11 zijn de symbolen verklaard.

$$Q = (k / 2 \times A) / 24$$

$$Q = (4 / 2 \times 4750 \text{ m}^2) / 24 = 395,85 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Tabel 6.11 Verklaring symbolen (bron: module rioleringsberekeningen LWM DT 3^e jaars, 2015)

Symbool	Betekenis	Dimensie
Q	Debiet	m ³ /s
k	Bodemdoorlatendheid	m/d
A	Infiltratieoppervlak	m ²
2	Reductiefactor op de k-waarde	-

* Hiervoor is de K-waarde uit het bodemrapport gebruikt zoals beschreven in de gebiedskenmerken

- Geen dimensie

Debiet van overstort

Zoals beschreven in de gebiedskenmerken is ter hoogte van de kruising Einsteinlaan/Kamerlingh Onnesstraat een overstort gelegen. De overstort is aangesloten op een betonnen buis van circa 85 m lang met een diameter van 300 mm. De buis is vanaf het putdeksel in zuidelijke richting gelegen. Over het verhang zijn geen gegevens bekend. Voor de berekening is uitgegaan van een verhang van 4 ‰. Omdat de buis ligt ter plaatse van de 'water op straat' situatie bestaan er mogelijkheden om hemelwater door de waterpasserende verharding te laten infiltreren in via deze buis af te voeren.

Om het debiet van deze buis te berekenen zijn de onderstaande formules gebruikt. Er is geen onderzoek verricht naar vertragsingsverlies van het water in de buis omdat de hoogteligging van de buis niet exact bekend is. De gebruikte formules zijn afkomstig uit de module rioleringsberekeningen uit het 3^e studiejaar van de opleiding Land- en Watermanagement. In tabel 6.12 zijn de symbolen verklaard die opgenomen zijn in de gebruikte formules, in tabel 6.13 zijn de gebruikte formules uitgewerkt.

Tabel 6.12 Verklaring symbolen (bron: module rioleringsberekeningen LWM DT 3^e jaars, 2015)

Symbool	Betekenis	Dimensie
Q	Debiet	m ³ /s
V	Stroomsnelheid	m/s
A	Oppervlak buis	m ²
C	Coefficient van Chezy	m ^{0.5} /s
R	hydraulische straal voor ronde leidingen	m
r	Straal buis	m
I	Verhang	‰
ΔH	Verskil in hoogte	m
L	Buislengte	m
k	Wandruwheidsfactor (betonnen buis)	-

Tabel 6.13 Uitwerking formules (bron: module rioleringsberekeningen LWM DT 3^e jaars, 2015)

Formule	Uitwerking	Antwoord
$R = r / 2$	$R = 0,15 / 2$	$= 0,075 \text{ m}$
$I = \Delta H / L$	*	$= 4 \text{ ‰}$
$C = 18 \times 10 \log (12 R / k)$	$C = 18 \times 10 \log (0,45)$	$= 62,42 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$
$v = C \cdot (\sqrt{R}) \cdot I$	$V = 62,45 \times 0,027 \times 0,004$	$= 0,00674 \text{ m/s}$
$A = r \cdot r \cdot 3,14$	$A = 0,15 \times 0,15 \times 3,14$	$= 0,07 \text{ m}^2$
$Q = v \cdot A$	$Q = 0,00674 \times 0,07$	$= 0,000472 \text{ m}^3/\text{sec} \times 3600 \text{ sec} = 1,69 \text{ m}^3/\text{uur}$

* Betreft een aanname omdat geen gegevens over de hoogteligging bekend zijn

Uit de berekeningen van de infiltratieverliezen blijkt dat er 0,076 m³/uur verdampt, 395,83 m³/uur infiltreert uit de waterbergende fundering en 1,69 m³/uur afstroomt door de overstort. In totaal bedraagt het infiltratieverlies 397,59 m³/uur

6.4.2 Ledigingstijd

In paragraaf 6.4 is berekend hoeveel water op straat kan worden verwacht na een extreme neerslaghoeveelheid van 60 mm/uur. Uit de analyse is gebleken dat een waterhoogte van maximaal 0,27 m kan worden verwacht in het water op straat gebied. In paragraaf 6.4.1 zijn de totale infiltratieverliezen berekend en

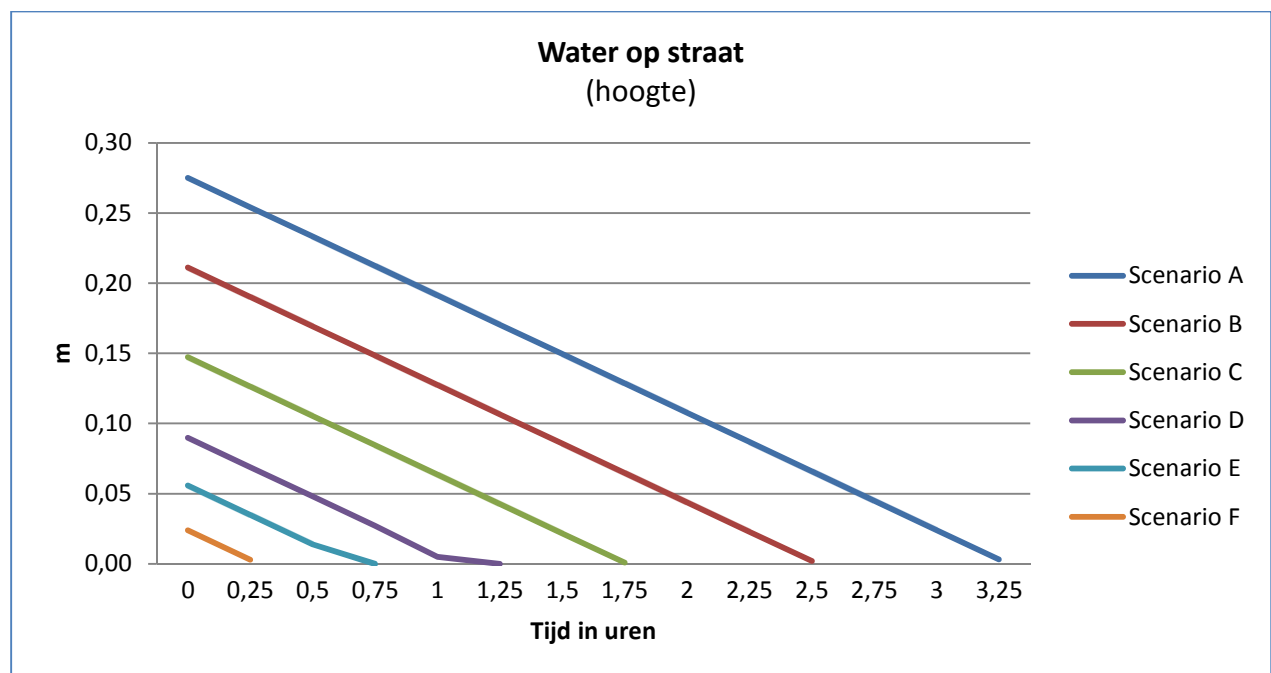
vastgesteld op totaal 397,59 m³/uur. Op basis van deze gegevens is het mogelijk om te berekenen hoe lang het water op straat blijft staan. In tabel 6.14 is een overzicht weergegeven van de resultaten uit de berekeningen ten aanzien van water op straat, de infiltratieverliezen en de ledigingstijd. In grafieken 6.15 is de ledigingstijd uit het water op straat gebied weergegeven in relatie tot de waterhoogte (m). Voor de rekentabel wordt verwezen naar bijlage 8. De formule die is gebruikt om te berekenen hoe lang er water op straat blijft staan in het gebied is onderstaand weergegeven.

$$\text{Volume water op straat (m}^3\text{)} / \text{totale infiltratieverlies (m}^3\text{/uur)} = \text{Ledigingstijd in uren}$$

Tabel 6.14 Water op straat, infiltratieverliezen en ledigingstijd

Scenario	Water op straat (m ³)	Water op straat (m)	Totale infiltratieverlies (m ³ /uur)	Ledigingstijd (uren)
A	1306,67	0,27	397,59	3,29
B	1003,04	0,21	397,59	2,52
C	699,40	0,15	397,59	1,76
D	426,86	0,09	397,59	1,07
E	264,95	0,08	397,59	0,67
F	113,13	0,02	397,59	0,28
G	0	0,00	397,59	0,00

Grafiek 6.15 Ledigingstijd water op straat (hoogte in m)



Uit de resultaten in grafiek 6.15 blijkt dat er in scenario A, 3,25 uur water op straat blijft staan in het gebied. Hierbij wordt opgemerkt dat de waterhoogte voorafgaand aan de start van het infiltratieverlies 0,27 m bedraagt. In scenario B-D blijkt er langer dan 1 uur water op straat te blijven staan met een starthoogte van respectievelijk 0,21 m, 0,15 m en 0,09 m. Ten aanzien van de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021 is eens per 2 jaar kortdurend (< 1 uur) water op straat geoorloofd bij een extreme neerslaghoeveelheid. Deze scenario's voldoen niet aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan 2012-2021. De 'water op straat' hoogte in scenario's E, F en G (niet opgenomen in de grafiek) blijkt wel binnen 1 uur te zijn geïnfiltrerd. In het meest voordelige scenario G blijkt er geen water op straat te worden aangetroffen.

6.5 Aanlegkosten infiltratiesysteem

In deze paragraaf zijn de aanlegkosten per scenario weergegeven. De kosten zijn gebaseerd op de specificatie van eenheidsprijzen in bijlage 6. In elke scenario zijn de aanlegkosten voor een waterpasserende verharding met waterbergende fundering in de openbare ruimte opgenomen. De kosten per scenario zijn bepaald door het aantal percelen en het dakoppervlak te verrekenen met de capaciteit van de infiltratievoorzieningen. In tabel 6.16 zijn de kosten voor een waterpasserende verharding per straat weergegeven. In tabel 6.17 zijn de kosten voor infiltratie op perceelsniveau per scenario weergegeven. In grafiek 6.18 zijn de totaalkosten per scenario weergegeven.

