



REGENBESTENDIGE BINNENTUINEN

‘Maatregelen om wateroverlast tegen te gaan in vooroorlogse binnenstedelijke tuinen in Amsterdam-West’

Afstudeeronderzoek

eindrapport

Opleiding : Civiele Techniek – Watermanagement
Door : Hoang Nguyen 500722618
Begeleider(s) : R.J.P. van Hogezaad
: S. van Mourik Broekman
: R. Stuyver
Plaats : Amsterdam
Datum : 11 juni 2019

COLOFON

Eindrapport afstudeeronderzoek Regenbestendige Binnentuinen, 'Maatregelen om wateroverlast tegen te gaan in vooroorlogse binnenstedelijke tuinen in Amsterdam-West', vanuit Civiele Techniek- Watermanagement aan de Hogeschool van Amsterdam, in opdracht van Gemeente Amsterdam Stadsdeel West:

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam Stadsdeel West
Bos en Lommerplein 250
1055 EK Amsterdam

Auteur: Hoang Nguyen
Hogeschool van Amsterdam
Civiele Techniek -Watermanagement
hoang.nguyen@hva.nl

Onder begeleiding van:

Begeleiding: Sarah van Mourik Broekman
Gemeente Amsterdam Stadsdeel West
Gebiedscoördinator Oud-West
s.van.mourik@amsterdam.nl

Ralph Stuyver
Bureau Binnentuinen
Initiator Bureau Binnentuinen
ralph@bureaubinnentuinen.nl

Rutger van Hogezaand
Hogeschool van Amsterdam
Docent en onderzoeker Klimaat & Energie aan Hogeschool van Amsterdam
r.j.p.van.hogezand@hva.nl

Status document: DEFINITIEF

Startdatum: 1 september 2018

Stageperiode: september 2018 t/m mei 2019

Datum: 11 juni 2019

Foto op omslag: Emma's Hof, Den Haag (GROENBLAUWE NETWERKEN, 2019)

VOORWOORD

Voor u ligt het eindrapport van het afstudeeronderzoek Regenbestendige Binnentuinen, *'Maatregelen om wateroverlast tegen te gaan in vooroorlogse binnenstedelijke tuinen in Amsterdam-West'*, als afronding van de bacheloropleiding Civiele Techniek- Watermanagement aan de Hogeschool van Amsterdam. Het afstudeeronderzoek is in opdracht van Gemeente Amsterdam Stadsdeel West verricht. De minor 'De klimaatbestendige stad' aan de Hogeschool van Amsterdam heeft me geïnspireerd om een afstudeeronderzoek te doen in een klimaatonderwerp.

Gedurende het onderzoek ben ik procesmatig vanuit de Gemeente begeleid door Sarah van Mourik Broekman, gebiedscoördinator Oud-West, en inhoudelijk door Ralph Stuyver, initiator Bureau Binnentuinen en het project 'Tegel eruit, groen erin!. Vanuit de Hogeschool van Amsterdam ben ik begeleid door Rutger van Hogezaand, docent en onderzoeker aan de Hogeschool van Amsterdam. Door een goede samenwerking met de begeleiders heb ik mijn onderzoeksvraag kunnen formuleren en het afstudeerrapport vorm kunnen geven.

Naast de vaste begeleiders heb ik tijdens het onderzoek ook de nodige input gehad van Luc Sour, adviseur inrichting en beheer openbare ruimte, groen, dierenwelzijn en watercoördinator, en Rania Sonia, landschapsarchitect van Skygarden Care. De rekentool heeft dankzij een nauwe samenwerking met Ivo Tanis en Vincent Huijting van Buro Regen&Water gestalte gekregen.

Bij deze wil ik graag mijn begeleiders, Luc, Rania, Ivo en Vincent, bedanken voor alle hulp bij het onderzoek en bij het opstellen van het afstudeerrapport. Ook de andere mensen, die interesse en input hebben gehad voor het onderzoek, wil ik bedanken voor de tips die ik van hen heb gekregen, voor de fijne samenwerking en voor de inhoudelijke kennis die ik met hun hulp heb verkregen.

Tot slot bedank ik ook mijn familie, vrienden en kennissen voor hun interesse en steun gedurende het onderzoek, en natuurlijk voor het verbeteren van mijn rapport.

Hoang Nguyen

Amsterdam, juni 2019

SAMENVATTING

In Nederland krijgen we steeds vaker te maken met problemen door veranderingen van het klimaat. Zomers zullen warmer en droger worden, terwijl de neerslag die valt, heviger zal zijn. Op stedelijk niveau worden de problemen alsmaar groter door de toename in piekafvoer en de toename van hittestress. Een van de oorzaken is de grote hoeveelheid verhard oppervlak en bebouwing in steden, waardoor water slecht kan infiltreren en het hitte-eilandeffect toeneemt.

Door bewustwording van de toenemende problemen is het Deltaplan Ruimtelijke Adaptie tot stand gekomen. In de deltabeslissing Ruimtelijke Adaptie is als doel gesteld dat Nederland in 2050 zo goed mogelijk klimaatbestendig en waterrobuust is ingericht voor wateroverlast, droogte, hitte en overstromingen. In Amsterdam is dit streven vertaald naar de eis dat er bij een bui van 60 millimeter in één uur geen schade mag ontstaan aan woningen, winkels en vitale infrastructuur. Het huidige rioolstelsel in Amsterdam is echter gedimensioneerd op een bui van 20 millimeter in één uur. Vanwege de kosten, het ruimtegebruik en de inefficiëntie op de lange termijn, is het simpelweg vergroten van het rioolstelsel geen gewenste optie. De oplossingen dienen op het maaiveld gezocht te worden.

Amsterdam-West is een dichtbebouwd stadsdeel. De bebouwing in Oud-West is tussen 1993 en 2011 met 11% toegenomen tot de hoogste van Nederland. Door de toegenomen bebouwing heeft Amsterdam-West ook het laagste percentage openbaar groen. De hoeveelheid groen per woning is slechts 0,5 m². Het Amsterdams gemiddelde is ca. 70 m² per woning. Zulke cijfers zijn schrikbarend. De waterproblemen worden alleen maar groter als steeds meer groen en onverhard oppervlak in de tuinen verloren gaat.

Voor het onderzoek zijn de Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt en Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg gekozen als onderzoeksgebieden voor Amsterdam-West. Dit zijn gebieden met een verhoogd risico op wateroverlast bij een piekbui van 120 millimeter in twee uur. Om de wateroverlast in deze gebieden in beeld te brengen, zijn de binnenterreinen van de bouwblokken in deze knelpunten met behulp van de ontworpen rekentool onderzocht. Voor de berekeningen is uitgegaan van een piekbui van 60 millimeter in het uur omdat dit de eis is vanuit Amsterdam.

Aan de hand van de resultaten uit de rekentool zijn de mogelijke toepasbare maatregelen onderzocht op haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie voor de bewoner of eigenaar van de percelen in het bouwblok. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen, dat de beste maatregel om aan de wateropgave van 60 millimeter in het uur te kunnen voldoen, vergroten van de infiltratiecapaciteit is. Door middel van ophogen/grondverbetering of verharding verwijderen/vergroenen kan dit verwezenlijkt worden. Deze maatregelen zijn tevens haalbaar, effectief en kostenefficiënt voor de bewoner of eigenaar.

Voor de Regenwaterknelpunten 41 en 45 zijn de binnenterreinen van de bouwblokken in kaart gebracht die het kwetsbaarst zijn en is in kaart gebracht wat er nodig is om de waterproblemen die zich kunnen voordoen op te lossen. Wat uit het onderzoek en de onderzochte bouwblokken geconcludeerd kan worden, is dat het **toepassen van een maatregel erg afhankelijk is van verschillende factoren**. Tuinen en binnenterreinen zijn erg divers en alle factoren op het maaiveld of in de ondergrond hebben hun invloed op de gemaakte berekeningen. Het advies luidt dan ook voor de bouwblokken van de Regenwaterknelpunten om te voldoen aan de toekomstige piekbuien, dat **per bouwblok maatwerk geleverd moet worden** vanwege de diversiteit van de binnenterreinen. Wel kan er geconcludeerd worden dat voor Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt **meer dan 53% onverhard** en voor Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg **meer dan 67% onverhard** in het binnenterrein, een minimale vereiste is om regenbestendig te kunnen zijn.

Kortom, met dit afstudeeronderzoek is een basis gelegd voor een klimaatbestendige toekomst van Amsterdam-West en vooral voor een regenbestendige toekomst.

INHOUD

COLOFON	2
VOORWOORD	3
SAMENVATTING	4
FIGURENLIJST	7
TABELLENLIJST	7
LIJST MET AFKORTINGEN	8
BEGRIPPENLIJST	8
1 INLEIDING	9
2 ONDERZOEK	10
2.1 PROBLEEMSTELLING	10
ONDERZOEKSVRAAG	10
DEELVRAGEN:	10
2.2 ONDERZOEKSMETHODE	11
3 GEBIEDSOMSCHRIJVING	12
4 KEUZE ONDERZOEKSGEBIED	15
5 GEBIEDSANALYSE	18
5.1 WIJKTYPOLOGIEËN	18
5.2 PERCENTAGE VERHARDING/GROEN IN AMSTERDAM	19
5.3 MAAIVELDHOOGTEN	20
5.4 GRONDWATERSTANDEN	21
5.5 BODEMOPBOUW	22
5.6 BEVINDINGEN BIJ DEELNEMERS VAN HET PROJECT 'TEGELS ERUIT, GROEN ERIN!'	23
6 MOGELIJKE MAATREGELEN	24
6.1 REGENPIJP/HEMELWATERAFVOER (HWA) AFKOPPELEN (RAINPROOF, 2019)	24
6.2 ONTTGELEN/GROEN ERIN (RAINPROOF, 2019)	24
6.3 GRONDVERBETERING/OPHOGEN VAN DE TUIN	24
6.4 EXTENSIEVE GROENE DAKEN (RAINPROOF, 2019)	25
6.5 WATERDOORLATENDE/WATERPASSERENDE VERHARDING (RAINPROOF, 2019)	25
6.6 INFILTRATIEKRATTEN (RAINPROOF, 2019)	25
6.7 WADI (RAINPROOF, 2019)	25
6.8 REGENWATERINSTALLATIE (RAINPROOF, 2019)	25
6.9 REGENTON (RAINPROOF, 2019)	26
6.10 BOMEN PLANTEN	26
7 REKENTOOL (BUFFERCAPACITEIT)	27
7.1 PARAMETERS IN REKENTOOL	27
OPPERVLAKTEN BOUWBLOK (INPUT)	28
OPPERVLAKTEN VERHARD EN ONVERHARD IN HET BINNENTERREIN (BUFFER)	28
NAP-HOOGTEN (NORMAAL AMSTERDAMS PEIL) (BUFFER)	29
BODEMOPBOUW (BUFFER)	29
7.2 VOORBEELDUITWERKING MET REKENTOOL	30
GEGEVENS	31
RESULTATEN	32
MAATREGELEN REKENTOOL	33

8	KOSTEN BATEN VAN MAATREGELEN/OPLOSSINGEN	35
8.1	UITWERKINGEN MAATREGELEN	35
8.2	RESULTATEN HAALBAARHEID, EFFECTIVITEIT, KOSTENEFFICIËNTIE	40
9	RESULTATEN BOUWBLOKKEN REGENWATERKNELPUNTEN 41 EN 45	42
9.1	REGENWATERKNELPUNT 41 BELLAMYBUURT	42
9.2	REGENWATERKNELPUNT 45 ADMIRAAL DE RUIJTERWEG	45
10	CONCLUSIES EN ADVIES	48
11	DISCUSSIE EN VERDER ONDERZOEK	50
12	BRONNEN EN REFERENTIES	51