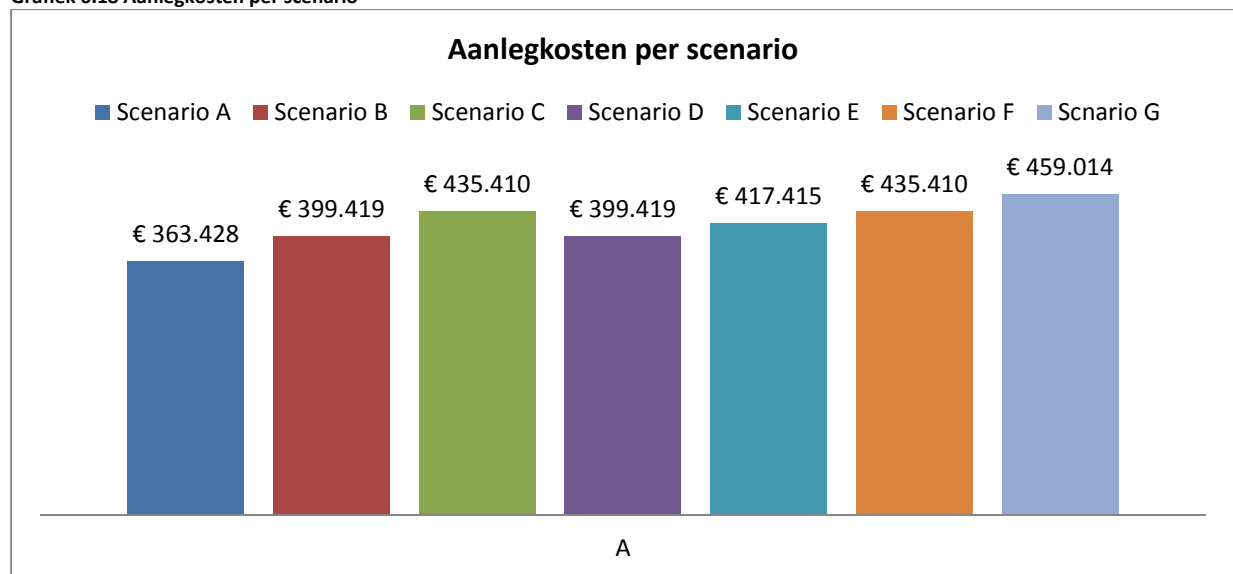
6.16 Kosten waterpasserende verharding met waterbergende fundering in openbare ruimte (bron: bijlage 6)

Straatnaam	Oppervlakte straat exclusief trottoir (m ²)	Kosten
Buys Ballotstraat	1676	€ 87.152,00
Robert Kochstraat	1032	€ 53.664,00
Einsteinstraat	1284	€ 66.768,00
Keesomstraat	1258	€ 65.416,00
Kamerlingh Onnesstraat	1739	€ 90.428,00
Totaal		€ 363.428,00

6.17 Kosten infiltratie op perceelsniveau per scenario (bron: bijlage 6)

Scenario	Specificatie	Kosten
A	0 % afgekoppeld dakoppervlak	€ 0,00
B, D	50 % afgekoppeld dakoppervlak	€ 35.991,00
E	75 % afgekoppeld dakoppervlak	€ 53.986,50
C, F	100 % afgekoppeld dakoppervlak	€ 71.982,00
G	100 % afgekoppeld dakoppervlak en bergen hemelwater van alle typen afvoerende oppervlak in deelgebieden 2 (A-B)	€ 95.586,00

Grafiek 6.18 Aanlegkosten per scenario



De aanlegkosten voor het infiltratieontwerp in scenario A bedragen € 363.428,00. Hierbij is 0% van het dakoppervlak van de woningen opgenomen in het afkoppelproject. De kosten voor 50 % afgekoppeld dakoppervlak in scenario B en E bedragen € 399.419,00. De kosten voor 100 % afgekoppeld dakoppervlak in scenario C en F bedragen € 435.410,00. De aanleg van een waterpasserende verharding met waterbergende fundering in de openbare ruimte betreft het grootste aandeel van de kosten. Dit kost € 363.428,00. Hierbij wordt opgemerkt dat een extra investering voor de infiltratievoorzieningen op perceelsniveau een geringe verhoging van de kosten oplevert in verhouding met de waterpasserende verharding.

7 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de hoofdvraag van het onderzoek beantwoord en volgt de conclusie van onderzoeksresultaten. Daarnaast volgen aanbevelingen, voortkomend uit de tekortkomingen en verbeterpunten van het behaalde resultaat. Ten slotte zijn de resultaten en betrouwbaarheid van het onderzoek beschreven in de discussie.

7.1 Conclusie

De hoofdvraag die centraal stond gedurende het onderzoek was als volgt:

‘Wat is de meest geschikte oplossing om hemelwater in de woonwijk rondom de Kamerlingh Onnesstraat te infiltreren?’

Om te voldoen aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021 waarin gestreefd wordt naar een water op straat hoogte lager dan 0,05 m voor de duur van minder dan 1 uur, moeten de onderstaande uitgangspunten worden opgenomen in het rioolproject.

- Zonder de toepassing van waterpasserende verharding met waterbergende fundering in de openbare ruimte kan niet worden voldaan aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort.
- De bijdrage van afwaterende wegen van buiten het onderzoek is te groot om te kunnen voldoen aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort.
- In deelgebieden 2 (A-B) moeten aanvullende infiltratievoorzieningen worden gerealiseerd om het water van de parkeerterreinen trottoirs vast te houden/plaatselijk te infiltreren. Dit reduceert de waterbergingsopgave aanzienlijk wat kan worden gecompenseerd met de afkoppeling van daken.

Scenario F en G voldoen aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan 2012-2021. Scenario A tot en met E voldoen niet.

Infiltratie op perceelsniveau

Zowel waterpasserende verharding, infiltratiekratten, infiltratieputten en infiltratiestroken zijn geschikt voor de toepassing op perceelsniveau. Uit de toetsing van de technisch financiële haalbaarheid van infiltratietechnieken in paragraaf 5.3 is gebleken dat de toepassing van infiltratiestroken op perceelsniveau de meest geschikte oplossing is. Deze oplossing is technisch het meest effectief tegen de laagste aanlegkosten. Bovendien voldoet alleen deze infiltratietechniek aan de gewenste levensduur zoals opgenomen in de ontwerputgangspunten. Door de toepassing van de infiltratietechnieken op perceelsniveau kan bij 100 % afkoppeling van het dakoppervlak een reductie op de waterbergingsopgave worden behaald van 607,27 m³ (26,5 % van totale waterbergingsopgave). Aanvullend kan de toepassing van de voorziening ter hoogte van het verhard oppervlak uit deelgebieden 2 (A-B) een reductie op de waterbergingsopgave worden behaald van 272,00 m³ (11,9 % van totale waterbergingsopgave).

7.2 Aanbevelingen

Deze aanbevelingen komen voort uit de beperking van de onderzoeksresultaten of ter verbetering of ter uitbreiding daarvan.

Geadviseerd wordt om naast het afkoppelen van het dakoppervlak in scenario E en F ook een waterbergingsvoorziening te realiseren voor de waterbergingsbehoefte van de parkeerterreinen naast de Fontijnkerk en Tawhid moskee. Uit de waterbergingsopgave is gebleken dat deze parkeerterreinen gezien de afmetingen van het afvoerend oppervlak aanzienlijk bijdragen in de totale waterbergingsopgave. Uitvoeringstechnisch bestaan er voldoende mogelijkheden om in deze deelgebieden extra infiltratiestroken te realiseren.

In scenario D is 50% van het totale dakoppervlak in het onderzoeksgebied opgenomen in de afkoppeling. Hierbij is geen rekening gehouden met afstromend hemelwater van de Pascalstraat, Pasteustraat, Jan van der Heijdenstraat, Treekerbergje en het parkeerterrein ten zuiden van de Kamerlingh Onnesstraat. Uit de resultaten blijkt dat in scenario D, 426,86 m³ water op straat met een hoogte van 0,09 m wordt waargenomen voor de duur van 1,07 uur. Hiermee wordt niet voldaan aan de ambities ten aanzien van water op straat uit het gemeentelijk rioleringsplan 2012-2021.

Om wel te kunnen voldoen aan de ambities dient naast de afkoppeling van 50 % dakoppervlak te worden gestreefd naar het vasthouden van hemelwater van alle typen afvoerend oppervlak in de deelgebieden 2 (A-B). Hiermee kan een extra reductie op de waterbergingsopgave worden gerealiseerd van 272,00 m². Als in scenario D het volume water op straat van 426,86 m³ wordt gereduceerd met 272,00 m³ blijft er een volume van 154,86 m³ over. Dit volume is vergelijkbaar met scenario F waarbij een watervolume van 113,13 m³ met een hoogte van 0,02 m voor de duur van 0,28 uur wordt waargenomen. De aanlegkosten voor het infiltratieontwerp in scenario D inclusief de kosten voor de aanleg van een infiltratievoorziening voor de parkeerplaatsen bedragen € 423.023,00

Geadviseerd wordt om in combinatie met de uitvoering van de renovatiewerkzaamheden aan het gemengd rioolstelsel en het toepassen van infiltratietechnieken op perceelsniveau aan de ingang van de noordzijde van de Buys Ballotstraat, Robert Kochstraat en Einsteinstraat waterkerende drempels aan te brengen waardoor afstromend hemelwater van deze wegen buiten het onderzoeksgebied wordt gehouden.

Om de water op straat problemen te verkleinen kunnen er alternatieve maatregelen worden genomen. Ten eerste kan de buis ten behoeve van de overstort worden vergroot qua debiet. Ten tweede bestaan er in de openbare ruimte mogelijkheden om extra waterpasserende verharding te realiseren ter hoogte van de trottoirs. Dit oppervlak is in onderhavig onderzoek niet betrokken naar de berekening van de effectiviteit van waterpasserende verharding.

7.3 Discussie

In de discussie is ingegaan op de resultaten en conclusies van het onderzoek. Daarnaast is een evaluatie gemaakt van de gebruikte onderzoeksmethodes en de betrouwbaarheid van de resultaten. Tevens worden suggesties gedaan voor aanvullend onderzoek voor de uitvoering van het afkoppelproject.

De infiltratievoorzieningen zijn ruim gedimensioneerd waarbij geen rekening is gehouden met het infiltratieverlies tijdens een extreme neerslaghoeveelheid. In de praktijk kunnen de infiltratievoorzieningen kleiner worden gedimensioneerd. Er is geen rekening gehouden met de infiltratieverliezen tijdens een bui omdat er geen overstort mogelijkheden zijn voor de infiltratievoorzieningen op perceelsniveau. Daarnaast is besloten het infiltratieverlies tijdens de extreme neerslaghoeveelheid niet te berekenen als veiligheidsmarge.

Uit het onderzoek naar de kosten voor de realisatie van infiltratievoorzieningen zijn alleen kosten opgenomen die worden gemaakt om de infiltratievoorziening te realiseren. Omdat de kosten zijn opgevraagd in april 2017 is het mogelijk dat ten tijde van de uitvoering van het project door inflatie de kosten zijn verhoogd. Tevens zijn geen kosten opgenomen ter voorbereiding en nazorg van de werkzaamheden. Als voorbeeld wordt hiervoor gegeven dat de asfaltverharding verwijderd en afgevoerd dient te worden om een waterpasserende verharding met waterbergende fundering te realiseren. Naar dit type kosten is geen onderzoek verricht. Als blijkt dat er in het onderzoeksgebied op meerdere percelen een infiltratievoorziening gaat worden gerealiseerd gebeurt het vaak dat door de uitvoerende partij een korting gegeven op een totaalpakket aan werkzaamheden. Op basis van voornoemde argumenten kan worden aangenomen dat de realisatiekosten in dit onderzoek slechts een indicatie van de werkelijkheid zijn.