FIGURENLIJST

FIGUUR 1 AMSTERDAMSE STADSUITBREIDINGEN IN DE PERIODE 1860-1940 (GEMEENTE AMSTERDAM, 2019)	12
FIGUUR 2 WOONBLOKKEN MET BINNENTERREINEN IN OUD-WEST (GOOGLE MAPS, 2018)	12
FIGUUR 3 ONDERZOEKSGEBIED (CITY DATA AMSTERDAM, 2018)	15
FIGUUR 4 REGENWATERKNELPUNTENKAART (RAINPROOF) BIJ BUI 120 MM/2UUR, LOCATIES 'TEGELS ERUIT, GROEN ERIN!'	16
FIGUUR 5 WATERHOOGTE BIJ BUI 60 MILLIMETER IN HET UUR (AGV KLIMAATATLAS, 2018).....	17
FIGUUR 6 WIJKTYPLOGIEËN AMSTERDAM (KLIMAATEFFECTATLAS, 2018).....	18
FIGUUR 7 DE WIJKTYPLOGIE GEKOPPELD AAN EEN INDICATIEVE KWETSBAARHEID VOOR WATEROVERLAST	19
FIGUUR 8 PERCENTAGE GROEN IN AMSTERDAM (KLIMAATEFFECTATLAS, 2018)	19
FIGUUR 9 PERCENTAGE VERHARDING IN AMSTERDAM (KLIMAATEFFECTATLAS, 2018).....	19
FIGUUR 10 MAAVELDHOOGTEN REGENWATERKNELPUNT 45 (LINKS), REGENWATERKNELPUNT 41 (RECHTS)	20
FIGUUR 11 BEPALING MAAVELDHOOGTE BINNENTUIN (ESRI NEDERLAND, 2019).....	20
FIGUUR 12 BESCHIKBARE PEILBUIZEN VAN WATERNET VOOR REGENWATERKNELPUNT 45 EN REGENWATERKNELPUNT 41	21
FIGUUR 13 MEETGEGEVENS PEILBUIJS BESCHIKBAAR GESTELD DOOR WATERNET (WATERNET, 2019)	21
FIGUUR 14 BOORMONSTERPROFIEL DINO-LOKET AAN DE ADMIRAAL DE RUIJTERWEG (DINOLOKET, 2019).....	22
FIGUUR 15 DIKTEN VAN HET OPHOOGZAND IN AMSTERDAM (GANS, 2011)	23
FIGUUR 16 SCHEMATISCHE WERKING WATERBALANS.....	27
FIGUUR 17 SCHEMATISCHE WERKING WATERBALANS MET PARAMETERS	28
FIGUUR 18 OVERZICHT BINNENTERREIN VERHARD EN ONVERHARD (GOOGLE MAPS, 2019)	29
FIGUUR 19 BOUWBLOK 1 BEBOUWING EN BINNENTERREIN (AUTOCAD INFRACAD MAP)	30
FIGUUR 20 OVERZICHT BENODIGDE DATA VOOR REKENTOOL	31
FIGUUR 21 SCHEMATISCHE WEERGAVE WATERBALANS MET GEGEVENS BOUWBLOK 1	32
FIGUUR 22 MOGELIJKHEDEN IN REKENTOOL M.B.T. DE BODEMOPBOUW.....	32
FIGUUR 23 OPTIES IN REKENTOOL EN RESULTATEN.....	33
FIGUUR 24 NUMMERING BOUWBLOKKEN REGENWATERKNELPUNT 41 BELLAMYBUURT	42
FIGUUR 25 OVERZICHT REGENBESTENDIGHEID VAN DE BOUWBLOKKEN REGENWATERKNELPUNT 41 BIJ BUI VAN 60 MM/U	43
FIGUUR 26 OVERZICHT PERCENTAGES ONVERHARD BOUWBLOKKEN IN REGENBESTENDIGE SITUATIE.	44
FIGUUR 27 OVERZICHT HOOGTEN INFILTRATIELAAG BOUWBLOKKEN IN REGENBESTENDIGE SITUATIE.	44
FIGUUR 28 NUMMERING BOUWBLOKKEN REGENWATERKNELPUNT 45 ADMIRAAL DE RUIJTERWEG	45
FIGUUR 29 OVERZICHT REGENBESTENDIGHEID VAN DE BOUWBLOKKEN REGENWATERKNELPUNT 45 BIJ BUI VAN 60 MM/U	46
FIGUUR 30 OVERZICHT PERCENTAGES ONVERHARD BOUWBLOKKEN IN REGENBESTENDIGE SITUATIE.	47
FIGUUR 31 OVERZICHT HOOGTEN INFILTRATIELAAG BOUWBLOKKEN IN REGENBESTENDIGE SITUATIE.	47

TABELLENLIJST

TABEL 1 BEVOLKINGSDICHTHEID PER STADSDEEL AMSTERDAM 2018. (IOS GEMEENTE AMSTERDAM, 2018).....	13
TABEL 2 WONINGVOORRAAD PER STADSDEEL (IOS GEMEENTE AMSTERDAM, 2018)	13
TABEL 3 BODEMGEBRUIK PER STADSDEEL AMSTERDAM (IOS GEMEENTE AMSTERDAM, 2018)	13
TABEL 4 TE BEHALEN WINST BIJ TOEPASSING VAN MAATREGEL 1.....	33
TABEL 5 TE BEHALEN WINST BIJ TOEPASSING VAN MAATREGEL 2.....	34
TABEL 6 WATERVOLUMEN BOUWBLOK 1 (REKENTOOL)	34
TABEL 7 BENODIGDE HOEVEELHEDEN VOOR RAINPROOF BIJ BUI 60 MM/U.....	34
TABEL 8 OVERZICHT KOSTEN EN BUFFERCAPACITEIT VAN ONDERZOCHE MAATREGELN.....	35
TABEL 9 KOSTEN PLANTEN VAN BOMEN (WERKSPOT, 2019)	37
TABEL 10 KOSTEN REGENWATERINSTALLATIE (GEP) (MACKEN, 2017).....	39
TABEL 11 RESULTATEN AAN DE HAND VAN UITWERKINGEN MAATREGELN.....	40
TABEL 12 RESULTATEN REGENWATERKNELPUNT 41 (BELLAMYBUURT).....	43
TABEL 13 RESULTATEN REGENWATERKNELPUNT 45 ADMIRAAL DE RUIJTERWEG	45

LIJST MET AFKORTINGEN

Afkorting:	Uitgeschreven:
AGV	Amstel, Gooi en Vecht
AHN	Algemeen Hoogtebestand Nederland
BGT	Basisregistratie Grootchalige Topografie
DINO	Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond
GIS	Geografisch Informatiesysteem
GRPA	Gemeentelijk Rioleringsplan Amsterdam
HWA	Hemelwaterafvoer
NAP	Normaal Amsterdams Peil
OIS	Onderzoek, Informatie en Statistiek

BEGRIPPENLIJST

Afkorting:	Uitgeschreven:
3DI	Een interactief en integraal modelinstrumentarium voor hoge resolutie waterberekeningen. (Voor meer informatie: Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie.)
Deltaplan Ruimtelijke adaptatie	Een gezamenlijk plan van gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk. Het Deltaplan versnelt en intensiveert de aanpak van wateroverlast, hittestress, droogte en de gevolgen van overstromingen.
G31	31 grootste gemeenten in Nederland.
Hitte-eilandeffect	Urban Heat Island effect (UHI) is het fenomeen dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijk gebied.
Infiltratie	Water dat in de bodem dringt en in de onverzadigde zone van de bodem komt.
Infiltratiecapaciteit	De maximale waarde van de hoeveelheid water die per tijdseenheid in de bodem weg kan zakken bij een gegeven omstandigheid.
Kostenefficiëntie	Een maat voor het evenwicht tussen de effectiviteit en de kosten van een dienst, proces of activiteit. Een kostenefficiënt proces is een proces dat zijn doelstellingen realiseert met minimale kosten.
K-waarde	De waterdoorlatendheid van de bodem.
Peilbuis	Buis waarmee men de grondwaterstand meet.
Piekafvoer	Een grote hoeveelheid water dat in een relatief korte tijd moet worden afgevoerd.
Piekbui	Kortdurende intensieve neerslag.
Porositeit	Porositeit of poreusheid is de aanwezigheid van kleine openingen (poriën) in een materiaal.
Regenwaterknelpunt	Een (deel van een) straat of buurt met een (sterk) verhoogde kans op overlast en schade bij extreme neerslag.
Waterbalans	De balans tussen de opname en afgifte van water.
Waterbuffercapaciteit	Hoeveelheid water dat geborgen kan worden.
Wijktypologie	Een typering van wijken aan de hand van kenmerken.

1 INLEIDING

Klimaatverandering is wereldwijd en in toenemende mate een groot probleem. In Nederland is klimaatverandering waarneembaar door zeespiegelstijging, opwarming van de atmosfeer en de toename van weersextremen. Zomers zullen droger en warmer worden, terwijl de neerslag die valt, heviger zal zijn. De winters worden naar verwachting zachter en natter. Klimaatverandering is in principe een natuurlijk proces, waar de mens van oudsher in toenemende mate een rol heeft gespeeld. Vanaf 1950 is het effect van de mens op klimaatverandering echter groter geweest dan natuurlijke effecten. Op stedelijk niveau zijn de belangrijkste problemen de toename in piekafvoer en de toename van hittestress. Een andere oorzaak hiervan is de grote hoeveelheid verhard oppervlak in steden, waardoor water slecht kan infiltreren en hitte wordt verergerd en bovendien langer blijft hangen.

Uit onderzoeken door Waternet, dat is uitgevoerd op het gebied van wateroverlast, is gebleken dat Amsterdam kwetsbaar is voor extreme buien (AGV Klimaatatlas, 2018) (Rainproof, 2019). De hoosbui van 28 juli 2014 toonde aan dat Amsterdam hier kwetsbaar voor is. In het Deltaplan Ruimtelijke adaptatie, dat op 19 september 2017 (Prinsjesdag) is gepubliceerd, is aangegeven dat Nederland in 2050 klimaatbestendig dient te zijn (Deltacommissie, 2018). In Amsterdam is de eis van de Deltacommissie vertaald naar de eis dat er bij een bui van 60 millimeter in één uur geen schade mag zijn in en aan huizen en winkels, en dat hoofdwegen begaanbaar blijven (Waternet, 2015). In de meeste wijken in Amsterdam zijn het huidige rioolstelsel en de openbare ruimte echter nog niet berekend op deze hoeveelheid water. Om de wijken in heel Amsterdam in te richten op deze eis hebben Waternet en de gemeente Amsterdam gezamenlijk het initiatief Amsterdam Rainproof gestart. Amsterdam Rainproof is bedoeld als initiatief waaraan elke inwoner, ontwikkelaar en ontwerper van Amsterdam kan meedoen. Doordat bewoners hun eigen huis en/of tuin Rainproof maken, wordt de klimaatbestendigheid (sponswerking) van de stad vergroot.

Versteende tuinen in steden vergroten de wateroverlast, hittestress en droogte. Vergroening ('ontstenen') en klimaatbestendig herinrichten van tuinen en daken is een oplossing. Stadsdeel Amsterdam West is samen met Amsterdam Rainproof een pilot gestart voor het klimaatbestendig maken van de privé-tuinen, met name de kwetsbare binnentuinen binnen de ring A10. Stadsdeel West startte in 2018 met de 'Tegels eruit, groen erin!'-challenge. Bewoners, ondernemers en corporaties in het bezit van een tuin worden uitgedaagd zoveel mogelijk tegels uit hun tuin te halen en groen terug te plaatsen. Het doel was om in een jaar 10.000 tegels te vervangen door groen om West zo meer klimaatbestendig te maken. Stadsdeel West is opdrachtgever van het project, Amsterdam Rainproof projectpartner, Bureau Binnentuinen is de uitvoerende partij en Skygarden Care, Rooftop Revolution en Buro Regen&Water zijn partners.

Het doel van mijn afstudeeronderzoek is om een advies te geven voor de waterhuishouding om de risico's van wateroverlast in de vooroorlogse binnenstedelijke tuinen in Amsterdam-West te verkleinen. Dit advies is vertaald met behulp van een waterbalans, die is opgesteld uit een aantal standaardparameters waarmee maatregelen voor verbetering kunnen worden geadviseerd. Hieruit kan opgemaakt worden hoe regenbestendig de binnenterreinen zijn en waar nog ruimte voor verbetering is in de toekomst.

Door de verschillende bouwblokken, die zich in een kwetsbaar gebied bevinden, te onderzoeken, kan bepaald worden welke maatregelen effectief zijn voor het tegengaan van wateroverlast. Per maatregel is gekeken naar de effectiviteit, haalbaarheid en kostenefficiëntie. In de context van het project 'Tegels eruit, groen erin!' is het voor de bewoners/eigenaren van de binnenterreinen van belang dat de maatregelen laagdrempelig zijn en makkelijk uitvoerbaar, waarbij liefst geen vereiste van deskundigheid nodig is.

2 ONDERZOEK

2.1 PROBLEEMSTELLING

Uit de mate van verstedelijking blijkt dat de binnenterreinen jarenlang dichtgeslibd zijn met illegale bouwwerken en het verharderen van de tuinen. Dit heeft dit zeer negatieve gevolgen voor het groen en blauw in de stad. Het inzicht groeit dat klimaatbestendige binnenterreinen ook maatschappelijk steeds belangrijker worden. Versteende binnenterreinen in steden vergroten de wateroverlast, hittestress en droogte. Onaangenaam warm weer kan betekenen dat steeds meer huishoudens, winkels en bedrijven kiezen voor airco. Dat heeft een fors energieverbruik en daarmee een CO₂-last die het klimaateffect versterkt. Daarnaast stijgt zonder groen de temperatuur ook al snel een aantal graden in de stad en kan de productiviteit van mensen beïnvloed worden. Door de huidige klimaatverandering zullen deze problemen alleen maar groter worden. Door de verandering in het klimaat komen ook meer en intensievere buien in Nederland. Zomer 2018 heeft iedereen goed de hitte en droogte kunnen ervaren die klimaatverandering met zich meebrengt. Om deze problemen aan te kunnen pakken dienen naast openbare ruimte ook private tuinen en binnenterreinen klimaatbestendig heringericht te worden.

Na zelf een gebiedsanalyse van Amsterdam-West uitgevoerd te hebben, komen twee gebieden in Amsterdam-West naar voren die te kampen hebben met grote kwetsbaarheid voor wateroverlast. Met name de binnenterreinen van de bouwblokken in deze gebieden hebben een verhoogd risico op wateroverlast. Dit zijn Regenwaterknelpunten 41 Bellamybuurt en 45 Admiraal de Ruijterweg. Deze twee Regenwaterknelpunten zijn gekozen als onderzoeksgebieden voor het afstudeeronderzoek. De vraag die centraal staat, is wat aan de bouwblokken in deze gebieden gedaan kan worden om deze regenbestendig te maken. De maatregelen dienen niet alleen het probleem op te lossen, maar ook effectief, haalbaar en kostenefficiënt te zijn.

ONDERZOEKSVRAAG

Welke maatregelen zijn effectief voor het tegengaan van wateroverlast en zijn tevens kostenefficiënt voor de Regenwaterknelpunten 41 (Bellamybuurt) en 45 (Admiraal de Ruijterweg) binnen Amsterdam-West?

DEELVRAGEN:

Algemeen

1. *Wat is het onderzoeksgebied? Welke gebieden in Amsterdam-West zijn kwetsbaar voor wateroverlast?*
2. *Welke typen binnenterreinen kunnen we onderscheiden in het onderzoeksgebied? Welke waterproblemen ondervinden deze typen?*

Data (gegevens verzamelen)

3. *Wat zijn de grondwaterstanden van de binnenterreinen?*
4. *Is er sprake van wateroverlast of ook van onderlast?*
5. *Op welke (NAP)-hoogten liggen de binnenterreinen?*
6. *Hoe is de bodemopbouw van de binnenterreinen?*
7. *Hoe is de ondergrondse afvoer van de binnenterreinen?*
8. *Hoe is de bodembedekking van de desbetreffende binnenterreinen en hoe is de verhouding tussen deze parameters?*
9. *Wat is de waterbergingscapaciteit van het binnenterrein?*
10. *Hoeveel is de (maximale) wateraanvoer op het binnenterrein bij de gekozen piekbuien?*

Tool (kosten/baten)

11. *Welke waterverbetermaatregelen zijn er, en welke zijn toepasbaar op de binnenterreinen?*
12. *Wat is de effectiviteit van de genomen maatregel? Hoeveel meer waterberging?*
13. *Wat zijn de kosten van de maatregelen?*
14. *Wat levert de maatregel op? (baten)*

2.2 ONDERZOEKSMETHODE

Voor een goede beeldvorming van de waterproblematiek in Amsterdam-West is voorafgaand literatuur verzameld en bestudeerd. Aan de hand van beschikbare literatuur en kaarten is het gekozen onderzoeksgebied geanalyseerd op het gebied van groen, bebouwing en mogelijke waterproblematiek. (*Deelvragen 1 en 2*)

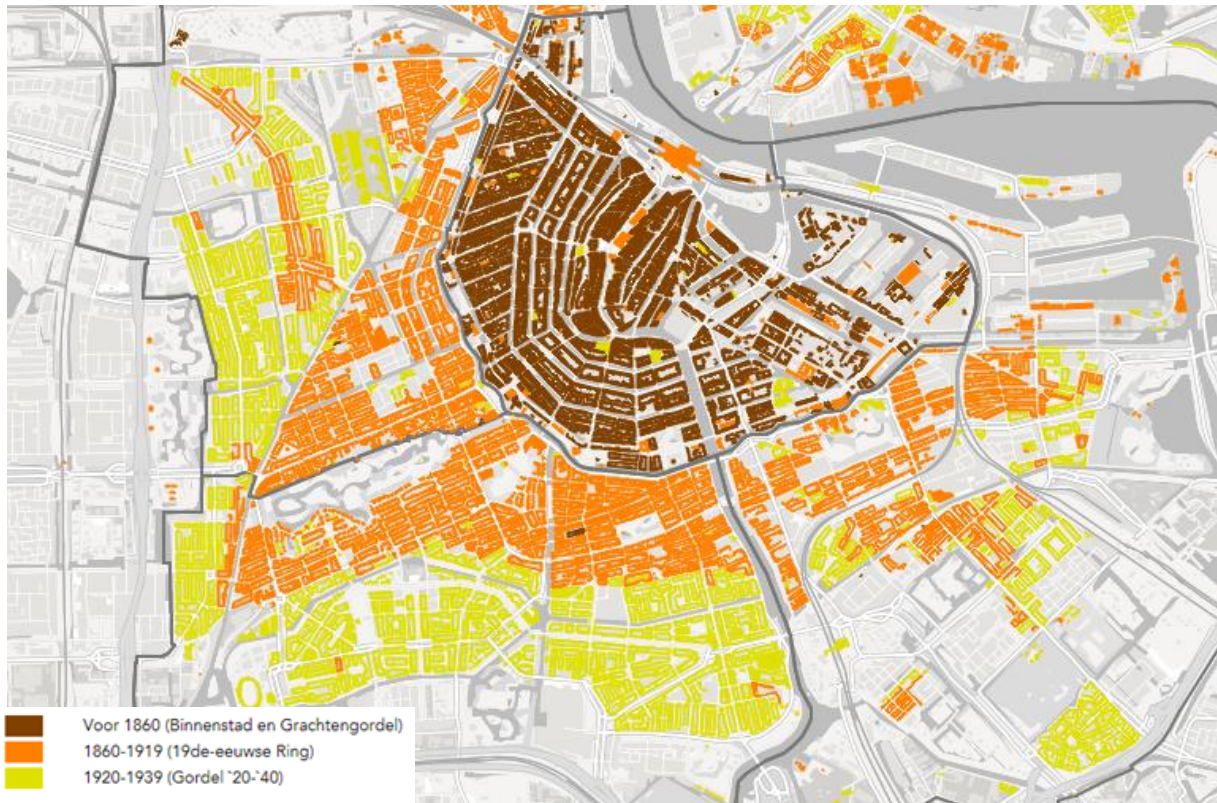
Wat centraal staat in dit onderzoek, zijn de toepasbare maatregelen, getoetst op effectiviteit, haalbaarheid en kostenefficiëntie om een binnenterrein regenbestendig te maken voor de toekomst. Deze toetsing is gedaan door een rekentool te maken die kan berekenen hoeveel wateroverlast aanwezig is in de bouwblokken en welke parameters daarbij van belang zijn. (*Deelvraag 9 t/m 14*)

Om dit goed te kunnen toetsen, moeten wel genoeg data voorhanden zijn. Aan de hand van beschikbare data zijn de belangrijkste parameters gekozen en verwerkt in de rekentool. De eerste set data is verzameld door het bezoeken van verschillende tuinen, die aan het project 'Tegels eruit, groen erin!' meedoen. Naast de verkregen data van de tuinbezoeken zijn daarna data verzameld vanuit online bronnen. Data van de online bronnen zijn eerst vergeleken met de data die in praktijk verzameld zijn om de betrouwbaarheid van de online bronnen te waarborgen. (*Deelvraag 3 t/m 8*)

Om de opgestelde deelvragen te kunnen beantwoorden is het vooral van belang dat verkregen data betrouwbaar en representatief zijn voor het onderzoeksgebied. Met de resultaten die daarna volgen uit de rekentool kan antwoord gegeven worden op de onderzoeksvraag.

3 GEBIEDSOMSCHRIJVING

Het overgrote gedeelte van de Amsterdamse woonblokken dat tussen 1877 en 1940 is gebouwd in de 19^e-eeuwse ring en de Gordel '20-'40 zijn bouwblokken rondom een binnenterrein. In Figuur 1 wordt de omvang van deze uitbreidingen weergegeven. In Figuur 2 zijn stedelijke bouwblokken met binnenterreinen te zien.



Figuur 1 Amsterdamse stadsuitbreidingen in de periode 1860-1940 (Gemeente Amsterdam, 2019)



Figuur 2 Woonblokken met binnenterreinen in Oud-West (Google Maps, 2018)

In Tabel 1 is te zien dat Amsterdam-West is een dichtbebouwd stadsdeel met meer dan 15.000 mensen per vierkante kilometer. De bebouwing in Oud-West is tussen 1993 en 2011 met 11% toegenomen tot het hoogste van Nederland. Daarnaast heeft West, met een woningvoorraad van 78.209 (Tabel 2) en maar twee ha. aan bos en natuurlijk terrein, ook het laagste percentage openbaar groen (<1%) (Tabel 3) van Amsterdam en omgerekend na Centrum de laagste hoeveelheid groen per woning, slechts 0,5 m² per woning. Het Amsterdams gemiddelde is ca. 70 m² groen per woning (Grafiek 1). Zulke cijfers zijn schrikbarend met de huidige klimaatverandering in het verschiet. De aanwezige waterproblemen in Amsterdam-West worden alleen maar groter als de verstedelijking zo doorgaat en steeds meer groen en onverhard oppervlak (tuin) verloren gaat.

stadsdeel	oppervlakte (km ²) 1)		oppervlakte stadsdeel in % totale opp.	bevolkingsdichtheid per km ² land	woningdichtheid per km ² land
	totaal	land			
A Centrum	8.04	6.28	3,7	13830	8640
B Westpoort	28.99	20.13	13,2	10	2
E West	10.63	9.45	4,8	15260	8276
F Nieuw-West	38.02	33.88	17,3	4598	1982
K Zuid	17.27	15.45	7,9	9421	5194
M Oost	30.60	17.79	13,9	7726	3862
N Noord	63.83	41.75	29,1	2306	1036
T Zuidoost	22.11	20.00	10,1	4400	2039
Amsterdam	219.49	164.73	100	5186	2626

Tabel 1 Bevolkingsdichtheid per stadsdeel Amsterdam 2018. (IOS Gemeente Amsterdam, 2018)

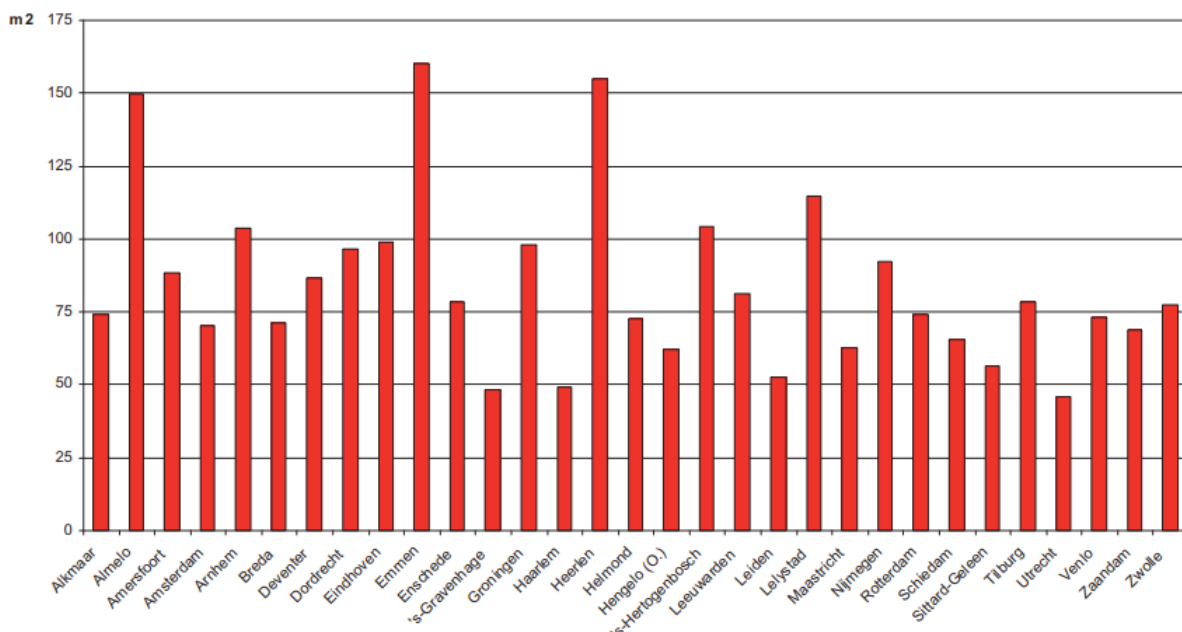
stadsdeel	woningvoorraad	woningdichtheid per km ² land
A Centrum	54260	8640
B Westpoort	35	2
E West	78209	8276
F Nieuw-West	67155	1982
K Zuid	80243	5194
M Oost	68700	3862
N Noord	43245	1036
T Zuidoost	40785	2039
Amsterdam	432632	2626

Tabel 2 Woningvoorraad per stadsdeel (IOS Gemeente Amsterdam, 2018)

Bodemgebruik	A Centrum	B Westpoort	E West	F Nieuw-West	K Zuid	M Oost	N Noord	T Zuidoost	
verkeesterrein	61	164	118	414	165	249	279	224	
bebouwd terrein	523	1295	647	1490	993	864	1074	984	
semi-bebouwd terrein	14	459	50	192	66	209	133	99	
recreatieterrein	31	63	126	699	261	367	473	547	
agrarisch terrein	0	10	3	347	31	65	1987	112	
bos en natuurlijk terrein	0	23	2	246	30	25	229	35	
binnenwater	176	886	118	414	182	1281	2208	211	
totaal-generaal	804	2899	1063	3802	1727	3060	6383	2211	21950
	4%	13%	5%	17%	8%	14%	29%	10%	100%

Tabel 3 Bodemgebruik per stadsdeel Amsterdam (IOS Gemeente Amsterdam, 2018)

bureau binnentuinen



Grafiek 1 De gemiddelde hoeveelheid m² groen per woning in de G31 steden (Visschedijk P.A.M., 2009)

4 KEUZE ONDERZOEKSGBIED

In eerste instantie werd heel Amsterdam als onderzoeksgebied gezien voor het afstudeeronderzoek. Dit bleek al snel te ambitieus omdat het verzamelen van gedetailleerde data van zo een groot gebied een te grote opgave is en tevens de benodigde data niet voor handen waren. Om toch specifiek en gericht data te kunnen verzamelen voor het onderzoek is ervoor gekozen om de specifieke binnenterreinen binnen ring A10 (geel gestippeld) te onderzoeken (Figuur 3), met name Amsterdam-West (rood). Gezien de hierboven beschreven problematiek, toename van bebouwing en een gering hoeveelheid groen per woning, is Amsterdam-West, een gebied waar het nodige gedaan moet worden om zich te weren tegen het veranderende klimaat.