Op basis van de ervaringen van gemeente Amersfoort blijkt dat niet voor alle infiltratietechnieken een levensduur van 50 jaar is te garanderen terwijl dit wel als uitgangspunt voor de meest geschikte oplossing dient. De levensduur van een infiltratievoorziening staat of valt met goed en frequent onderhoud. Omdat de infiltratietechnieken op perceelsniveau worden gerealiseerd en de verantwoordelijkheden bij de perceelseigenaar liggen, is het voor de gemeente moeilijk om het overzicht te houden op het beheer en onderhoud.

Op basis van de stroombanenkaart is in ArcGis berekend hoe groot het gebied is waar plasvorming ontstaat als gevolg van extreme neerslaghoeveelheden. Omdat hierbij geen rekening is gehouden met de kleinere stroombanen en plasvorming in het gebied tijdens een bui kunnen de resultaten van deze berekening in de praktijk afwijken. Het betreft slechts een indicatie van de hoeveelheid water op straat om te kunnen toetsen aan de ambities uit het gemeentelijk rioleringsplan Amersfoort 2012-2021.

In het berekenen van de waterbergingsopgave zijn als infiltratiesnelheid de resultaten van de infiltratieproeven uit het veldonderzoek gebruikt. Deze resultaten zijn verkregen door metingen te verrichten in een droge periode waarin de bovengrond droog is. Mogelijk is de infiltratiesnelheid minder snel als blijkt dat de bovengrond al vochtig is door langdurige neerslag. De waterbergingsopgave kan voor deze factor afwijken.

8 Bronvermelding

Onderstaand zijn de bronnen vermeld die zijn geraadpleegd tijdens de uitvoering van het onderzoek.

- (sd). Opgeroepen op april 2017, 16, van Dyka: www.dyka.nl
- (Rioned, J. K. (2010). *Extreme neerslag in bebouwd gebied*. Rioned.
- A.A. Vergouwen, G. M. (2012). *Gebiedsdossier waterwinning Amersfoortse berg*. Houten: Provincie Utrecht.
- AHN Viewer. (sd). Opgeroepen op maart 2017, 7, van Actueel Hoogtebestand Nederland: <http://www.ahn.nl/index.html>
- Albert Klein Tank, J. B. (2015). *Klimaatscenario's '14 voor Nederland*. De Bilt: KNMI.
- Amersfoort wordt een klimaatadaptieve stad. (sd). Opgeroepen op maart 2017, 22, van Waternatuurlijk: <https://www.Waternatuurlijk.nl/amersfoort>
- Amersfoort, G. (2011). *Gemeentelijk Rioleringsplan Amersfoort 2012-2021.pdf*. Amersfoort: Gemeente Amersfoort.
- betonputten. (sd). Opgeroepen op mei 2017, 1, van Van der Hout en de Jong: www.betonputten.nl
- Brussel, L. (2010). *VERGELIJKING VAN ALTERNATIEVE MAATREGELEN VOOR REGENWATERBEHEER OP PERCEELNIVEAU*.
- Buishand, A. O. (2012). *Statistiek van extrem gebiedsneerslag in Nederland*. De Bilt: KNMI.
- BV, A. (2017). *Aquaflow brengt waterafvoer in natuurlijke balans*. Amsterdam.
- BV, D. M. (2006). *Leidraad riolering C2100, Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren*. Rioned.
- Collegebesluit, J. v. (2014). *Intentieverklaring bluedeal Waterschap-Gemeente klimaatagenda water Amersfoort*. Gemeente Amersfoort.
- Dekzand. (sd). Opgeroepen op april 2017, 2, van Geologie: www.geologievannederland.nl
- Econsultancy, P. B. (2016). *Infrastructureel bodemonderzoek RÉAUMURSTRAAT, KELVINSTRAAT EN FAHRENHEITSTRAAT, Amersfoort*. Arnhem: Lans Advies.
- Eijkelpark, M. (2015). *Achtergrondinformatie bij de stroombanenkaart*. Waterplatform Vallei en Eem.
- Elzevier, H. (2000). *Verkennd bodemonderzoek sportvelden aan de Kamerlingh Onnesstraat 1-3*. Amersfoort: Milieutechniek Eemland BV.
- Groenblauwenetwerken. (sd). Opgeroepen op april 2017, 3, van <http://www.groenblauwenetwerken.com/measures/porous-paving-materials/>
- Harry van Luijcklaar, R. (sd). Ervaringen met aanpak wateroverlast. *Rioned, nieuwblad*, 20.
- HSO Civiel, P. v. (2016). *Toegepaste infiltratiesystemen in Amersfoort*. Amersfoort.
- Kerncijfers Knmi '14 -klimaatscenario's. (sd). Opgeroepen op april 2017, 8, van KNMI: <http://www.klimaatscenario's.nl/kerncijfers/>
- Klimaatscenario's KNMI. (sd). Opgeroepen op april 2017, 7, van KNMI: http://www.klimaatscenario's.nl/scenarios_samengevat/index.html
- Lagenbenadering. (sd). Opgeroepen op april 2017, 22, van Ruimttextmilieu: www.ruimttextmilieu.nl/lagenbenadering

- Mijn Waterfabriek*. (sd). Opgeroepen op april 2017, 29, van
<https://www.mijnwaterfabriek.nl/gebruik-regenwater-woningen.html>
- milieu, M. v. (2016). *Stad in het nieuwe klimaat*. Amersfoort: Elba-Rec, Edgar van Eekelen.
- Ondergrondmodellen, Regis II v2.1*. (sd). Opgeroepen op maart 2017, 22, van Dinoloket:
<https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- Philippart, K. V. (2016). *Klimaatadaptatie in een stroomversnelling*. Ministerie van infrastructuur en milieu.
- Rainproof*. (sd). Opgeroepen op maart 2017, 29, van Infiltratietechnieken: www.rainproof.nl
- Rioned, H. v. (2006). *Leidraad riolering, C2200, Hydraulisch functioneren regenwatervoorzieningen*.
- Rioned, H. v. (2006). *Leidraad riolering, module C2200 Hydraulisch functioneren van regenwatervoorzieningen*.
- Ronald Wentink, F. B. (2006). *Beheer infiltratievoorzieningen Leidraad riolering module C3200*. Rioned.
- Stichting Rioned*. (sd). Opgeroepen op maart 2017, 29, van www.riool.net
- Stowa. (2009). *HAAS (hemelwaterafvoer analyse systematiek)*. Utrecht: STOWA 2009.
- Stowa. (2012). *Klimaatadaptief watereheer: Wat biedt de bodem?* Amersfoort: Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer.
- STOWA, G. L. (2007). *De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater*. STOWA, Utrecht, 2007.
- (2013). *Toekomstagenda milieu 2014*. Amersfoort: Gemeente Amersfoort.
- (2015). *Uitvoeringsnotitie 'verwerken hemelwater op particulier terrein bij nieuwbouw'*. Waterschapsbedrijf Limburg.
- Wavin*. (sd). Opgeroepen op April 2017, 16, van Infiltratiebuizen: www.wavin.nl

Evaluatie

In dit hoofdstuk is de evaluatie beschreven van het uitgevoerde onderzoek en de gebruikte onderzoeksmethoden.

Ten eerste was het erg leuk om het onderzoek uit te voeren. Een interessant onderwerp waarbij ik erg veel kennis op heb gedaan met betrekking tot hemelwaterafvoer. Ik heb geprobeerd in de relatief korte tijd zoveel als mogelijk kennis te vergaren door modules van de leidraad riolering door te lezen. Daarnaast heb ik rapportages van Stowa gelezen met betrekking tot de afvoer van hemelwater, verdamping en interceptie.

Voorafgaand aan de uitvoering van het onderzoek is een onderzoeksplan opgesteld waarbij ik het lastig vond om vooraf de onderzoeksmethodes te beschrijven. Tijdens de uitvoering van het onderzoek ben ik erachter gekomen dat het onderzoeksplan een belangrijk document is omdat je hier steeds weer op terug kunt vallen. In het onderzoeksplan staan de doelen, taken en methodes beschreven waarbij het belangrijk is dat er voorafgaand aan de uitvoering van het onderzoek over na wordt gedacht.

De samenwerking met BWZ Ingenieurs en gemeente Amersfoort verliep goed. De communicatie ging vaak per telefoon of email omdat ik niet dagelijks aanwezig kon zijn in verband met mijn baan (deeltijd).

Voorafgaand aan het onderzoek is besloten om veldwerk uit te voeren. In het onderzoeksgebied zijn boringen geplaatst en infiltratiemetingen verricht. Dit vond ik een belangrijk aspect omdat hiermee affiniteit met de praktijk wordt gehouden. Over de resultaten van de infiltratiemetingen kan gediscussieerd worden omdat de infiltratiesnelheden plaatselijk kunnen verschillen. Daarnaast zorgt een vochtige bovengrond in nattere periodes voor vertraging op de snelheid.

In de berekeningen zijn een aantal aannames gedaan voor het opstellen van de waterbergingsopgave. Ten eerste is bepaald dat de voortuinen voor 50 % verhard/onverhard zijn. Dit kan per perceel verschillen. Tevens is op basis van de stroombanenkaart als uitgangspunt genomen dat water op straat verzameld ter hoogte van de Kamerlingh Onnesstraat. Zoals eerder in het rapport aangegeven betreft dit een indicatieve hoeveelheid. Mogelijk bestaan hier afwijkingen door kleine stroombanen of oneffenheden in het maaiveld. Uit verificatie van de stroombanenkaart in het veld is wel aangenomen dat de kaart klopt.

De vooraf opgestelde planning bleek wel te kloppen. Omdat er in het begin van het onderzoek erg veel tijd is gespendeerd is de inspanning gelijkmatig te verdelen over de hele periode.

Wat ik wel geleerd heb uit deze periode is dat ik te laat ben begonnen met het ontwerp van het infiltratiesysteem. Ik ben begonnen met het uitdiepen van de gebiedskenmerken en de uitgangspunten waar ik me tot ver in het proces op heb gefocust om het perfect te krijgen. Ik heb eerst getracht de tekst van het rapport te schrijven en daarna de resultaten bij te voegen. Wat ik hiervan geleerd heb is dat je eerst de resultaten moet verzamelen en daar de tekst bij schrijven.