Figuur 3 Onderzoeksgebied (City Data Amsterdam, 2018)

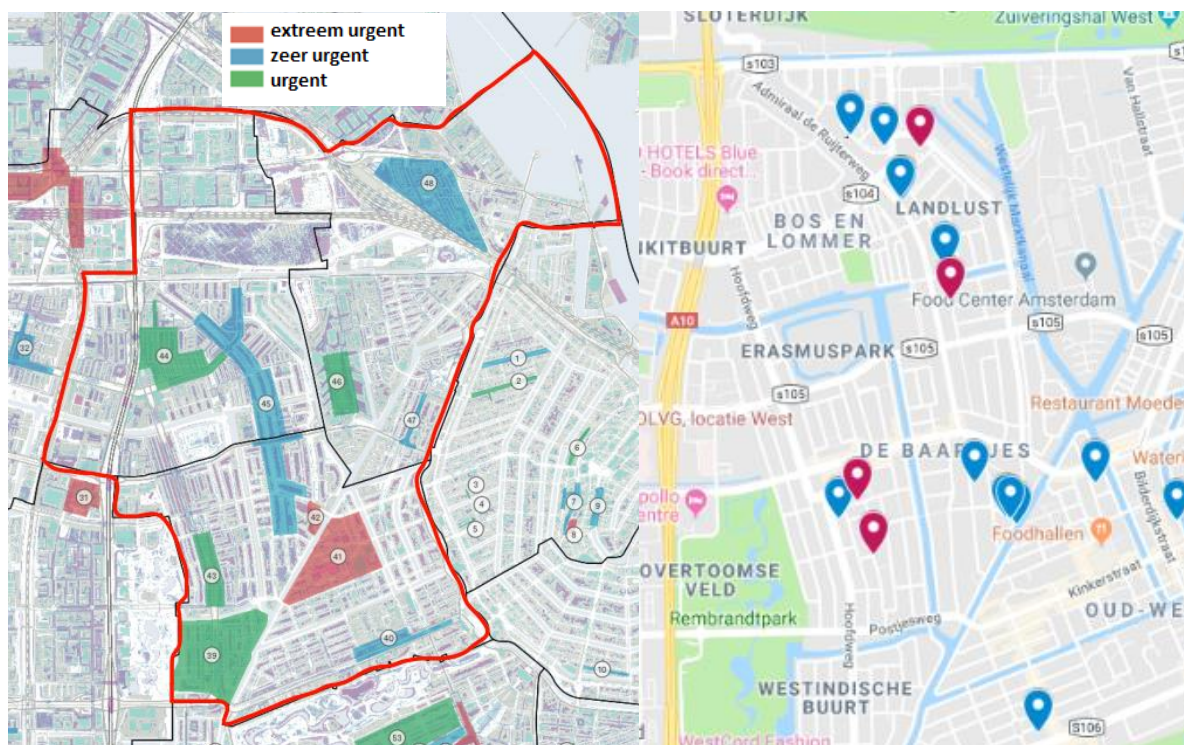
Om het onderzoeksgebied beter af te kunnen bakenen is gekozen om het onderzoek te beperken tot de gebieden Oud-West, De Baarsjes en Bos en Lommer in Amsterdam-West. Daarna is gekeken naar de Regenwaterknelpuntenkaart van Rainproof (BIJLAGE I: Rainproof Regenwaterknelpuntenkaart), waar de grootste problemen kunnen voorkomen in Amsterdam-West. Deze kaart laat zien waar er verhoogde kans is op wateroverlast en schade (knelpunten) als het extreem hard regent, op deze kaart bij een bui van 120 millimeter in twee uur tijd. Een regenwaterknelpunt is een (deel van een) straat of buurt met een (sterk) verhoogde kans

op overlast en schade bij extreme neerslag. De knelpunten zijn door Waternet/Rainproof opgesteld op basis van het 3Di-model, aanvullende GIS-analyses en expert judgement. De knelpunten variëren in ernst en grootte.

In de Regenwaterknelpuntenkaart van Rainproof is aangenomen, dat alle binnentuinen (binnenterreinen) in afgesloten woonblokken (bouwblokken) niet zijn aangesloten op het rioolstelsel. Uit ervaring van Bureau Binnentuinen blijkt echter, dat veel uit- en aanbouwen in de binnenterreinen wel op het riool zijn aangesloten. Bovendien worden in deze Regenwaterknelpuntenkaart AHN2-gegevens uit 2010 gebruikt, waardoor veel (vergunningvrije) bouwwerken in de tuin tussen 2010 en 2019 nog niet zijn opgenomen. De Regenwaterknelpuntenkaart van Rainproof kan daardoor een iets vertekend beeld geven, maar voor de keuze van het onderzoeksgebied maakt dit niet uit (Rainproof, 2018).

In de gekozen gebieden Oud-West, De Baarsjes en Bos en Lommer vallen twee regenwaterknelpunten op. Een extreem urgent Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt en een zeer urgent Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg. Regenwaterknelpunt 41 is interessant als onderzoeksgebied omdat dit een extreem urgent gebied is waar al veel onderzoek naar is gedaan, waardoor betrouwbare data beter te vinden zijn. Het zeer urgent Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg is eveneens interessant voor het onderzoek, mede ook omdat eigenaren die deelnemen aan het project 'Tegels eruit, groen erin!' zich in dit gebied bevinden (Figuur 4).

De rode vlekken geven extreem urgente plekken aan waarbij kans is op ernstige schade aan vastgoed, vitale infrastructuur, ziekenhuizen en musea en ontwijking van de bereikbaarheid door water. Dit is bij meer dan 30 centimeter water op het hoofdnet van verkeer. De blauwe vlekken geven zeer urgente plekken aan waarbij kans op schade aan vastgoed is en ernstige verkeershinder. Bij de urgente groene vlekken is er vooral kans op schade aan vastgoed.

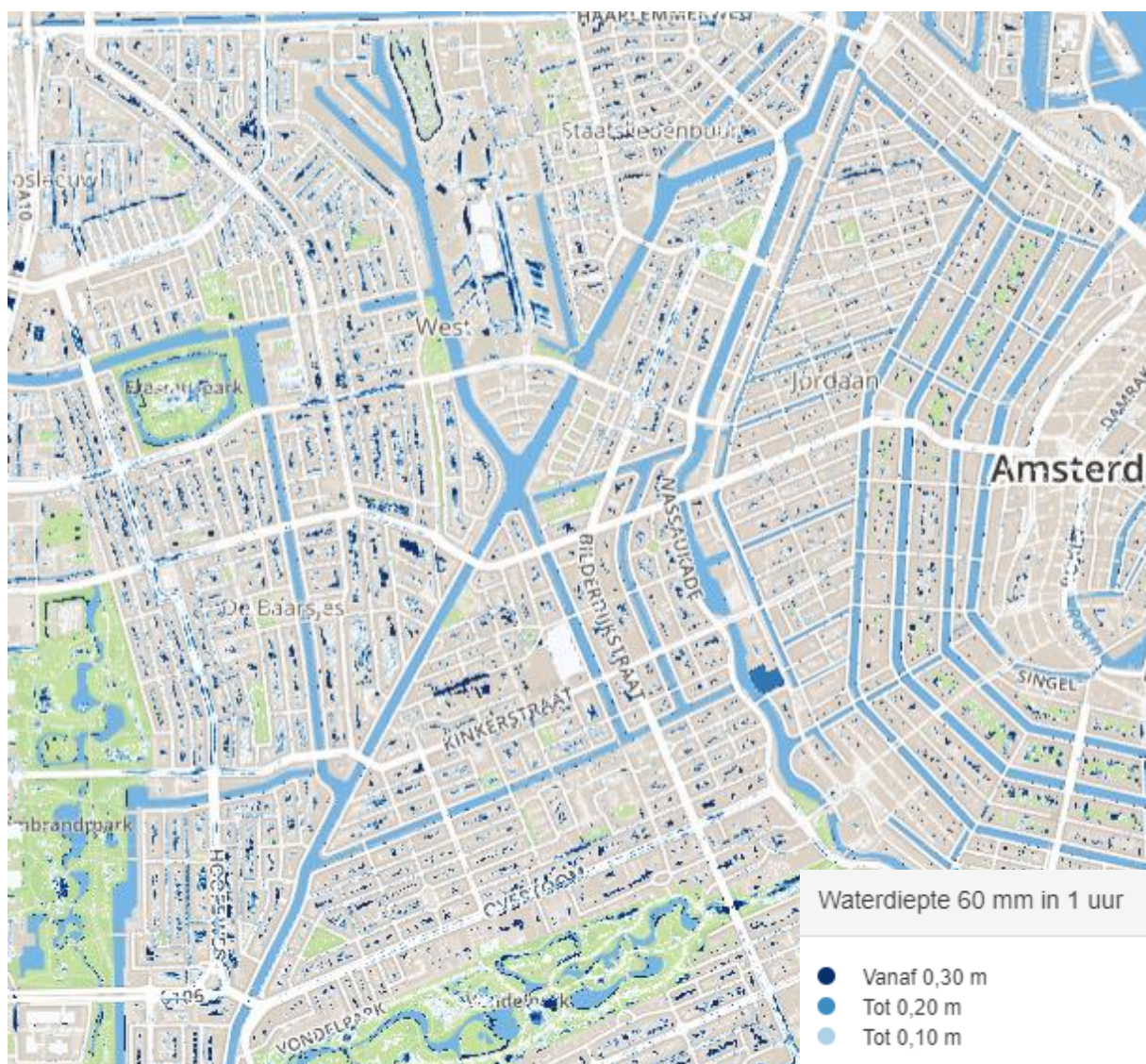


Figuur 4 Regenwaterknelpuntenkaart (Rainproof) bij Bui 120 mm/2uur (links), Locaties 'Tegels eruit, groen erin!' (rechts)

Dit maakt het verzamelen van betrouwbare data voor Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg een stuk makkelijker. Verzamelen van data is in de praktijk vaak betrouwbaarder dan aannames op basis van gegevens die online beschikbaar zijn. Met de deelnemers van het project zijn afspraken gemaakt voor een kennismaking en een opname van de tuin. Bij de opname zijn de problemen besproken, oppervlakten en hoogten bepaald en is een handboring gedaan ten behoeve van de bodemopbouw van de desbetreffende tuin en het grondwaterpeil.

Om een beeld te kunnen vormen betreffende de waterhuishouding van deze tuinen is de eigenlijke rekentool tot stand gekomen. Aan de hand van de verkregen data bij de tuinbezoeken, die verwerkt zijn in Regenwaterplannen met Buro Regen&Water (BIJLAGE II), is bepaald welke parameters meetbaar en van belang zijn voor de rekentool. Gedurende het onderzoek is de rekentool geoptimaliseerd tot in zijn huidige vorm.

Niet alleen de gekleurde vlekken in de stad van de Regenwaterknelpuntenkaart zijn vatbaar voor wateroverlast en schade, maar veel meer plekken in de stad hebben kans hierop. De potentiële wateraccumulatie bij een bui van 60 millimeter in het uur geeft al op veel plekken wateroverlast. In Figuur 5 is als voorbeeld ingezoomd op de Baarsjes en Oud-West om te laten zien op welke plekken het water zich voornamelijk ophoopt bij een bui van 60 millimeter in het uur. Veel van de binnenterreinen van de bouwblokken krijgen te maken met veel water zoals op het plaatje te zien is. De blauwe vlekken geven aan dat er sprake is van wateroverlast en hoe donkerder de kleur, hoe meer water aanwezig is. Donkerblauw geeft een waterhoogte van tot wel 30 centimeter aan.

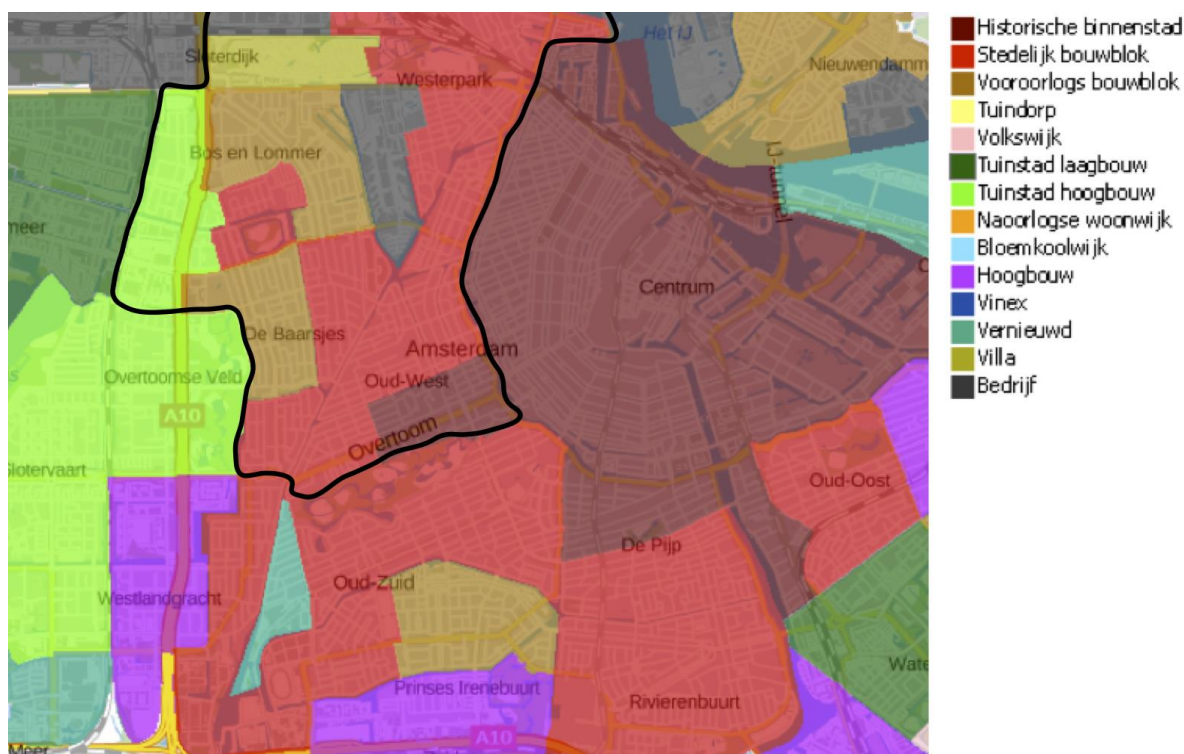


Figuur 5 Waterhoogte bij Bui 60 millimeter in het uur (AGV Klimaatatlas, 2018)

5 GEBIEDSANALYSE

Het onderzoek beperkt zich tot Amsterdam-West en dan met name de gebieden Oud-West, De Baarsjes en Bos en Lommer. Het onderzoeksgebied, met de twee gekozen Regenwaterknelpunten 41 Bellamybuurt en 45 Admiraal de Ruijterweg, bevindt zich in deze drie gebieden. De gebiedsanalyse dient voor de classificatie van de typen tuinen/binnenterreinen die zich in dit onderzoeksgebied bevinden en het verzamelen van data in het onderzoeksgebied. De analyse van het onderzoeksgebied gebeurt aan de hand van gevonden kaarten waarin de Regenwaterknelpunten zich bevinden.

5.1 WIJKTYPOLOGIEËN



Figuur 6 Wijktypologieën Amsterdam (Klimaat-effectatlas, 2018)

Om de verschillende typen tuinen/binnenterreinen vast te kunnen stellen is gekeken naar de verschillende wijktypologieën in Amsterdam-West, zie Figuur 6. Wat meteen opvalt, is dat het grotendeels stedelijke bouwblokken zijn. Daarnaast is te zien dat in De Baarsjes en Bos en Lommer het overgrote deel vooroorlogse bouwblokken zijn en in Oud-West voornamelijk stedelijke bouwblokken.

Na de opnames van de tuinen bij de deelnemers bleek dat het moeilijk is om een specifiek type tuin/binnenterrein te koppelen aan een bepaalde wijktypologie of een bepaald gebied. Tuinen in dezelfde wijk of naast elkaar gelegen kunnen al heel erg verschillend zijn. Verschil in oppervlakten en ook verschil in hoogten. Door de diversiteit van de tuinen is het moeilijk om een specifiek type tuin of binnenterrein te typeren met eenduidige kenmerken. Uit de inventarisaties en Regenwaterplannen (BIJLAGE II) van de deelnemers van het project 'Tegels eruit, groen erin!' kan geconcludeerd worden dat per tuin maatwerk geprefereerd wordt, mede door de diversiteit van de tuinen in de bouwblokken.

In Figuur 7 staan de kenmerken, bouwperiode en indicatieve kwetsbaarheid voor wateroverlast van de verschillende wijktypologieën beschreven. Als men kijkt naar de dominante wijktypologieën in West, blijkt dat deze te maken hebben met een hoge mate van kwetsbaarheid voor wateroverlast.

	DOMINANTE WIJKTYPOLOGIE	BOUWPERIODE	KENMERKEN	INDICATIEVE KWETSBAARHEID WATEROVERLAST
	Historische binnenstad	voor 1900	veel verharding, 3-5 lagen, monumentaal groen	☹☹☹
	Stedelijk bouwblok	voor 1940	geen voortuin of groenstrook, 4-8 lagen	☹☹☹
	Vooroorlogs bouwblok	1900-1940	niet altijd voortuin, 3-4 lagen, bredere straten dan stedelijk bouwblok en soms groenstrook	☹☹☹
	Tuindorp	1910-1940	ruime voor- en achtertuinen, 2-3 lagen, veel langsparkeren, jaren 30-bouwstijl, beperkt gemeentelijk groen, vaak geen straatbomen	☹☹☹
	Volkswijk	1910-1940	geen voortuin, weinig gemeentelijk groen, 2-3 lagen, eengezinswoningen	☹☹
	Tuinstad laagbouw	1945-1960	open bouwblokken met veel groen, 2-3 lagen, eengezinswoningen	☹☹
	Tuinstad hoogbouw	1945-1970	open bouwblokken met veel groen, 4-6 lagen, appartementen, berging op begane grond	☹☹
	Naoorlogse woonwijk	1945-1990	voor- en achtertuin, 2-3 lagen, eengezinswoningen in rij, Zonder1 kap of vrijstaand	☹☹
	Bloemkoolwijk	1970-1990	eengezinswoningen met voor- en achtertuin, kronkelende stratenpatronen, hofjes, brede groenstrook rondom de wijk	☹
	Hoogbouw	1945-heden	meer dan 10 lagen, gebouwen in grid	☹☹
	Sub-urbane uitbreiding – Vinex	1990-heden	eengezinswoningen in rij, twee onder een kap, vrijstaand, appartementen	☹
	Vernieuwd	1990-heden	Vernieuwing bestaande bouw, veelal hoge dichtheden	☹
	Villa	Van alle tijden	Veel ruimte tussen woningen, losstaande huizen	☹
	Bedrijven	Van alle tijden	Bedrijvigheid	☹

Figuur 7 De wijktypologie gekoppeld aan een indicatieve kwetsbaarheid voor wateroverlast (Koekoek, Kluck, & Kleerekoper, 2018)

Wat opvalt aan de drie verschillende wijktypen in het onderzoeksgebied Oud-West, De Baarsjes en Bos en Lommer is dat deze allemaal veel verharding kennen en daardoor een hoge kwetsbaarheid hebben voor wateroverlast. Wat betreft de wijktypologieën zijn de gekozen onderzoeksgebieden (Regenwaterknelpunten 41 en 45) goede voorbeelden van binnentuinen met een grote kwetsbaarheid voor wateroverlast.

5.2 PERCENTAGE VERHARDING/GROEN IN AMSTERDAM

Wat in Figuur 7 is aangegeven, is ook helemaal niet vreemd, gezien Figuur 8 en 9, waar het percentage verharding en groen van de verschillende wijken in kaart zijn gebracht. In het onderzoeksgebied komt het percentage groen niet boven de 40%. Dat wil zeggen dat 60% of meer verhard is, dit zijn extreem hoge percentages die alleen maar zullen stijgen als de verdergaande verstening van de binnentuinen niet wordt aangepakt.



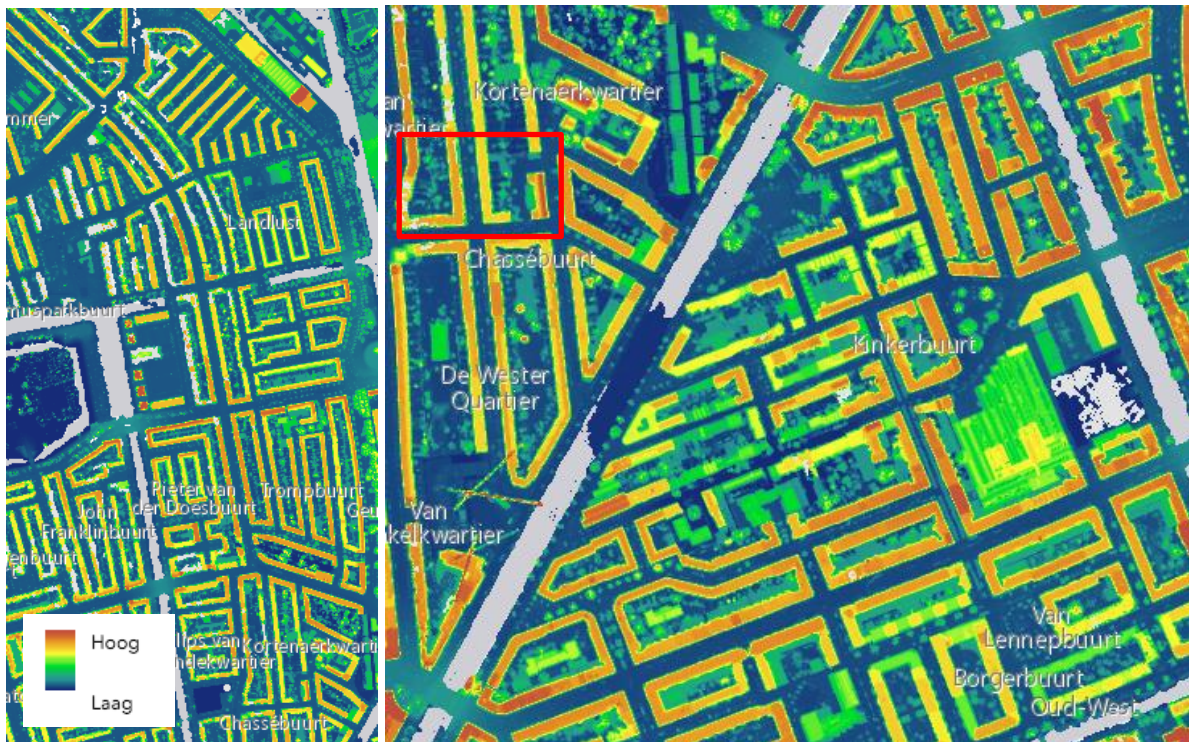
Figuur 8 Percentage groen in Amsterdam (Klimaat-effectatlas, 2018)



Figuur 9 Percentage Verharding in Amsterdam (Klimaat-effectatlas, 2018)

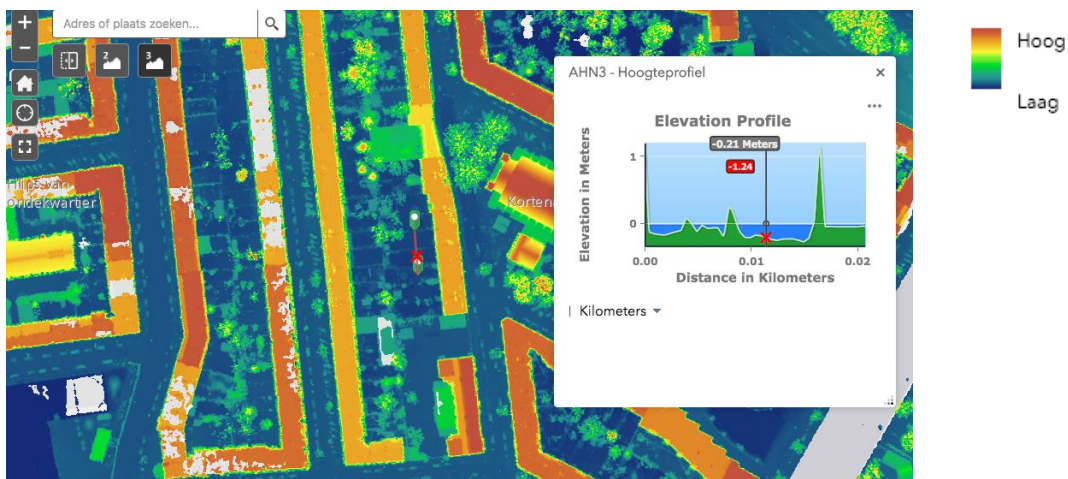
5.3 MAAIVELDHOOGTEN

Een ander belangrijk gegeven is om te weten op welke maaiveldhoogte de binnenterreinen/tuinen liggen. Voor de berekeningen in de rekentool is dit van belang om de waterbuffercapaciteit van de binnenterreinen te berekenen. In Figuur 10 is te zien dat de maaiveldhoogten van de binnenterreinen niet altijd even gelijk zijn. Voor de berekeningen in de Rekentool wordt een gemiddelde van de laagste maaiveldhoogten aangenomen, om een veilige marge te behouden. Uitgaande van een slechtst mogelijk scenario.



Figuur 10 Maaiveldhoogten Regenwaterknelpunt 45 (links), Regenwaterknelpunt 41 (rechts) (ESRI Nederland, 2019)

Om de maaiveldhoogten te bepalen is gebruik gemaakt van Algemeen Hoogtebestand Nederland, online beschikbaar gesteld door ESRI Nederland. Veelvuldig is gebruik gemaakt van de tool, die online beschikbaar is gesteld om de gemiddelden te bepalen (Figuur 11). Met behulp van AGV Klimaatatlas zijn op kaarten de kwetsbaarste plekken in een binnenterrein te vinden bij een bui van 60 millimeter in het uur. Dit zijn de lagergelegen delen van het binnenterrein. Op deze plekken zijn de hoogten bepaald met de tool en daarvan het gemiddelde genomen.

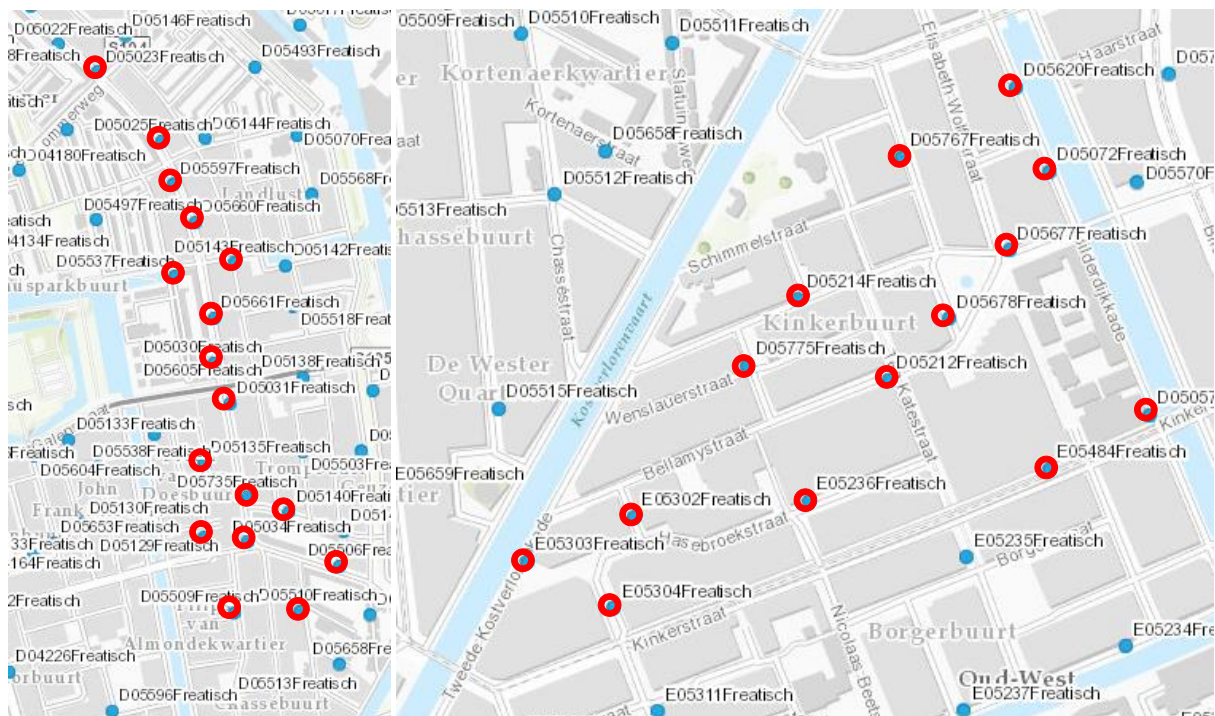


Figuur 11 Bepaling maaiveldhoogte binnentuin (ESRI Nederland, 2019)