Bijlage 1 Wetgeving en beleid

Niveau	Naam	Relevante informatie met betrekking tot het onderzoek
Europees	Kader Richtlijn Water	De Kader Richtlijn Water is opgesteld om de kwaliteit van oppervlaktewater en grondwater te verbeteren.
Nationaal	Nationaal waterplan	Omgaan met hemelwater is één van de belangrijke punten uit het nationaal waterplan. Beleidskeuze, Omgang met hemelwater is verantwoordelijkheid van burgers en bedrijven Infiltratie, waar mogelijk dient hemelwater geïnfiltreerd te worden
	Waterwet	In de nieuwe waterwet (2009) wordt in art. 3.5 (zorgplicht hemelwater) beschreven dat perceeleigenaren zorg moeten dragen voor de verwerking van hemelwater op het terrein. Indien verwerking op het eigen perceel redelijkerwijs niet mogelijk is wordt inzamelen en verwerken een gemeentelijke taak.
	Deltabeslissing Ruimtelijke adaptatie	Het Deltaprogramma heeft in de deltabeslissing 'Ruimtelijke adaptatie' voorstellen opgenomen om de ruimtelijke inrichting van Nederland klimaatbestendig en water robuust te maken. Alle overheden en marktpartijen zijn daar gezamenlijk verantwoordelijk voor. In deze beslissing is de ambitie vastgelegd dat Nederland in 2050 zo goed als mogelijk klimaatbestendig en water robuust is ingericht.
	Intentieovereenkomst Klimaatbestendige Stad	In de periode 2013-2014 is in Nederland door het Rijk, Vereniging Nederlandse Gemeenten, Unie van Waterschappen, Interprovinciaal Overleg, (koepels van) marktpartijen en maatschappelijke organisaties gewerkt aan een 'Intentieovereenkomst Klimaatbestendige Stad'. Op 9 oktober 2014 is die intentieovereenkomst door een groot aantal partijen, waaronder gemeente Amersfoort ondertekend. Met deze overeenkomst gaan partijen een inspanningsverplichting aan om aan het doel van klimaatbestendig stedelijk gebied in 2050 te werken.
	Wet op de ruimtelijk ordening (watertoets)	Door de ontwikkelingen in de klimaatverandering en de gevolgen daarvan is de verplichting ontstaan om bij ieder relevant plan ten behoeve van ruimtelijke inrichting de watertoets toe te passen. Het doel hiervan is het inzichtelijk maken van eventuele negatieve invloeden van het plan op het watersysteem alsmede het aangeven van oplossingen. De uitvoering van een watertoets is sinds 1 november 2003 verplicht voor plannen in het kader van de Wet op de Ruimtelijke Ordening.
	Wet milieubeheer	In de wet milieubeheer wordt de gemeentelijke afvalwatertaak beschreven (inzameling en transport van stedelijk afvalwater door middel van openbaar vuilwaterriool). Gemeenten kunnen in het kader van deze wet een verordening opstellen met regels voor de kwantiteit en kwaliteit van de afvoer hemel- en grondwater. Met de verordening kunnen gemeenten perceeleigenaren verplichten om hemel- en grondwater gescheiden van het huishoudelijk afvalwater aan te bieden of hemelwater op eigen terrein te verwerken.
	AMVB's lozingen Besluit 'lozing afvalwater huishoudens' Besluit 'lozen buiten inrichtingen'	Algemene regels voor lozingen waaronder hemelwater. Gemeenten kunnen bij maatwerkvoorschrift eisen te stellen als het hemelwater van onvoldoende kwaliteit is. In het besluit 'lozen buiten inrichtingen' staat beschreven dat lozingen uit een openbaar stelsel zijn toegestaan als deze zijn opgenomen in het Gemeentelijk Rioleringsplan
Regionaal	Klimaatagenda Water 2015-2020	Uit de intentieovereenkomst 'Klimaatbestendige stad' vloeit de 'Klimaatagenda Water 2015-2020' voort. Dit betreft een samenwerking tussen gemeente Amersfoort en het waterschap Vallei en Veluwe op het gebied van klimaatadaptatie.
Lokaal	Gemeentelijk Rioleringsplan Amersfoort 2012-2021	In het gemeentelijk rioleringsplan beschrijft de gemeente haar taken voor een goede afvoer van afvalwater en regenwater en het voorkomen van overlast door (grond)water. Deze taken vallen onder de zorgplicht van de gemeente. Het beleid is gericht op behoud en verbetering van een gezonde, veilige en duurzame leef- en werkomgeving voor de lange termijn. In het rioleringsplan wordt als een van de uitgangspunten gegeven dat in de toekomst rekening moet worden gehouden met grotere neerslagextremen. Ambities voor de komende periode (2012-2021) zijn het vergroten van de doelmatigheid en duurzaamheid. Hiermee wordt de toename van renovatie en vervanging van het riool bedoeld omdat daar in een groot aantal wijken binnen Amersfoort behoefte aan is. Ook streeft gemeente Amersfoort op termijn naar een volledig gescheiden inzameling en verwerking van vuil- en hemelwater door afkoppeling. Om een afweging te kunnen maken voor de afkoppeling van hemelwater wordt per locatie een integrale afweging op kwalitatieve en kwantitatieve aspecten gemaakt. Dit betekent maatwerk en verschilt per onderzoeksgebied.
	Waterplan gemeente Amersfoort 2005	De Gemeente Amersfoort, Waterschap Vallei & Eem en Hydron Midden-Nederland willen samen komen tot duurzaam en integraal waterbeheer in Amersfoort. Daartoe hebben zij één visie ontwikkeld over wat integraal en duurzaam waterbeheer in Amersfoort inhoudt. In het Waterplan Amersfoort zijn die visie en de hieruit voortvloeiende activiteiten van gemeente, waterschap, waterbedrijf en andere betrokkenen vastgelegd. Speerpunten bij de totstandkoming van het Waterplan Amersfoort en de uitvoering zijn: een intensieve samenwerking tussen de betrokken partijen, meer samenhang in het waterbeleid, helderheid van het beleid en een goede communicatie met de burger. Het Waterplan Amersfoort geeft een visie voor de lange termijn (tot en met 2030).

Bijlage 2 Fotocollage onderzoeksgebied



1. Trottoirs met asfaltverharding ter hoogte van de gemeentelijke wegen



2. Bloemperk openbare ruimte



3. Grasvelden tussen appartementencomplexen



4. Water op straat hoogte van 5 cm (Norm GRP)



5. Trottoirs tussen appartementencomplexen



6. Garageboxen deelgebied 2 B



7. Aangrenzend landgoed Nimmerdor



8. Kamerlingh Onnesstraat (let op de put van de overstort in de weg)

Bijlage 3 Beschrijving en resultaten veldonderzoek

Bijlage 3 Veldonderzoek

In deze bijlage zijn de resultaten van het uitgevoerde veldonderzoek weergegeven. De resultaten van de grondboringen zijn belangrijk om de grondwaterstand aan te tonen. De resultaten van de infiltratiemetingen zijn opgenomen in de berekening van de waterbergingsopgave. Het veldonderzoek maakt onderdeel uit van de technische haalbaarheid van de infiltratie van hemelwater op perceelsniveau en in de openbare ruimte.

Resultaten locatie inspectie

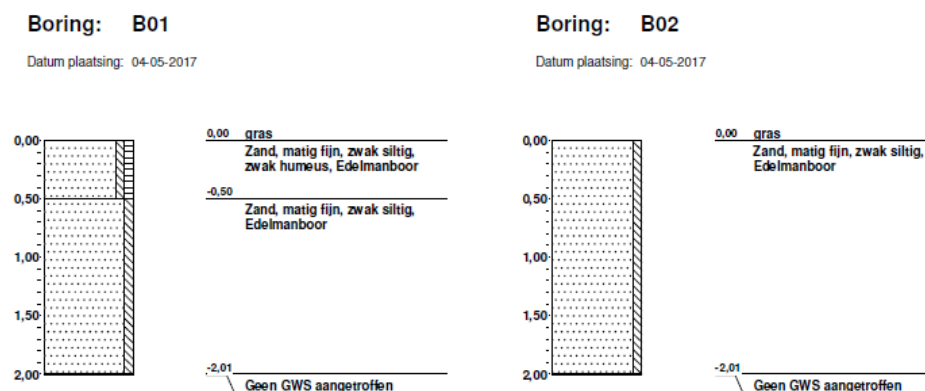
Op 4 maart en 4 mei 2017 is een locatie inspectie uitgevoerd. Hierin zijn de resultaten van de stroombanenkaart (bijlage 4.3) in het veld geverifieerd. Uit de inspectie is gebleken dat de grote stroombanen (>3) op de stroombanenkaart overeenkomen met de situatie in het onderzoeksgebied. De kleine stroombanen (<3) op perceelsniveau zijn niet gecontroleerd omdat de bereikbaarheid van de percelen niet altijd mogelijk was.

Tijdens de locatie inspectie is vanaf de openbare weg naar de percelen gekeken en geïnventariseerd wat de mogelijkheden zijn voor het toepassen van infiltratietechnieken. De criteria die op basis hiervan zijn opgesteld zijn opgenomen in hoofdstuk 5 (infiltratietechnieken).

Tijdens de locatie inspectie op 4 mei 2017 is contact gezocht met enkele bewoners. Hieruit is gebleken dat er op de percelen weinig tot geen wateroverlast wordt ervaren bij een extreme neerslaghoeveelheid. De bewoners gaven aan dat mogelijke wateroverlast in het onderzoeksgebied voornamelijk in de openbare ruimte plaatsvindt en worden veroorzaakt door de verouderde asfaltverharding. Tijdens neerslag ontstaat er plasvorming op de verharding terwijl op de onverharde delen van het gebied nooit plasvorming wordt waargenomen. De goede infiltratiemogelijkheden zorgen periodiek voor droge situaties met negatieve gevolgen voor de beplante bovenlaag.

Resultaten bodemonderzoek

Op 4 mei 2017 zijn twee grondboringen uitgevoerd in het onderzoeksgebied. Het doel van deze boringen was om te verifiëren dat de dieper dan 2 m-mv. is gelegen. Een grondwaterstand dieper dan 1 m-mv. is noodzakelijk om hemelwater te infiltreren in de bodem. Tijdens de boringen is geen grondwaterstand aangetroffen. In afbeelding 1 worden de boorprofielen van de boringen weergegeven. Uit de boorprofielen kan worden opgemaakt dat de bodem ter hoogte van de boringen bestaat uit matig fijn zand tot 2,0 m-mv. (maximale boordiepte). Voor de locaties van de boringen wordt verwezen naar het situatieoverzicht in afbeelding 3.