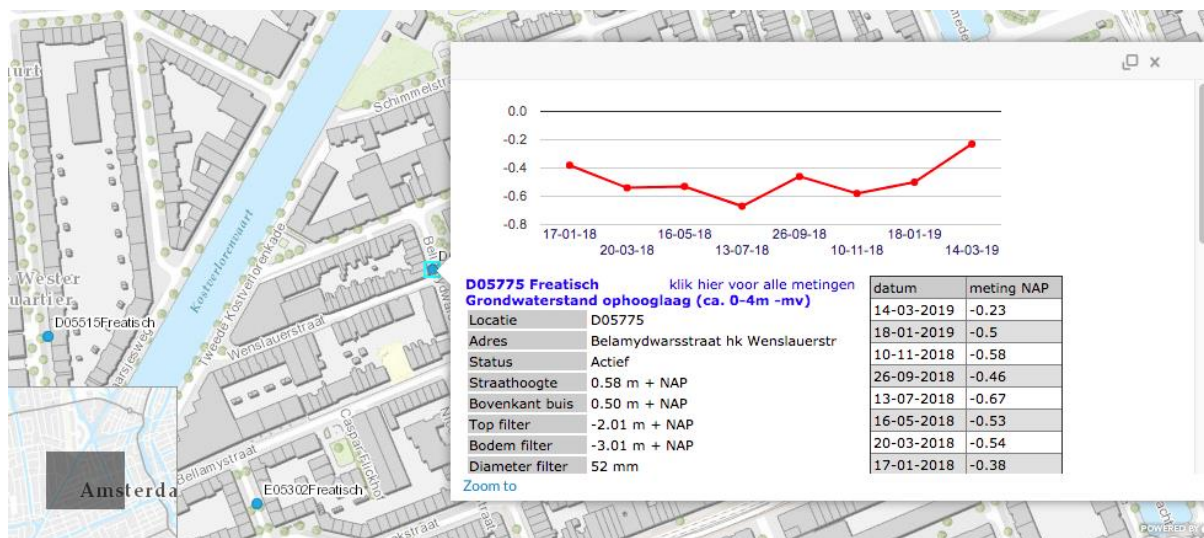
5.4 GRONDWATERSTANDEN

Om de waterhuishouding in de bouwblokken inzichtelijk te krijgen is het essentieel om te weten wat de grondwaterstanden in het onderzoeksgebied zijn, en het liefst nog per bouwblok dat onderzocht gaat worden. Helaas is het tijdens dit onderzoek niet mogelijk geweest om in elk bouwblok de grondwaterstand te meten. Was dat wel gebeurd, dan had je uiterst betrouwbare data per bouwblok.

Een alternatief dat geboden wordt door Waternet, zijn de metingen van de peilbuizen die op specifieke plaatsen zijn geplaatst en waar metingen verricht worden. In Figuur 12 zijn de peilbuizen (rood) te zien die in het onderzoeksgebied vallen en van waarde kunnen zijn voor het onderzoek. In Figuur 13 is te zien welke gegevens beschikbaar worden gesteld per peilbuis op de desbetreffende locatie.



Figuur 12 Beschikbare peilbuizen van Waternet voor Regenwaterknelpunt 45 (links) en Regenwaterknelpunt 41 (rechts) (Waternet, 2019)

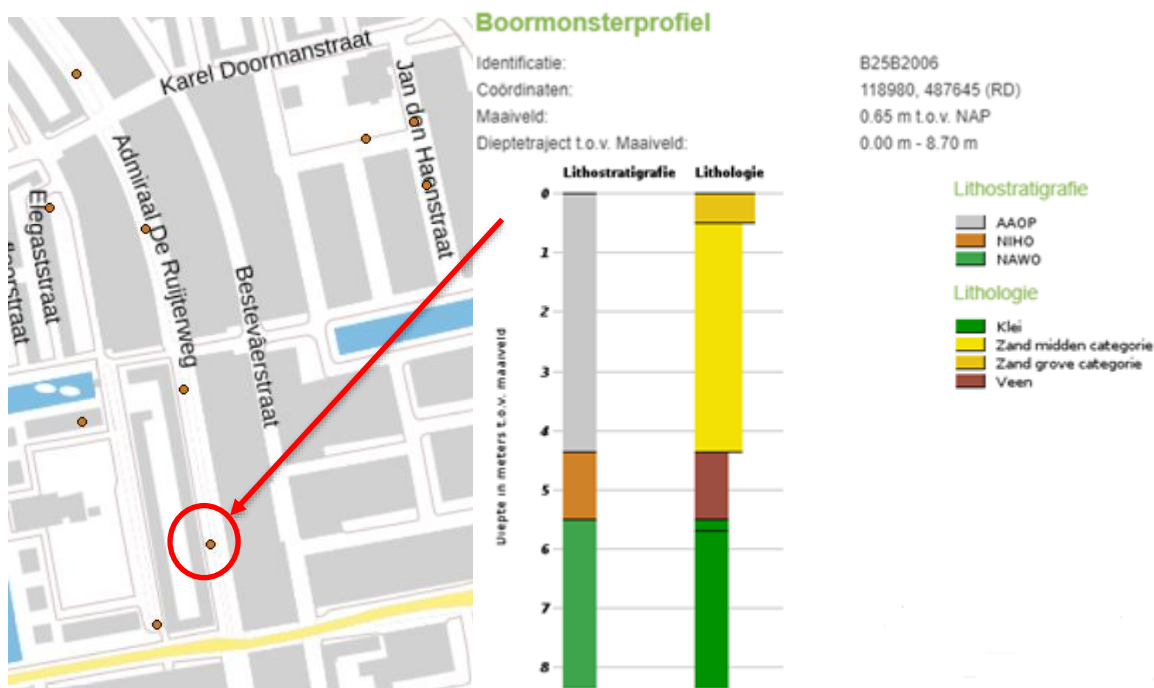


Figuur 13 Meetgegevens peilbuis beschikbaar gesteld door Waternet (Waternet, 2019)

De peilbuizen van Waternet staan in de openbare ruimte in het onderzochte gebied. Specifieke gegevens van de grondwaterstanden in de binnenterreinen worden door Waternet (vrijwel) niet actief bijgehouden. De veronderstelling is dat de grondwaterstand in het binnenterrein overeenkomt met die in de openbare ruimte direct naast het bouwblok. Die veronderstelling is echter niet getoetst. Het kan dus zijn dat er een (groot) verschil is tussen de grondwaterstand in het binnenterrein en de omliggende openbare ruimte vanwege bijvoorbeeld andere bodemopbouw, onderkelderingen, souterrains, uitbouwen of andere verhardingen in de binnenterreinen. Voor de veiligheid zijn de hoogst gemeten grondwaterstanden aangehouden.

5.5 BODEMOPBOUW

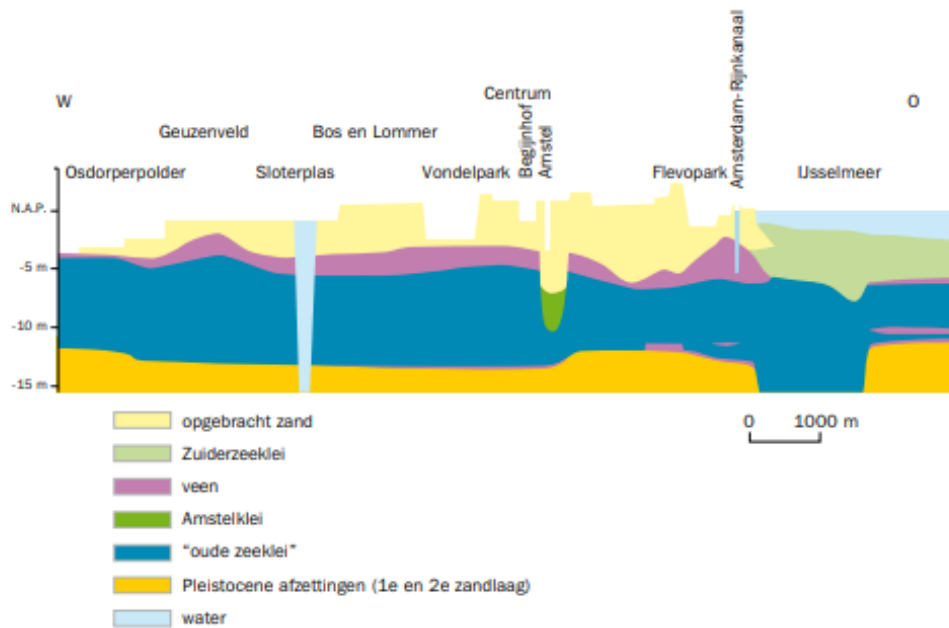
Om berekeningen te kunnen doen betreffende de waterhuishouding van de Regenwaterknelpunten 41 (Bellamybuurt) en 45 (Admiraal de Ruijterweg) is de bodemopbouw van het onderzoeksgebied evenzeer belangrijk. Om toch een groter bereik van de bodemopbouw van het gebied inzichtelijk te hebben, is gebruik gemaakt van literatuur en boringen van het DINO-loket. Bij het DINO-loket is Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond te vinden. In Figuur 14 wordt een boring van het DINO-loket aan de Admiraal de Ruijterweg weergegeven. Bij de opname van de tuinen zijn de boringen van het DINO-loket vergeleken met de handboringen ter plaatse. Deze kwamen vaak overeen. De bodemsamenstellingen van de handboringen, die verricht zijn tijdens de tuinbezoeken van het project 'Tegels eruit, groen erin!', zijn erg handig geweest om een beeld te kunnen vormen van hoe de bodemopbouw in het onderzoeksgebied is. De gevonden data tijdens de handboringen zijn erg betrouwbaar omdat deze op locatie gevonden zijn.



Figuur 14 Boormonsterprofiel DINO-loket aan de Admiraal de Ruijterweg (DINOloket, 2019)

De Regenwaterknelpunten 41 (Bellamybuurt) en 45 (Admiraal de Ruijterweg) behoren tot de stadsuitbreidingen van de 19^e eeuw. Door de ligging van Amsterdam bestond de bodem voornamelijk uit klei en veen. Men begon al met ophogen van het natuurlijke oppervlak van klei en veen bij de eerste aanleg van de stad. Maar vooral vanaf de 19e eeuw werd er bij de stadsuitbreidingen op grote schaal enkele meters zand op het veen aangebracht, zie Figuur 15. Door het opbrengen van zand wordt het oppervlak steviger en wordt het zakken van het veenoppervlak gecompenseerd (Gans, 2011).

Uitgaande van de gevonden informatie en boringen die zijn gevonden, wordt voor de berekeningen van de bouwblokken van Regenwaterknelpunten 41 en 45 uitgegaan van een bodemopbouw met ophoogzand.



Figuur 15 Dikten van het ophoogzand in Amsterdam (Gans, 2011)

5.6 BEVINDINGEN BIJ DEELNEMERS VAN HET PROJECT 'TEGELS ERUIT, GROEN ERIN!'

Om een goed beeld van het gebied te krijgen zijn de data van de deelnemers bekeken. De deelnemers wonen in Amsterdam-West en bevinden zich voornamelijk in de Regenwaterknelpunten 41 en 45. Bij elke deelnemer is een opname van de tuin gedaan, zodat Buro Regen&Water een Regenwaterplan op kan stellen (BIJLAGE II). Hierbij vooral gelet op de ligging/locatie van de tuin en de verschillende maaiveldhoogten in het gebied. Ook zijn er handboringen gedaan om de bodemopbouw van de verschillende tuinen in beeld te brengen. Een ander belangrijk aspect is de nog beschikbare ruimte, waar het water kan infiltreren. Al deze data hebben bijgedragen aan het ontwikkelen van de rekentool om de waterhuishouding van de tuinen inzichtelijk te krijgen.

Wat opviel, is dat niet alle deelnemers aan het project op het moment van de opname last hebben van waterproblemen. Uit de verhalen van de bewoners/eigenaren kwamen de waterproblemen wel aan het licht en bleek dat de bewoners/eigenaren graag meer groen in hun tuin willen. Wat niet vergeten moet worden, is dat er een langdurige warme en droge zomer is geweest tijdens de uitvoering van deze studie, waardoor de grondwaterstand erg laag is. Dit verklaart waardoor de wateroverlast bij de tuinbezoeken niet zichtbaar was.

De gemeten lage grondwaterstand geeft in de rekentool een vertekend beeld van hoeveel neerslag werkelijk in de tuin opgevangen kan worden. De lage grondwaterstand is alleen representatief voor de warme zomermaanden en dat is relatief kort. Hier dient rekening mee gehouden te worden. Het is verstandig om van de hoogste grondwaterstand uit te gaan, die online via Waternet uit te lezen is, om de tuin zo regenbestendig mogelijk her in te richten.

Voor het creëren van meer groen in de tuin, zoals de meeste deelnemers wensen, dient ruimte beschikbaar gemaakt te worden. De meest voor de hand liggende oplossing is om verharding (tegels) uit de tuin te verwijderen. Dit draagt meteen bij aan het regenbestendiger maken van de tuin, doordat de oppervlakte waarop neerslag direct kan infiltreren, wordt vergroot. Als de infiltratiecapaciteit van een tuin groot genoeg is, kan er zelfs aan gedacht worden om de hemelwaterafvoer (HWA) ofwel regenpijpen af te koppelen om zo het riool te kunnen ontlasten. Zo wordt de kans verkleind dat bij wateroverlast op straat, water het huis kan binnenstromen.

6 MOGELIJKE MAATREGELN

Uit de bevindingen van de gebiedsanalyse komt al een aantal maatregelen naar voren die mogelijk effectief en kostenefficiënt kunnen zijn om de waterproblemen in de regenwaterknelpunten op te lossen. Deze maatregelen en andere mogelijke maatregelen worden aan de hand van de rekentool getoetst op de aspecten haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie. De uitwerking en resultaten van de maatregelen staan in Hoofdstuk 8.

Naast de genoemde maatregelen in de gebiedsanalyse, zoals onttegenen, vergroenen of afkoppelen van de hemelwaterafvoer (HWA), zijn er nog tal van maatregelen die mogelijk toepasbaar zijn en effectief kunnen zijn voor een regenbestendig ontwerp van een binnentuin. Deze maatregelen worden in dit hoofdstuk kort toegelicht. In BIJLAGE IV is een uitgebreide toelichting op de maatregelen van Rainproof te vinden.

6.1 REGENPIJP/HEMELWATERAFVOER (HWA) AFKOPPELEN (RAINPROOF, 2019)

Door de regenpijpen van een gebouw of huis af te koppelen, ontlast je het rioolstelsel. Dat is regenbestendig omdat de riolen bij steeds sterker wordende regenbuien in de toekomst vaker overbelast zullen worden. De meeste riolen kunnen namelijk maar 20 millimeter neerslag bergen. Wanneer deze volgelopen zijn, bestaat de kans dat het water jouw huis binnenkomt en zorgt voor waterschade. Dit betekent wel dat er voldoende opvang- en infiltratiecapaciteit moet zijn om het water op te vangen. Een ander positieve bijkomstigheid is dat het water ook opgevangen kan worden voor hergebruik.

6.2 ONTTEGELEN/GROEN ERIN (RAINPROOF, 2019)

Minder tegels (verharding) heeft zijn voordelen. Als neerslag op beplante ondergrond (onverhard) valt, kan het direct infiltreren in de grond en hoeft deze niet via het riool afgevoerd te worden. Hoe minder verharding en hoe meer onverharde ondergrond betekent dus hoe meer neerslag direct kan infiltreren. Hiermee wordt de infiltratiecapaciteit van de tuin of het binnenterrein vergroot. Dit helpt wateroverlast te beperken bij de heftige piekbuien die in de toekomst steeds meer zullen voorkomen.

Het groen maken van de tuin, ofwel onverhard maken van de tuin, heeft niet alleen zijn voordelen bij wateroverlast. Groen helpt ook tegen de hitte en houdt de tuin/binnenterrein koeler op de hete zomerse dagen.

6.3 GRONDVERBETERING/OPHOGEN VAN DE TUIN

Bij een slechte bodem ofwel ondergrond kan neerslag heel beperkt infiltreren, waardoor kans op wateroverlast enorm groot is. Met slecht wordt bedoeld een fijne grondsoort die het water slecht doorlaat en het water slecht kan vasthouden, bijvoorbeeld klei. Het is dan mogelijk om grondverbetering toe te passen, dan wordt de klei vervangen door zand of tuingrond. Door de wat grovere structuur van deze gronden is het mogelijk om meer water vast te houden. Het regenwater kan sneller worden opgenomen en net zo makkelijk weer worden afgevoerd naar de diepere lagen.

Een ander alternatief is het ophogen de tuin of het binnenterrein met zand. Vooral voor laag gelegen tuinen/binnenterreinen, die veel last hebben van zettingen, is dit een aantrekkelijke oplossing. Door het verhogen van het maaiveld van de tuin of het binnenterrein wordt ook de infiltratiecapaciteit vergroot. Door het vergroten van het volume van het grondpakket boven de grondwaterstand, zal dit meer water kunnen bergen.

6.4 EXTENSIEVE GROENE DAKEN (RAINPROOF, 2019)

Extensieve groene daken bestaan vaak uit een substraatlaag (om water te bergen) en vegetaties die zichzelf grotendeels in stand kunnen houden en zich verder ontwikkelen zonder al te veel zorg of onderhoud. Ze bieden capaciteit voor regenwaterbuffering, beperken de opwarming van het dak en leveren een mooier uitzicht op.

Door directe en indirecte verdamping (via planten) en waterberging in de substraatlaag stroomt er minder regenwater het dak af. Een ander voordeel is dat het bij wat grotere buien het water vertraagd naar richting de dakgoot of regenpijp afvoert, waardoor het riool minder snel belast wordt.

6.5 WATERDOORLATENDE/WATERPASSERENDE VERHARDING (RAINPROOF, 2019)

Verharding hoeft niet altijd slecht te zijn. Tegenwoordig bestaat er ook doorlatende of waterpasserende verharding. Dat wil zeggen dat deze klinkers/tegels met open voeg zo zijn gemaakt dat er genoeg ruimte beschikbaar is waar het water direct de grond in kan zakken. Het hoeft dan niet via het riool afgevoerd te worden en het grondwater wordt vanzelf aangevuld. Ook gewone klinkers/tegels kunnen gebruikt worden, zorg alleen dat deze in een verband gelegd worden waarbij genoeg open gedeeltes overblijven.

Naast doorlatende/waterpasserende verharding zou grind of houtsnippers ook kunnen dienen als bodembedekking. Ook deze hebben een goede doorlatendheid om water direct te laten infiltreren in de ondergrond.

6.6 INFILTRATIEKRATTEN (RAINPROOF, 2019)

Infiltratiekratten zijn ondergrondse bodemvoorzieningen. Het is niet anders dan een ondergrondse holle ruimte om water te bergen. Deze kunststofkratten zijn zo ontworpen dat het regenwater buffert en vertraagd afgeeft aan het grondwater. Om de krat schoon te houden van vuil wordt rondom een geotextiel aangebracht. Dit voorkomt ook het dichtslibben van de krat.

6.7 WADI (RAINPROOF, 2019)

Wadi's kunnen dienen als extra waterberging in de tuinen/binnenterreinen. Een wadi is een met grind en zand gevulde greppel of sloot, die water zowel kan vasthouden als infiltreren. Bij een wadisysteem stroomt het water van daken en wegen niet in de riolering, maar via bovengrondse goten en/of greppels in de wadi. Een goed ontworpen wadisysteem buffert en infiltreert regenwater.

6.8 REGENWATERINSTALLATIE (RAINPROOF, 2019)

De voornaamste reden om voor een regenwaterinstallatie te kiezen is het benutten van regenwater voor doeleinden in huis of tuin. In verband met gezondheidsrisico's kan het water alleen voor laagwaardige doelen zoals toiletspoeling, wasmachine en besproeiing van de tuin worden gebruikt.

Een andere reden om voor een regenwaterinstallatie te kiezen is bij gevallen waar geen natuurlijke oplossingen meer voorhanden zijn. Dit kan bijvoorbeeld zijn bij tuinen waar er te weinig infiltratiecapaciteit in de tuin is doordat de bodem slecht is voor infiltratie of dat het grondwater te hoog staat.

De installatie voor het gebruik van regenwater bestaat uit de volgende componenten: een reservoir, een pomp, aansluiting op gebruikspunten, een overstort en een suppletievoorziening. De suppletievoorziening is om functies zoals toiletspoelingen de wasmachine altijd van water te kunnen voorzien. Daarom mag het reservoir

niet leeg raken. Hiervoor is voor tijden van lange droogte drinkwatersuppletie noodzakelijk. Een andere reden voor suppletie is dat bij het leegraken van het reservoir het aanwezige slib indroogt waardoor grotere verontreinigen in het water kunnen ontstaan als het reservoir weer vol raakt.

De reservoirinhoud moet op de beschikbare hoeveelheid neerslag en op het te verwachten gebruik gedimensioneerd worden. Het teveel aan regenwater wordt overgestort en kan in de tuin vastgehouden worden of bij gebrek aan een tuin of ruimte afgevoerd worden via het regenwaterriool.

6.9 REGENTON (RAINPROOF, 2019)

De regenton is de eenvoudigste manier om regenwater te benutten. Bovendien is het een regenwaterbuffervoorziening die gemakkelijk te installeren is bij woningen. Het regenwater zal in de meeste gevallen gebruikt worden voor het begieten van planten op het balkon of in de tuin. De meeste tonnen hebben een kraantje. Ze kunnen ook voorzien worden van een pomp en eventueel een automatische aanvulling. Regentonnen zijn er in allerlei vormen en maten tot ca. 500 liter. Door de beperkte opslagcapaciteit is het rendement voor tijdelijke opslag beperkt, maar de regenton is goed voor het verbreden van het waterbesef.

6.10 BOMEN PLANTEN

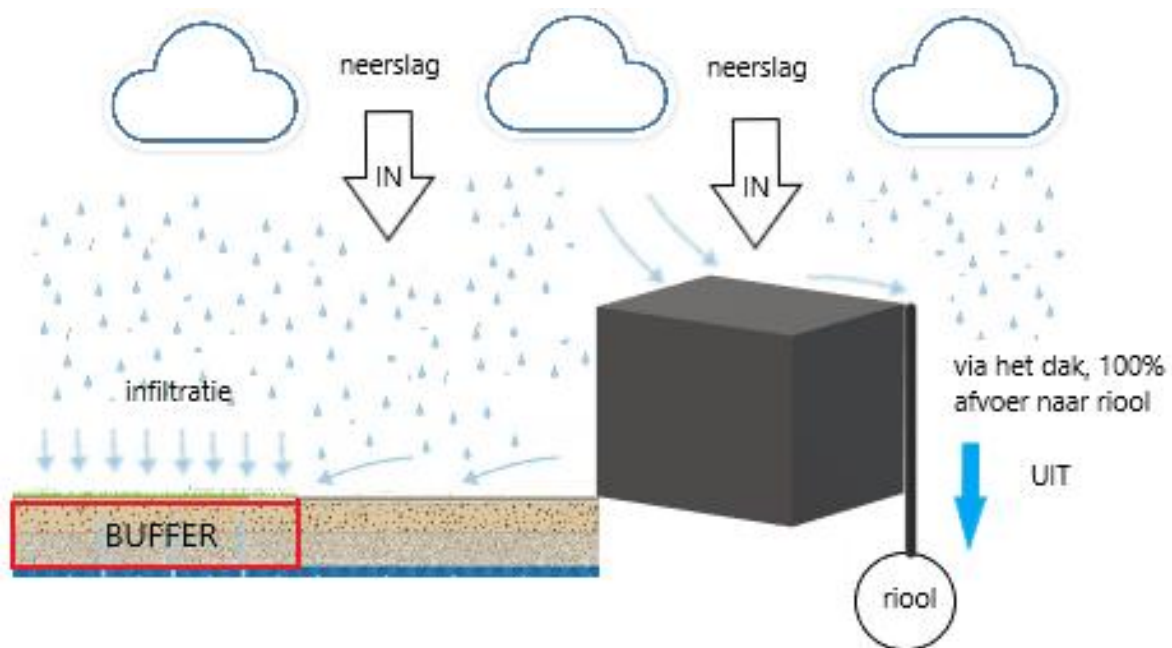
Het plaatsen van meer groen in de tuin, waaronder het planten van bomen, heeft zijn effecten op de klimaatbestendigheid van de tuin. Vooral bomen zorgen voor meer schaduwwerking en een koeler effect in de tuin. Deze effecten zijn vooral gunstig voor het tegengaan van hittestress.

In dit onderzoek zijn de effecten op het water juist meer van belang. Bomen nemen door middel van hun wortels water op uit de bodem en brengen het als waterdamp in de lucht via de huismondjes (transpiratie). Ongeveer 95 procent van het opgenomen water verdwijnt door transpiratie. Een volwassen eik kan wel tot 150 liter per dag opnemen en een volwassen populier wel 10 maal zoveel.

Daarnaast onderscheppen bomen neerslag, wat belangrijk kan zijn als in korte tijd veel neerslag valt. Deze interceptiemaat van de boom, is een maat voor de hoeveelheid water op bladeren en takken die na een bui verdwijnt door verdamping (evaporatie). Door hydrologen wordt deze interceptiemaat meegenomen in berekeningen van waterbalansen in de natuur. Bij stadsbomen is dit nog niet gebruikelijk omdat het effect te gering is (Tonneijck, 2008).

7 REKENTOOL (BUFFERCAPACITEIT)

Voor de verschillende bouwblokken van Regenwaterknelpunten 41 en 45 is het van belang om te weten hoeveel water opgevangen moet worden bij een specifieke bui en hoeveel water in de huidige situatie daadwerkelijk opgevangen kan worden. Hiervoor is een rekentool in Excel op basis van een waterbalans opgesteld. In een waterbalans zit aanvoer, berging en afvoer van water, ofwel in, buffer en uit. In Figuur 16 is een schematische werking van de waterbalans weergegeven. De waterbalans voor de binnentuinen is geavanceerder dan een standaard waterbalans omdat enkele specifieke onderdelen kunnen worden berekend. Deze verschillende onderdelen zullen hieronder nader worden toegelicht.

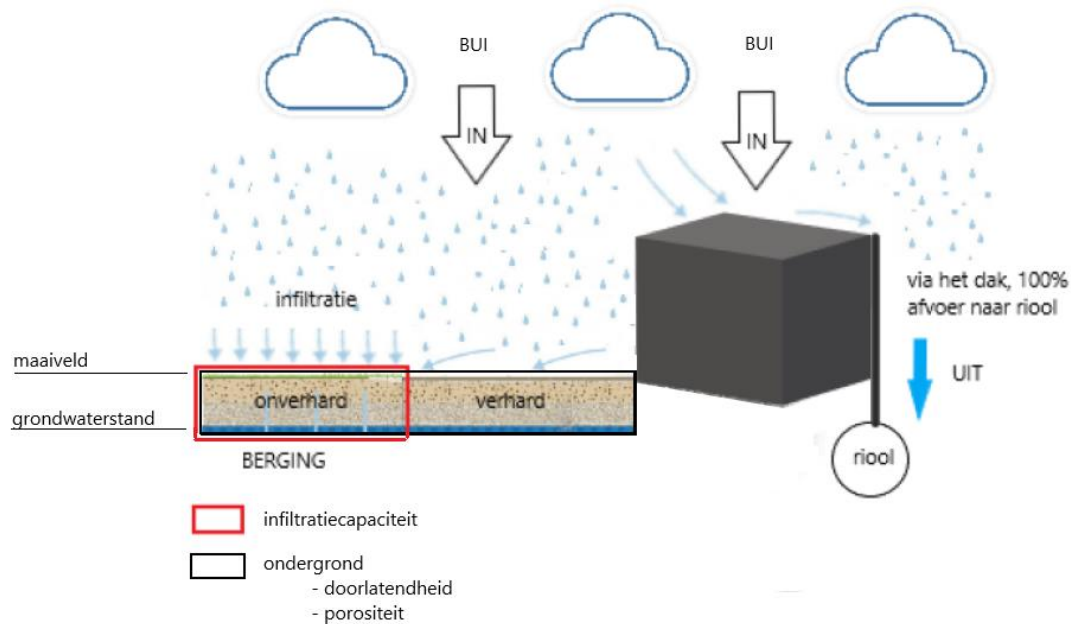


Figuur 16 Schematische werking waterbalans

De watervolumen zijn berekend aan de hand van de ingevoerde parameters. Met behulp van de rekentool is gedurende het onderzoek bepaald welke parameters het gevoeligst zijn op de watervolumen. Aan de hand van de resultaten uit de rekentool kunnen maatregelen worden getoetst op haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie.