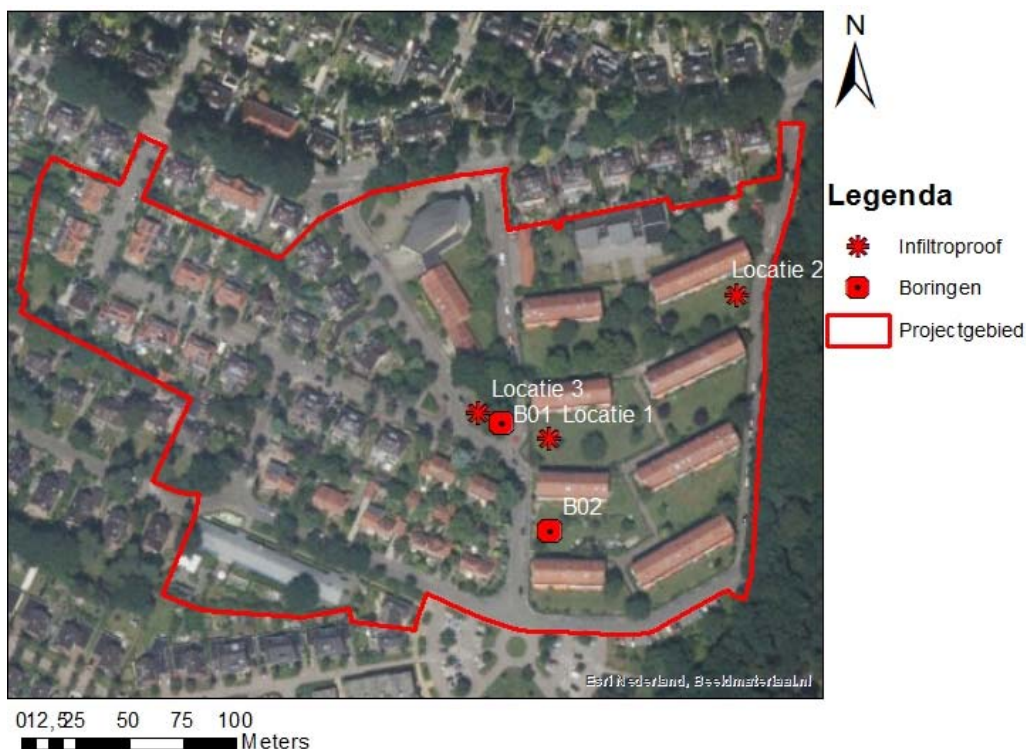
Afbeelding 1: Boorprofielen (04-05-2017)

Resultaten infiltratieonderzoek

Op 4 mei 2017 zijn drie infiltratieproeven uitgevoerd ter hoogte van de grasvelden in deelgebieden 2 (A-B). Om een betrouwbaar resultaat uit de proef te verkrijgen is de grond voorbevochtigd. Voor de proef is gebruik gemaakt van ringen met een diameter van 32 en 57 cm. Beide ringen zijn gevuld tot een waterkolom van 100 mm is behaald. Hierbij is per proef per ring respectievelijk 8,0 en 17,5 liter water gebruikt. Vervolgens is de infiltratietijd gemeten. Voor een illustratie van het veldonderzoek wordt verwezen naar afbeelding 2. Voor de locaties van de infiltratieproeven wordt verwezen naar afbeelding 3. Voor de resultaten van de infiltratieproeven wordt verwezen grafiek 4.

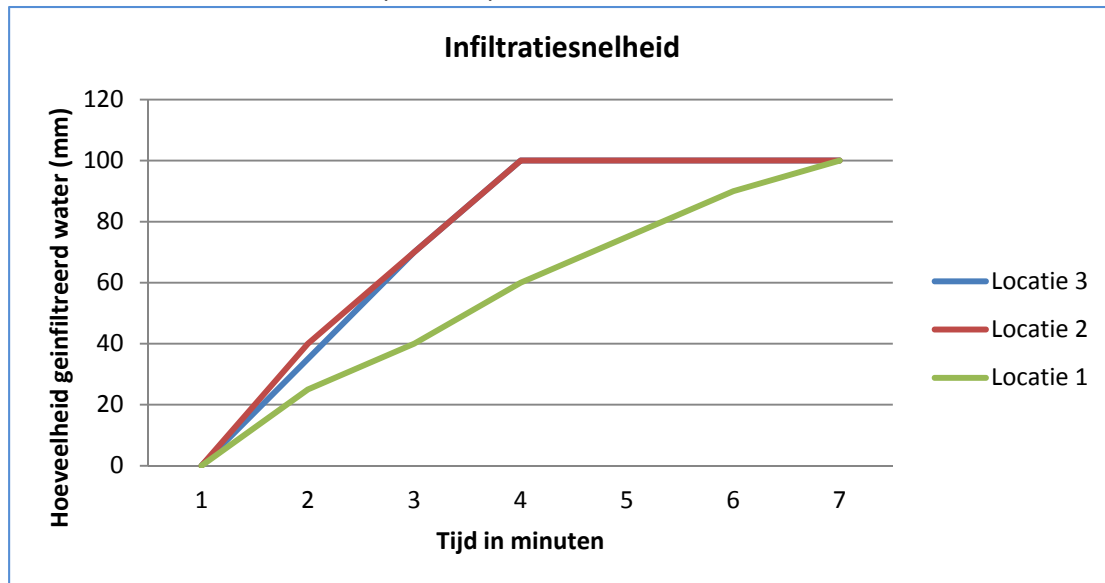


Afbeelding 2: Infiltratieonderzoek (04-05-2017)



Afbeelding 3: Locatie boringen en infiltratieonderzoek (04-05-2017)

Grafiek 4: Resultaten infiltratieonderzoek (04-05-2017)



Uit de 3 infiltratieproeven is gebleken dat ter hoogte van locatie 1 een waterkolom van 100 mm in de bodem infiltreert in 7 minuten. Ter hoogte van locatie 2 en 3 infiltreert deze waterkolom van 100 mm in 4 minuten. De resultaten zijn bemiddeld waaruit is gebleken dat de infiltratiesnelheid 100 mm per 5 minuten bedraagt. Opgemerkt wordt dat ter hoogte van de metingen een hoge infiltratiesnelheid wordt aangetroffen. Als veiligheidsfactor voor de infiltratiesnelheid is een reductiefactor van 2 toegepast. Derhalve wordt in hoofdstuk 6 (ontwerp) in de berekening van de waterbergingsopgave, ter hoogte van het onverhard oppervlak een infiltratiesnelheid van 50 mm per 5 minuten aangenomen. Omgerekend betreft dit een infiltratiesnelheid van 600 mm per 60 min.

Bijlage 4 Aanvullende gebiedskenmerken

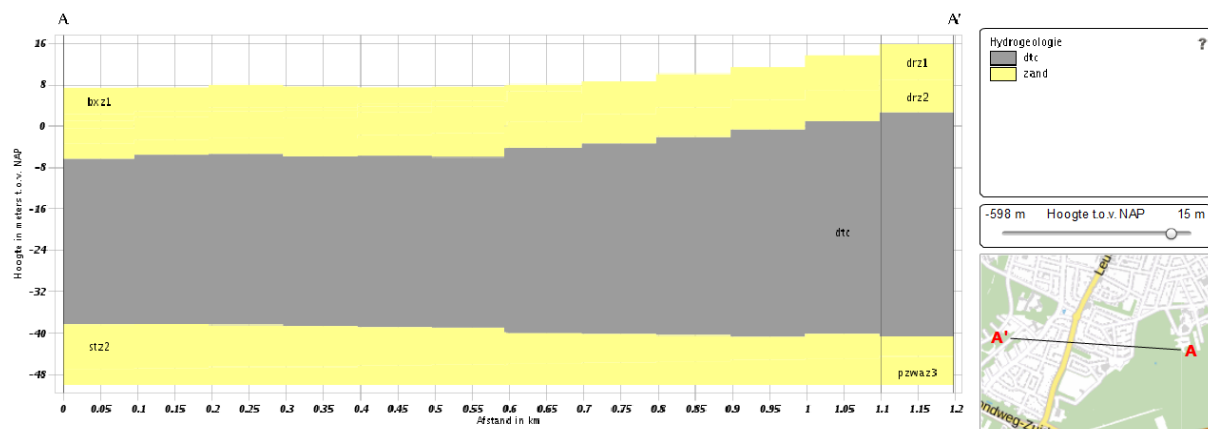
Bijlage 4 Aanvullende gebiedskenmerken

In deze bijlage zijn de aanvullende gebiedskenmerken opgenomen die niet zijn opgenomen in het rapport. Tijdens de analyse van de gebiedskenmerken zijn onderwerpen als geologie, archeologie, bodemkwaliteit en grondwateronttrekking geanalyseerd. Besloten is om deze onderwerpen buiten de kern van het onderzoek op te nemen in de bijlage.

Geologie

Amersfoort is deels gelegen op uitloper van de Utrechtse Heuvelrug en ligt deels in de laagte van de Gelderse Vallei. De vorm van het landschap is bepaald aan het einde van het Saalien (236.000-126.000 jaar geleden). Het landschap rijpte toen tot aan het midden van Nederland. Als gevolg van het gewicht van de ijsmassa is de bevroren ondergrond opgestuwd en zijn stuwwallen zoals de Utrechtse Heuvelrug gevormd. In het navolgende tijdperk zijn als gevolg van poolwinden, grote hoeveelheden zand verplaatst en afgezet tegen de stuwwallen.

In afbeelding 1 is een dwarsdoorsnede van de geologische bodemopbouw ter hoogte van het onderzoeksgebied weergegeven. Op deze doorsnede is aan de bovenzijde van het profiel het reliëf van het maaiveld te zien. De gele lagen zijn zandlagen. De grijze laag in het midden van het profiel betreft een kleilaag, deze is beschreven onder de bodemopbouw. De afzettingen waaruit de bodem is ontstaan, behoren geologisch gezien tot de formatie van Boxtel en de Formatie van Drenthe. De onderliggende lagen kunnen niet eenduidig worden beschreven.



Afbeelding 1 Geologische bodemopbouw onderzoeksgebied tot – 35 m-mv. (Bron: Dinoloket.nl, 2017)

Archeologie

Op basis van de archeologische beleidskaart van gemeente Amersfoort blijkt dat het onderzoeksgebied een middelhoge archeologische verwachting heeft. Het beleid van gemeente Amersfoort voor deze gebieden is dat plangebieden groter dan 500 m², waarbij ontgravingswerkzaamheden dieper als 30 cm worden uitgevoerd, voorafgaand een archeologisch onderzoek noodzakelijk is. Voor de archeologische beleidskaart van gemeente Amersfoort wordt verwezen naar bijlage 4.1.

Bodemkwaliteit

De verwachte bodemkwaliteit ter plaatse van het onderzoeksgebied is vastgesteld op basis van de bodemkwaliteitskaart van gemeente Amersfoort uit 2012. Uit de bodemkwaliteitskaart blijkt dat de bodemfunctieklasse ter hoogte van het onderzoeksgebied 'wonen' is. De bodemfuncties binnen het gebied zijn wonen met tuin en plaatsen waar kinderen spelen. De bodemkwaliteit voldoet aan de normen voor het huidige gebruik van de bodem, zoals beschreven in het besluit bodemkwaliteit. Het gebied is niet verdacht ten aanzien

van bodemverontreiniging. Er bevinden zich geen puntbronnen binnen de contouren van het onderzoeksgebied. Wel dient een verkennend bodemonderzoek te worden uitgevoerd indien de grond geroerd wordt ten behoeve van de voorgenomen werkzaamheden. Op basis van de resultaten van het onderzoek kan een veiligheidsklasse voor de uit te voeren werkzaamheden worden bepaald. De bodemkwaliteitskaart is bijgevoegd als bijlage 4.2.

Grondwater

Regionaal beschouwd stroomt het grondwater uit het freatisch pakket in noordoostelijke richting vanaf de Utrechtse Heuvelrug richting de lager gelegen delen in het stadscentrum. Hierbij wordt opgemerkt dat in gerioleerd gebied, plaatselijk afwijkingen kunnen ontstaan door preferente stroombanen.

Door het pompstation 'Amersfoortse Berg' wordt nu circa 1,5 miljoen m³ grondwater per jaar onttrokken. De winning onttrekt uit het freatisch pakket (- 33 tot -88 m NAP) op de rand van de Utrechtse Heuvelrug. Door de onttrekking uit het freatisch pakket en de goede doorlatendheid van de bodem is de winning zeer kwetsbaar voor verontreinigingen in het grondwater.

Bodemdoorlatendheid

Onderdeel van dit onderzoek was een in-situ doorlatendheidsonderzoek van de bodem in de onverzadigde zone. Het doel van het onderzoek is het bepalen of de bodem geschikt is voor de infiltratie van hemelwater. De doorlatendheid (K-waarde) is bepaald met behulp van de Constand head-methode. Middels een overdruksysteem is een constant waterniveau gerealiseerd in een boorgat. Na verzadiging van de desbetreffende bodemlaag is het debiet gemeten welke nodig is om het waterniveau constant te houden. Deze proeven zijn meermaals herhaald teneinde een gemiddelde doorlatendheid te kunnen berekenen.

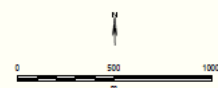
Stroombanenkaart

Deze kaart is opgesteld op basis van de algemene hoogtekarte Nederland 2 (AHN2). Dit is een rasterkaart met cellen van 0,5 m². Vanuit elke cel is de richting van de laagste naastgelegen cel bepaald alvorens een richting van een stroombaan te kunnen bepalen. De stroombanen zijn gecategoriseerd met behulp van de Strahler methodiek. Dit houdt concreet in dat een stroombaan zonder vertakking de waarde 1 krijgt toegekend. Wanneer 2 stroombanen bij elkaar komen krijgt deze stroombaan de waarde 2. Dit wordt op deze manier voortgezet. Ook zijn in deze kaart de lokale laagten bepaald ten behoeve van plasvorming. Hiervoor is een vergelijkbare methode toegepast. De cellen krijgen een hoogtewaarde toegekend waarop basis van de plasvorming en diepte is bepaald.

Bijlage 4.1 Archeologische waardenkaart Amersfoort



+



Archeologische Beleidskaart Gemeente Amersfoort

ten behoeve van de Archeologische Monumentenzorg

augustus 2010

legenda

Archeologisch Waardevolle Gebieden

1 - wettelijke beschermde monumenten (rijks- of gemeentelijk)

Beleid

In geval van bodemverstoring moet een monumentenvergunning worden aangevraagd.

2 - gebieden met hoge archeologische waarde

Bij plangebieden waarbinnen bodemingrepen dieper dan 30 cm -Mv plaatsvinden, is voorafgaand archeologisch onderzoek noodzakelijk.

Archeologisch Waardevol Verwachtingsgebied

3 - gebieden met een hoge archeologische verwachting

Bij plangebieden groter dan 100 m² waarbinnen bodemingrepen dieper dan 30 cm -Mv plaatsvinden, is voorafgaand archeologisch onderzoek noodzakelijk.

4 - gebieden met een middelhoge archeologische verwachting

Bij plangebieden groter dan 500 m² waarbinnen bodemingrepen dieper dan 30 cm -Mv plaatsvinden, is voorafgaand archeologisch onderzoek noodzakelijk.

5 - gebieden met een lage archeologische verwachting

Bij plangebieden groter dan 10.000 m² waarbinnen bodemingrepen dieper dan 30 cm -Mv plaatsvinden, is voorafgaand archeologisch onderzoek noodzakelijk.

overig

- gemeentegrens

- terrein Bernhardkazerne

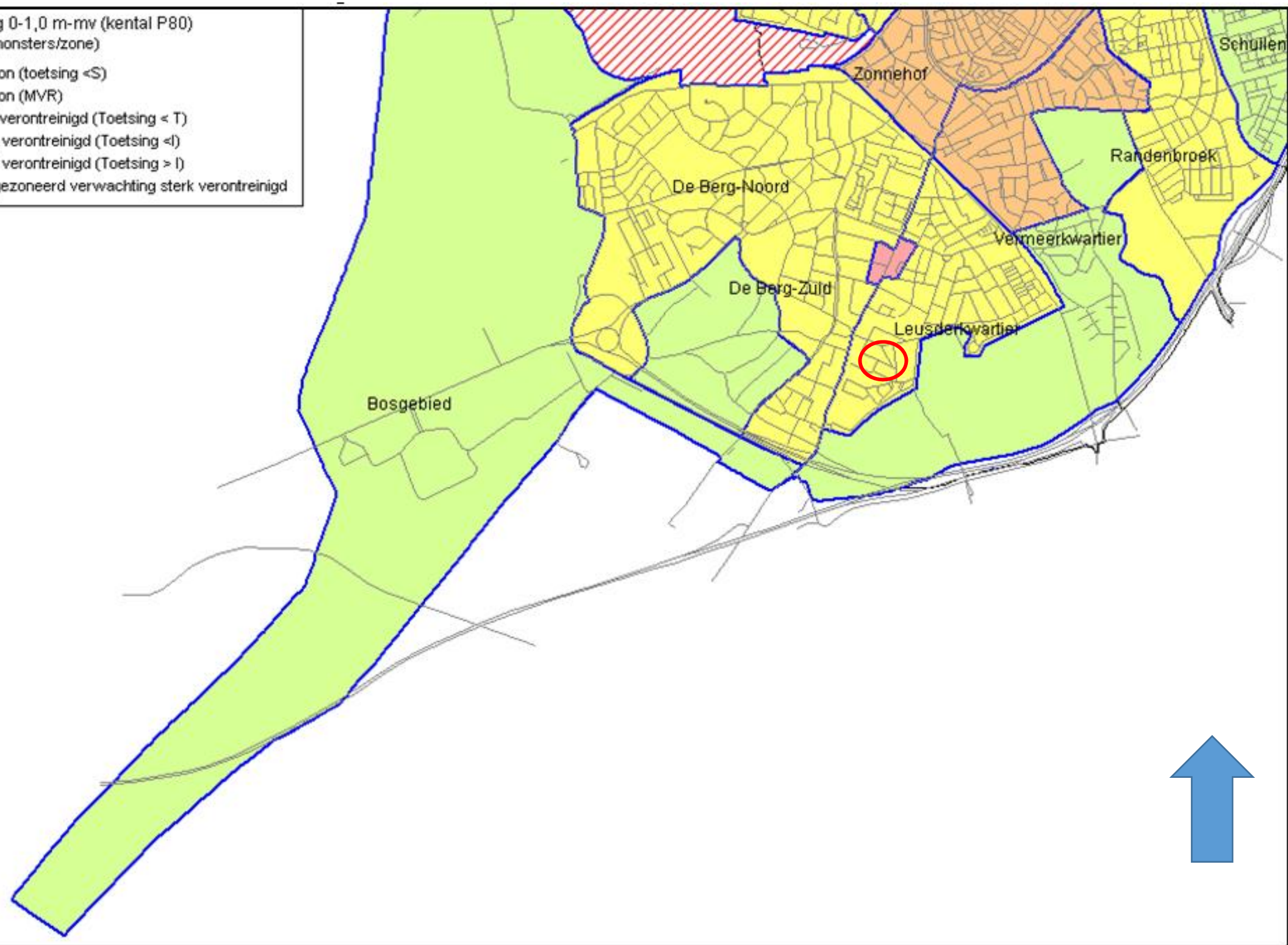
Terrein waarbinnen rijksbeleid geldt



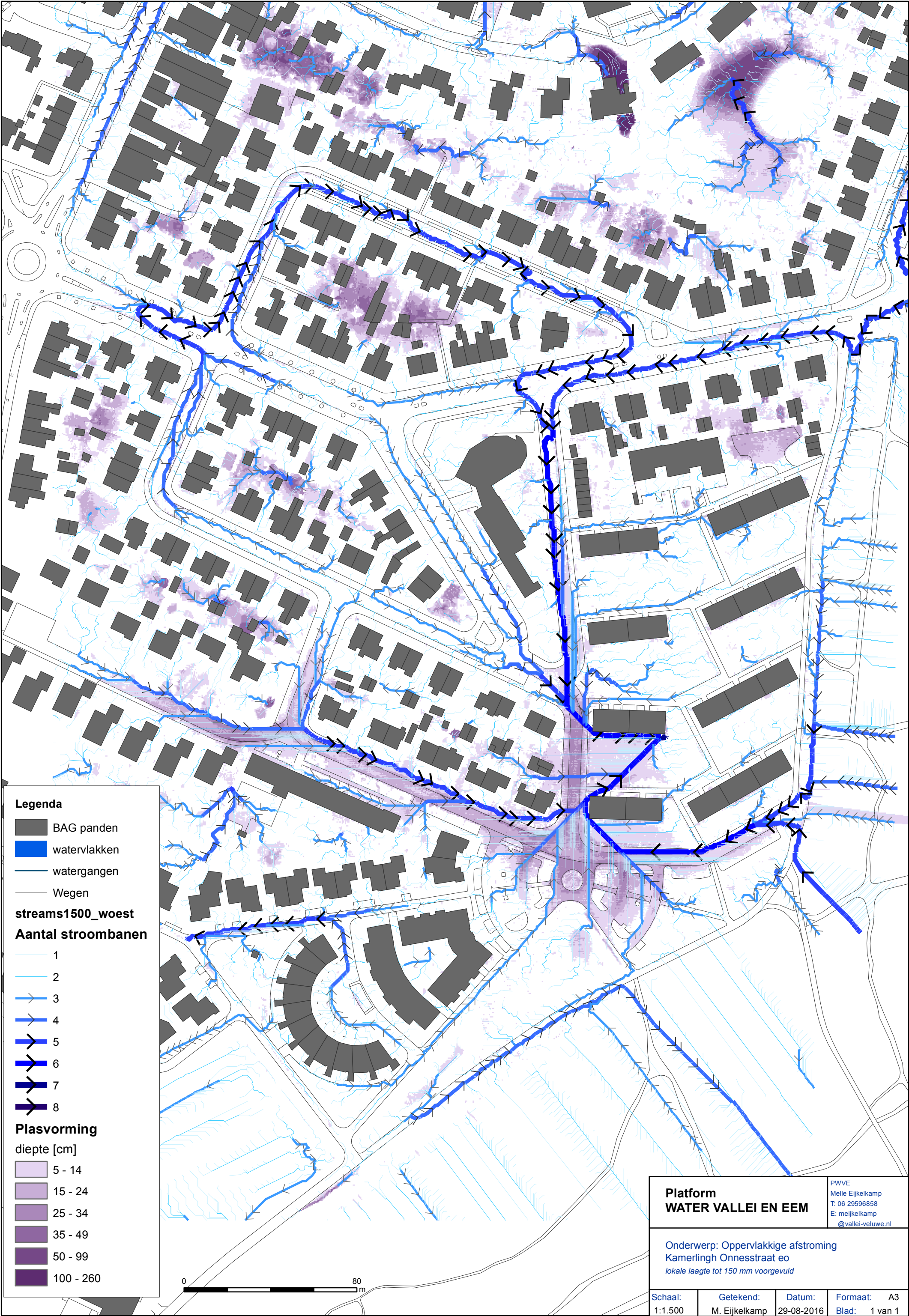
Bijlage 4.2 Bodemkwaliteitskaart Amersfoort

Zonering 0-1,0 m-mv (kental P80)
(min. 20 monsters/zone)

- Schoon (toetsing <S)
- Schoon (MVR)
- Licht verontreinigd (Toetsing < T)
- Matig verontreinigd (Toetsing <I)
- Sterk verontreinigd (Toetsing > I)
- Niet gezoneerd verwachting sterk verontreinigd



Bijlage 4.3 Stroombanenkaart Amersfoort



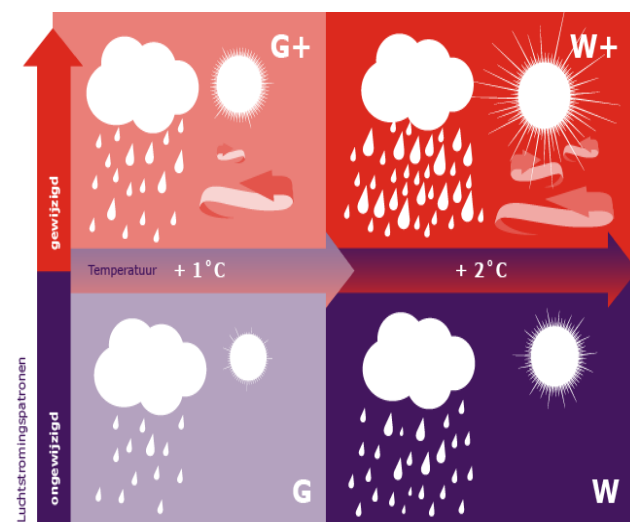
Bijlage 5 Context

Bijlage 5 Context

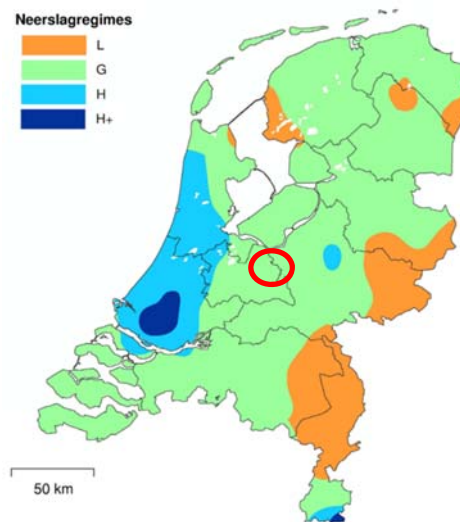
In dit hoofdstuk is de context van het onderzoek beschreven. Dit vormt de aanleiding voor de uitvoering van het onderzoek. De klimaatscenario's van het KNMI '14 worden beschreven. Tevens is de extreme neerslaghoeveelheid onderbouwd die in het rapport als uitgangspunt dient voor het berekenen van de waterbergingsopgave.

Klimaatscenario's

Het is vooralsnog niet bekend welke invloed de klimaatverandering uiteindelijk zal hebben op de neerslagverdeling in Nederland. Door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) zijn klimaatscenario's opgesteld. Deze zijn gebaseerd op het rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change, een organisatie van de Verenigde Naties (opgericht in 1988). In de scenario's wordt een voorspelling gedaan voor de gevolgen van de klimaatverandering in Nederland en worden gebruikt als instrument voor het berekenen van de gevolgen van klimaatverandering of voor het ontwikkelen van mogelijkheden en strategieën voor adaptatie. In afbeelding 1 is een overzicht gegeven van de scenario's zijn opgesteld door het KNMI. In afbeelding 2 zijn neerslagregimes binnen Nederland weergegeven aan de hand van klimaatscenario's. Uit de afbeelding blijkt dat Amersfoort is gelegen in het groen gearceerde gebied (G).



Afbeelding 1 KNMI Klimaatscenario's landelijk (Bron: KNMI, 2014)



Afbeelding 2 Neerslagregimes Nederland, ligging Amersfoort in rode cirkel (bron: riool.net, 2014)

Het G-scenario (gematigd) gaat uit van een wereldwijde temperatuurstijging van 1 °C in 2050 en 1,5 °C in 2085 (ten opzichte van 1981-2010). Het W-scenario (warm) gaat uit van temperatuurstijging 2 °C in 2050 en 3,5 °C in 2085 (ten opzichte van 1981-2010). De verschillende scenario's maken onderscheid tussen een hoge (H) en of lage (L) invloed van de verandering. In de H-scenario's waait het in de winter vaker uit het westen. Ten opzichte van de L-scenario's betekent dit een zachter en natter weertype. In de H-scenario's hebben hogedrukgebieden in de zomer een grotere invloed op het weer. Dit veroorzaakt in vergelijking met de L-scenario's, in Nederland vaker een warme, droge oostenwind.

In alle scenario's nemen de neerslaghoeveelheden toe met uitzondering van de zomer. Dit komt omdat als gevolg van temperatuurstijging, de hoeveelheid waterdamp in de lucht toeneemt. In alle scenario's nemen de extreme neerslagintensiteiten toe. Dit is het gevolg van de toename van de hoeveelheid waterdamp in de lucht bij een opwarmend klimaat. Het KNMI verwacht dat extremen in uur neerslag meer toenemen dan die van de dag neerslag. Het instituut voorziet voor extreme buien een intensiteitstoename van 14% per graad temperatuurstijging. Het WH scenario voorziet in de zomer 13 tot 25 % neerslagtoename per uur. In tabel 3 zijn

relevante gegevens gepresenteerd met betrekking tot neerslag op basis van de klimaatscenario's ('veranderingen voor het klimaat rond 2050'). De bandbreedte voor deze periode ligt van het jaar 2036-2065. Gezien het huidige jaartal (2017) en de vereiste levensduur van de oplossing uit dit onderzoek (ca. 50 jaar) worden deze gegevens als representatief geacht.

Tabel 3: Gevolgen van klimaatverandering in Nederland uitgedrukt in cijfers (bron: [Klimaatsscenario.nl/images/brochure](https://klimaatsscenario.nl/images/brochure))

Seizoen	Indicator	Klimaat 1951-1980	Klimaat 1981-2010	Scenario veranderingen voor het klimaat rond 2050			
				GL	GH	WL	WH
Zomer	Aantal dagen > 20 mm	1,6	1,7	+4,5 tot +18%	-4,5 tot +10%	+6 tot 30 %	-8,5 tot + 14%
	Maximum neerslag (mm/uur)	14,9	15,1	5,5 tot +11%	+7 tot +14%	+12 tot +23%	+13 tot +25%

Neerslagextremen

Eén van de effecten van de klimaatverandering is een verandering in de neerslagverdeling. Er vallen gemiddeld genomen minder buien maar de buien die vallen zijn groter van omvang (duur of intensiteit). In de laatste decennia zijn hiervan enkele voorbeelden te beschrijven. Op 28 juni 2011 viel ter hoogte van het KNMI-station in Herwijnen in een uur, 94 mm neerslag. Dit is in Nederland op een KNMI weerstation de hevigst geregistreerde bui ooit. Het KNMI-station Hupsel noteerde op 24 augustus 2010 ook een record: in ruim 24 uur viel circa 160 mm neerslag.

<i>D</i> (minuten)		5	10	15	30	60	120
<i>T</i> = 0.5 jaar		4	5	6	8	10	13
1 jaar		5	7	9	11	14	17
2 jaar		7	10	11	14	18	21
5 jaar		9	13	15	19	23	26
10 jaar		11	15	18	23	27	31
20 jaar		12	18	21	27	32	36
50 jaar		15	21	26	32	38	42
100 jaar		17	25	29	37	43	48
200 jaar		-	28	33	42	49	54
250 jaar		-	29	34	43	51	56
500 jaar		-	32	39	49	57	62
1000 jaar		-	36	43	54	64	69

Afbeelding 4: tabel, Stowa 2004, terugkeerniveaus (in mm) voor verschillende herhalingstijden voor duren van 5, 10, 15, 30, 60 en 120 minuten. (bron [Knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie](https://knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie))

Door STOWA is eind 2004 neerslagstatistiek voor waterbeheerders gepresenteerd. Hieruit zijn de belangrijkste statistische kentallen voor neerslag in Nederland op een rij gezet. In afbeelding 4 is te zien dat uit de resultaten van deze statistiek voor een bui met terugkeerniveau 100 jaar een neerslag hoeveelheid van 43 mm per 60 minuten is berekend. Hierbij wordt opgemerkt dat in statistiek voor buien met een hoger terugkeerniveau een grotere afwijking van de analyse mogelijk is door de bandbreedte van de periode.

Op basis van de neerslagtabel van het KNMI wordt verondersteld dat een T=100 bui circa 43 mm neerslag per uur produceert. In overleg met gemeente Amersfoort is besloten om op basis van de voornoemde gegevens van het KNMI, als uitgangspunt voor het opstellen van de waterbergingsopgave uit te gaan van een maximale neerslaghoeveelheid van 60 mm/uur. De bui van 60 mm is gebaseerd op de afronding van een T=100 bui (43 mm/uur) met 25% afwijking op basis van het klimaatscenario WH. Deze klimaatfactor komt overeen met de toename van de hoeveelheid neerslag van een extreme bui in 2050 in het WH scenario (ongunstigste klimaatscenario voor de toename van neerslag). Uitgangspunt hierbij is, zoals opgenomen in het GRP dat er geen schade mag ontstaan als gevolg van de bui. In afbeeldingen 5 en 6 is te zien wat de gevolgen kunnen zijn

van een extreme neerslaghoeveelheid in korte tijd zoals bijvoorbeeld op 28 juli 2012 in Amersfoort. Er was onvoldoende capaciteit om het hemelwater te kunnen bergen waardoor wateroverlast is ontstaan.



Afbeelding 5: Wateroverlast in Amersfoort (Bron: AD.nl, 2012)



Afbeelding 6: Wateroverlast in Amersfoort (Bron: AD.nl, 2012)

Bijlage 6 Kostenspecificatie

Werkomschrijving aanbrengen waterpasserende verharding met waterpasserende fundering (5 m3 en 20 m3)	Eenheid	Prijs 1	Prijs 2		Gemiddelde prijs	Aantal	Kosten 5 m3	Aantal	Kosten 20 m3
Leveren en aanbrengen waterpasserende verharding met fundering (Aquaflow)	m2	€ 52,00			€ 52,00	35	€ 1.820,00	142,00	€ 7.384,00
							€ 1.820,00		€ 7.384,00

Werkomschrijving aanbrengen infiltratiekratten (5 m3 en 20 m3) per perceel	Eenheid	Prijs 1	Prijs 2	Prijs 3	Gemiddelde prijs	Aantal	Kosten 5 m3	Aantal	Kosten 20 m3
Voorbereiding werkzaamheden	stuk	€ 150,00	€ 250,00	€ 230,00	€ 210,00	1	€ 210,00	1	€ 210,00
Verwijderen top laag (tegels/beplanting)	m2	€ 10,00	€ 9,50	€ 8,00	€ 9,17	5	€ 45,83	20	€ 183,33
Ontgraven grond met minigraver	m3	€ 35,00	€ 20,00	€ 30,00	€ 28,33	5	€ 141,67	20	€ 566,67
Leveren en aanbrengen infiltratiekratten (Dyka)	stuk	€ 285,00	€ 350,00	€ 290,00	€ 308,33	5	€ 1.541,67	20	€ 6.166,67
Leveren en aanbrengen bladvang	stuk	€ 150,00	€ 125,00	€ 130,00	€ 135,00	1	€ 135,00	1	€ 135,00
Leveren en aanbrengen hulpstukken (pvc)	stelpost	€ 5,00	€ 25,00	€ 20,00	€ 16,67	1	€ 16,67	1	€ 16,67
Leveren en aanbrengen leiding (pvc) van woning naar kratten	m1	€ 24,00	€ 18,00	€ 19,00	€ 20,33	10	€ 203,33	10	€ 203,33
Leveren en aanbrengen worteldoek	stuk	€ 11,00	€ 23,00	€ 19,00	€ 17,67	1	€ 17,67	1	€ 17,67
Aanvullen en verdichten grond	m3	€ 15,00	€ 10,00	€ 17,50	€ 14,17	1	€ 14,17	1	€ 14,17
Inzaaien bovenlaag met gras	m2	€ 1,50	€ 7,50	€ 3,00	€ 4,00	5	€ 20,00	20	€ 80,00
Afvoeren grond	m3	€ 12,00	€ 15,00	€ 16,00	€ 14,33	5	€ 71,67	20	€ 286,67
							€ 2.417,67		€ 7.880,17

Werkomschrijving aanbrengen infiltratieput (5 m3 en 20 m3)	Eenheid	Prijs 1	Prijs 2	Prijs 3	Gemiddelde prijs	Aantal	Kosten 5 m3	Aantal	Kosten 20 m3
Voorbereiding werkzaamheden	stuk	€ 150,00	€ 250,00	€ 230,00	€ 210,00	1	€ 210,00	1	€ 210,00
Verwijderen top laag (tegels/beplanting)	m2	€ 10,00	€ 9,50	€ 8,00	€ 9,17	5	€ 45,83	15	€ 137,50
Ontgraven grond met hydraulische graafmachine	m3	€ 35,00	€ 20,00	€ 30,00	€ 28,33	4	€ 113,33	23	€ 651,67
Leveren en aanbrengen infiltratieput (5 m3, Wavin, 20 m3 betonputten.nl)	stuk	€ 1.199,00		€ 3.000,00	€ 1.199,00	1	€ 1.199,00	1	€ 1.199,00
Leveren en aanbrengen bladvang	stuk	€ 150,00	€ 125,00	€ 130,00	€ 135,00	1	€ 135,00	1	€ 135,00
Leveren en aanbrengen hulpstukken (pvc)	Stelpost	€ 5,00	€ 25,00	€ 20,00	€ 16,67	1	€ 16,67	1	€ 16,67
Leveren en aanbrengen leiding (pvc) van pand naar put	m1	€ 24,00	€ 18,00	€ 19,00	€ 20,33	10	€ 203,33	10	€ 203,33
Leveren en aanbrengen worteldoek	stuk	€ 11,00	€ 23,00	€ 19,00	€ 17,67	1	€ 17,67	1	€ 17,67
Aanvullen en verdichten grond	m3	€ 15,00	€ 10,00	€ 17,50	€ 14,17	1	€ 14,17	3	€ 42,50
Herstraten van de locatie	m2	€ 30,00	€ 35,00	€ 33,00	€ 32,67	5	€ 163,33	15	€ 490,00
Afvoeren grond	m3	€ 12,00	€ 15,00	€ 16,00	€ 14,33	3	€ 43,00	21	€ 301,00
							€ 2.161,33		€ 3.404,33

Werkomschrijving aanbrengen infiltratiestrook (5m3 en 20 m3)	Eenheid	Prijs 1	Prijs 2	Prijs 3	Gemiddelde prijs	Aantal	Kosten 5 m3	Aantal	Kosten 20 m3
Voorbereiding werkzaamheden	stuk	€ 150,00	€ 250,00	€ 230,00	€ 210,00	1	€ 210,00	1	€ 210,00
Verwijderen toplaag (tegels/beplanting)	m2	€ 10,00	€ 9,50	€ 8,00	€ 9,17	12	€ 110,00	42	€ 385,00
Ontgraven grond met hydraulische graafmachine	m3	€ 35,00	€ 20,00	€ 30,00	€ 28,33	5	€ 141,67	20	€ 566,67
Leveren en aanbrengen hulpstukken (pvc)	Stelpost	€ 5,00	€ 25,00	€ 20,00	€ 16,67	1	€ 16,67	1	€ 16,67
Leveren en aanbrengen leiding (pvc) van pand naar put	m1	€ 24,00	€ 18,00	€ 19,00	€ 20,33	10	€ 203,33	10	€ 203,33
Leveren en aanbrengen worteldoek	stuk	€ 11,00	€ 23,00	€ 19,00	€ 17,67	1	€ 17,67	1	€ 17,67
Afvoeren grond	m3	€ 12,00	€ 15,00	€ 16,00	€ 14,33	5	€ 71,67	20	€ 286,67
							€ 771,00		€ 1.686,00

Bijlage 7 Rekentabel waterbergingsopgave

Gebruiksfunctie	Oppervlakte (m ²)	Type afstroming	Type oppervlak	Oppervlakte berging (mm)	Verdamping (mm/uur)	Infiltratie-snelheid (mm/uur)	Riool-berging (mm)	Netto neerslag (mm/uur)	Waterbergingsopgave (l)
Deelgebied 1 A									
Woningen	1.214	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	72,82
Voortuinen onverhard (50%)	786	Vlak	Onverhard	4	0,016	600		0,00	0,00
Voortuinen verhard (50 %)	785,5	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016		59,47	46,71
Deelgebied 1 B									
Woningen	1.242	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	74,50
Voortuinen onverhard (50%)	671	Vlak	Onverhard	4	0,016	600		0,00	0,00
Voortuinen verhard (50 %)	671	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016		59,47	39,90
Deelgebied 1 C									
Woningen	1.405	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	84,28
Voortuinen onverhard (50%)	1009,5	Vlak	Onverhard	4	0,016	600		0,00	0,00
Voortuinen verhard (50 %)	1009,5	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016		59,47	60,03
Deelgebied 1 D									
Woningen	878	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	52,67
Voortuinen onverhard (50%)	230,5	Vlak	Onverhard	4	0,016	600		0,00	0,00
Voortuinen verhard (50 %)	230,5	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016		59,47	13,71
Deelgebied 2 A									
Fontijnkerk	1.090	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	65,38
Parkeerterrein fontijnkerk	1240	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016		59,47	73,74
Tuin (grasveld)	1856	Vlak	Onverhard	4	0,016	600		0,00	0,00
Deelgebied 2 B									
Tawhid moskee	590	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	35,39
Appartementencomplexen	3.445	Hellend	Daken	0	0,016	0		59,98	206,64
Garageboxen	260	Vlak	Daken	0	0,016	0		59,98	15,60
Parkeerterrein en trottoir	3.343	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016		59,47	198,80
Tuin (grasveld)	11.674	Vlak	Onverhard	4	0,016	600		0,00	0,00
Openbare ruimte									
Kamerlingh Onnesstraat	3.639	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0		59,48	216,46
Buys Ballotstraat	3.080	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0		59,48	183,21
Einsteinstraat	2.356	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0		59,48	140,14
Keesomstraat	1.880	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0		59,48	111,83
Robert Kochstraat	2.148	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0		59,48	127,77
Openbaar groen	760	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	600		0,00	0,00
Extra wegen									
Pascalstraat	3180	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0	25	34,48	109,66
Pasteurstraat	2500	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0	25	34,48	86,21
Jan van der Heijdenstraat	3933	Vlak	Gesloten verhard	0,5	0,016	0	25	34,48	135,63
Trekerbergje	861	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016	25	34,47	29,68
Parkeerterrein Kamerlingh Onnesstraat	3028	Vlak	Open verhard	0,5	0,016	0,016	25	34,47	104,37

Samenvatting waterbergingsopgave	0 %	50 %	100 %	100 %	50 %	75%	100 %
Scenario	A	B	C	D	E	F	G
Type oppervlak							
Daken	607,28	303,64	0,00	0,00	303,64	151,82	0,00
Voortuinen	160,36	160,36	160,36	160,36	160,36	160,36	160,36
Parkeerterrein	272,54	272,54	272,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Tuin (grasveld)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wegen gebied	779,42	779,42	779,42	779,42	779,42	779,42	779,42
Tuin openbaar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Extra wegen	465,54	465,54	465,54	465,54	0,00	0,00	0,00
Totaal (m3)	2.285,13	1.981,50	1.677,86	1.405,32	1.243,41	1.091,59	939,77

Bijlage 8 Rekentabel water op straat

Scenario	Waterbergings-opgave per scenario (m3)	Volume waterbergende fundering (m3)	Water op straat volume (m3)	Water op straat hoogte (m)	Verdamping (m3/uur)	Infiltratieverlies uit waterbergende fundering (m3/uur)	Overstort (m3/uur)	Totaal infiltratieverlies (m3/uur)	Ledigingstijd (uren)
A	2285,13	978,46	1306,67	0,28	0,08	395,83	1,69	397,60	3,29
B	1981,50	978,46	1003,04	0,21	0,08	395,83	1,69	397,60	2,52
C	1677,86	978,46	699,40	0,15	0,08	395,83	1,69	397,60	1,76
D	1405,32	978,46	426,86	0,09	0,08	395,83	1,69	397,60	1,07
E	1243,41	978,46	264,95	0,06	0,08	395,83	1,69	397,60	0,67
F	1091,59	978,46	113,13	0,02	0,08	395,83	1,69	397,60	0,28
G	939,77	978,46	0,00	0,00	0,08	395,83	1,69	397,60	0,00

Infiltratieverlies per uur (m3)

397,60

Infiltratieverlies per half uur (m3)

198,80

Infiltratieverlies per kwartier (m3)

99,40

Water op straat (volume)														
	Tijd in uren	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3
A	Volume (m3)	1306,67	1207,27	1107,87	1008,47	909,07	809,67	710,27	610,87	511,47	412,07	312,67	213,27	113,87
B	Volume (m3)	1003,04	903,64	804,24	704,84	605,44	506,04	406,64	307,24	207,84	108,44	9,04	0,00	
C	Volume (m3)	699,40	600,00	500,60	401,20	301,80	202,40	103,00	3,60	0,00				
D	Volume (m3)	426,86	327,46	228,06	128,66	29,26	0,00							
E	Volume (m3)	264,95	165,55	66,15	0,00									
F	Volume (m3)	113,13	13,73	0,00										
G	Volume (m3)	0,00												

Infiltratieverlies per uur (m)

0,08

Infiltratieverlies per half uur (m)

0,04

Infiltratieverlies per kwartier (m)

0,02

[illegible]