7.1 PARAMETERS IN REKENTOOL

In feite is in de rekentool gewerkt met een input-buffer-outputmethode. De input betreft de parameters die invloed hebben op de watervolumen (neerslag) die op de bouwblokken vallen bij een specifiek gekozen bui van 60, 90 of 120 millimeter in het uur. Voor de berekening van de buffer is het van belang om te weten hoe de ondergrond opgebouwd is en hoeveel ruimte in de ondergrond beschikbaar is voor infiltratie. Grootte van infiltratie is afhankelijk van bodemtype, bodemstructuur, doorlatendheid, grondwaterstand en mate van begroeiing/bebouwning. Deze factoren worden hieronder toegelicht. Wat output betreft, dat zijn de beschikbare maatregelen die effectief en tevens toepasbaar zijn om het water af te kunnen voeren. Een schematische weergave met de parameters is te zien in Figuur 17.



Figuur 17 Schematische werking waterbalans met parameters

De volgende parameters zijn in acht genomen en onderzocht:

OPPERVLAKTEN BOUWBLOK (INPUT)

Om te kunnen berekenen hoeveel regenwater bij een specifiek gekozen bui valt op het bouwblok is het nodig om de oppervlakten van bebouwing en binnenterrein te onderscheiden. Dit is van belang bij het toepassen van mogelijke maatregelen bij een tekort of juist overschot aan buffercapaciteit in de huidige situatie van het binnenterrein. De tekeningen van de bouwblokken zijn met behulp van InfraCAD Map ingeladen in AutoCAD om de oppervlakten van bebouwing en het binnenterrein op te meten.

Bebouwing

Met de oppervlakte van de bebouwing kan berekend worden hoe groot het watervolume is dat op de daken valt van het totale bouwblok. Daarnaast is het oppervlak van bebouwing van belang bij ontkoppelen van de hemelwaterafvoer (HWA). In de rekentool kan vastgesteld worden of dit mogelijk is. De meeste daken in Amsterdam voeren het water direct af naar het riool. Bij ontkoppelen wordt het riool aanzienlijk ontlast en zo het risico van water op straat verkleind.

Binnenterrein

De oppervlakte van het onverharde binnenterrein is essentieel omdat hiermee niet alleen het watervolume bepaald kan worden dat op het binnenterrein valt. Maar dit geeft ook aan hoeveel ruimte beschikbaar is voor de toepassing van mogelijke maatregelen. Verharding in het binnenterrein kan zijn door bebouwing of door betegeling.

OPPERVLAKTEN VERHARD EN ONVERHARD IN HET BINNENTERREIN (BUFFER)

Percentage verhard en onverhard in het binnenterrein

Voor het bepalen van de percentages verhard en onverhard van de binnenterreinen van de bouwblokken is gebruik gemaakt van Google Earth en Google Maps (Figuur 18). In het percentage verhard wordt de latere bebouwing van de oorspronkelijke binnenterreinen niet meegenomen. Deze bebouwing wordt al meegenomen in de oppervlakte van de bebouwing, zoals hierboven staat beschreven. De resultaten van Regenwaterknelpunt 41 (Bellamybuurt) zijn vergeleken met eerder onderzoek (Stuyver, Inventarisatie binnenterreinen Bellamybuurt, 2016). Aan de hand van de gekozen percentages kunnen de oppervlakten berekend worden en ingevoerd worden in de rekentool.

De huidige verhoudingen van de tuinen en binnenterreinen wat betreft verhard en onverhard heeft zijn invloed op de waterhuishouding van het binnenterrein. Hoe meer verhard, hoe minder er direct geïnfiltreerd kan worden en vice versa. In de rekentool worden verschillende verhard/onverhard-verhoudingen berekend en kan meteen bepaald worden welke verhouding minimaal nodig is voor de tuin of het binnenterrein om de watervolumen bij de gekozen bui op te vangen.



Figuur 18 Overzicht binnenterrein verhard en onverhard (Google Maps, 2019)

NAP-HOOGTEN (NORMAAL AMSTERDAMS PEIL) (BUFFER)

Maaiveldhoogte tuin en straat

Aan de hand van AHN (Algemeen Hoogtekaart Nederland) zijn de hoogtes van de binnenterreinen/tuinen en straten bepaald (AHN 3 (0,5m) (ESRI Nederland, 2019)). Dit is belangrijk voor de grondwaterstromingen op straat en binnenterreinen. Op deze kaart is te zien waar de laagstgelegen locaties zijn en waar het water zich verzamelt. De maaiveldhoogte van het binnenterrein is van belang voor de rekentool om de infiltratielaag te kunnen bepalen. De infiltratielaag is het verschil tussen de maaiveldhoogte en de huidige grondwaterstand op de specifieke locatie.

Grondwaterstand op specifieke locatie

De grondwaterstanden van verschillende locaties zijn online op te halen van Waternet (peilbuizen). Wel moet in acht worden genomen dat dit metingen zijn op straatniveau en niet in de binnenterreinen van de bouwblokken zelf. Voor uitwerking van de bouwblokken in de rekentool worden deze grondwaterstanden toch gebruikt, want de waargenomen en gemeten grondwaterstanden door middel van handboringen bij de tuinbezoeken in de praktijk blijken vrij goed overeen te komen met de grondwaterstanden op straatniveau van Waternet. Wel dient er rekening mee gehouden te worden dat de maaiveldhoogte op locatie van AHN (Algemeen Hoogtekaart Nederland) aangenomen moet worden en niet de straathoogte bij dichtstbijzijnde peilbuis die Waternet aangeeft.

BODEMOPBOUW (BUFFER)

Grondsoorten

De bodemopbouw van de tuinen en binnenterreinen zijn vastgesteld door middel van handboringen ter plaatse van de tuinen die meedoen aan het project en door middel van literatuuronderzoek. Wat veel voorkomt, zijn pakketten met zand en/of teelaarde. Dit zijn grondsoorten die goed voor infiltratie zijn. Zolang het pakket dik genoeg is, wordt dit zeker aanbevolen.

Een alternatief om de bodemopbouw van de locatie te kunnen bepalen of de handboring te verifiëren kan via het DINO-loket (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond). Voor sommige data dienen aanvragen gedaan te worden, maar voor de meeste locaties zijn de boringen wel voorhanden.

Doorlatendheid (k-waarde) en porositeit van grondsoorten

De doorlatendheid en porositeit van een grondsoort heeft te maken met de korrelgrootte en structuur van de grondsoort. Om de infiltratiecapaciteit te kunnen berekenen is het van belang om te weten hoe goed het water

in de ondergrond kan zakken en hoe snel het verzadigd raakt. De doorlatendheid van een grondsoort weten is erg belangrijk voor de berekening. Welteverstaan de waarde van de horizontale doorlatendheid van een grondsoort en niet de waarden van de verticale doorlatendheid die veelvuldig gebruikt worden bij grondwaterberekeningen. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de k-waarden voor verticale doorlatendheid, omdat de k-waarden voor horizontale doorlatendheid doorgaans specifiek op locatie worden gemeten voor een exacte bepaling van de infiltratiegesteldheid van de bodem. Algemeen kan worden gesteld dat hoe groter de korrel diameter, hoe grover het materiaal, hoe groter de doorlatendheid. De k-waarden van de verschillende grondsoorten zijn te vinden in BIJLAGE III: K-waarden en porositeit van de grondsoorten (Grondwaterformules Doorlatendheid k, 2019) (Biron, 2004).

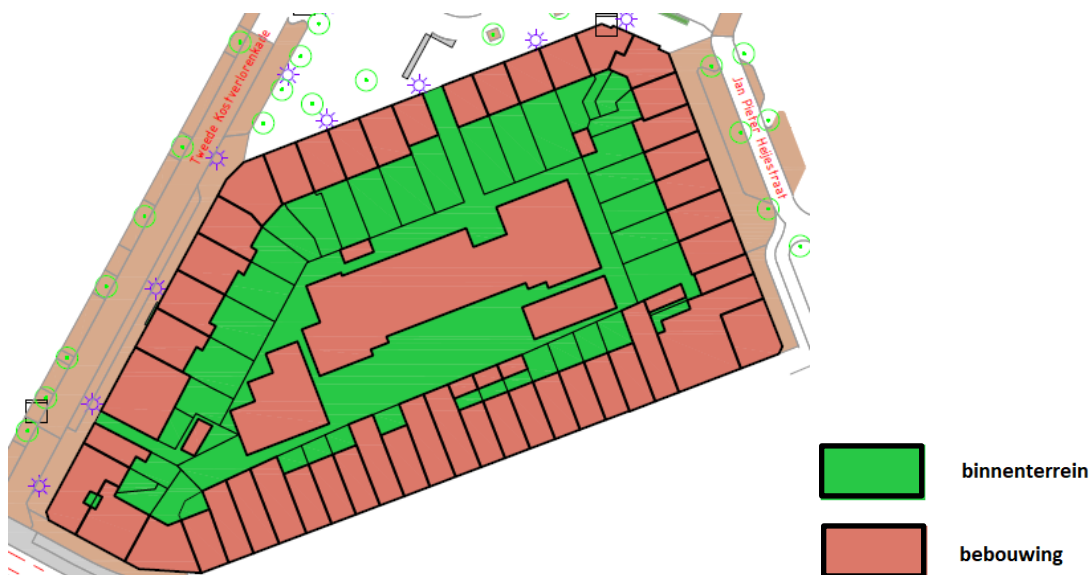
Porositeit hangt heel erg samen met de doorlatendheid. Met de porositeit wordt in dit onderzoek bedoeld het percentage water dat een grondsoort vast kan houden door de korrelgrootte van een grondsoort. Door de korrelgrootte kan het poriënvolume tussen de deeltjes bepaald worden. Dit is van belang voor de berekening van de waterbuffercapaciteit van een grondpakket. De porositeit-waarden van de verschillende grondsoorten zijn aangenomen en staan in BIJLAGE III : K-waarden en porositeit van de grondsoorten. Voor de gronden die goed doorlaten en infiltreren is een porositeit van 30% aangenomen en voor de gronden die minder goed infiltreren 10% (Grondwaterformules Effectieve porositeit, 2019).

Deze waarden zijn aangenomen omdat er geen vast getal aan een bepaald grondsoort gekoppeld kan worden. Elke bodemopbouw is weer anders en de verschillende grondlagen hebben ook hun effecten. In situ worden deze waarden vaak bepaald met een infiltratie- doorlatendheidsmeting. Dit was voor het onderzoek helaas niet mogelijk.

Voor het onderzoek is in de gebiedsanalyse vastgesteld dat voor de binnenterreinen van de bouwblokken gerekend gaat worden met ophoogzand (fijn zand). Ophoogzand heeft een goede doorlatendheid en porositeit. Voor de berekeningen van de bouwblokken is een doorlatendheid van 5m/dag en een porositeit van 30% aangenomen.

7.2 VOORBEELDUITWERKING MET REKENTOOL

Om beter inzicht te krijgen in hoe de berekeningen in de rekentool zijn gedaan en de resultaten zijn verkregen, is in deze paragraaf een Bouwblok 1 van Regenwaterknelpunt 41 (Figuur 19) in zijn geheel uitgewerkt met de benodigde toelichting. De watervolumen en waterbuffercapaciteit van de binnenterreinen/tuinen zijn allemaal op eenduidige wijze berekend. Bij alle bouwblokken in de bijlagen is gerekend met een bui van 60 millimeter in het uur. De uitwerkingen van alle bouwblokken zijn terug te vinden in BIJLAGEN IV en V.



Figuur 19 Bouwblok 1 Bebouwing en binnenterrein (AutoCAD InfraCAD MAP)

GEGEVENS

Om een berekening te kunnen maken, moeten er eerst data verzameld worden en de locatie bekend zijn. Bouwblok 1 Regenwaterknelpunt 41 ligt in Oud-West, tussen de Tweede Kostverlorenkade, Jan Pieter Heijestraat en Hasebroekstraat. Via InfraCAD Map, een extensie van AutoCAD, kan een plattegrond (BGT/IMGeo) van het desbetreffende bouwblok ingeladen worden (Figuur 19). Deze tekening is handig omdat de oppervlakten van de bebouwing en het binnenterrein nauwkeurig gemeten kunnen worden.

De relevante gegevens in te voeren in rekentool:

- Oppervlakten Bouwblok
 - Bebouwing (Figuur 19 rood)
 - Binnenterrein (Figuur 19 groen)
 - Verhard
 - Onverhard
- NAP-hoogten
 - Maaiveldhoogte binnenterrein (gemiddeld laagste)
 - Grondwaterstand (hoogste)
 - Straatniveau
- Bodemopbouw
 - Grondsoorten
 - K-waarden
 - Porositeit

Deze gegevens worden opgehaald, bepaald en aangenomen zoals in de Gebiedsanalyse en 7.1 Parameters in rekentool omschreven staat.

Overzicht gegevens:		
Oppervlakten bouwblok	(m²)	(%)
Binnenterrein	3221	40
Bebouwing	4803	60
Oppervlakten binnenterrein	(m²)	(%)
Verhard	2255	70
Onverhard	966	30
NAP-hoogten	(mNAP)	
Straathoogte	+ 0,6	
Maaiveld (binnenterrein)	+ 0,4	(gemiddeld laagste)
Grondwaterstand (peilbuizen Waternet)	0	(hoogste)
Infiltratielaag (m)	0,4	meter
Bodemopbouw	ophoogzand	

Figuur 20 Overzicht benodigde data voor rekentool

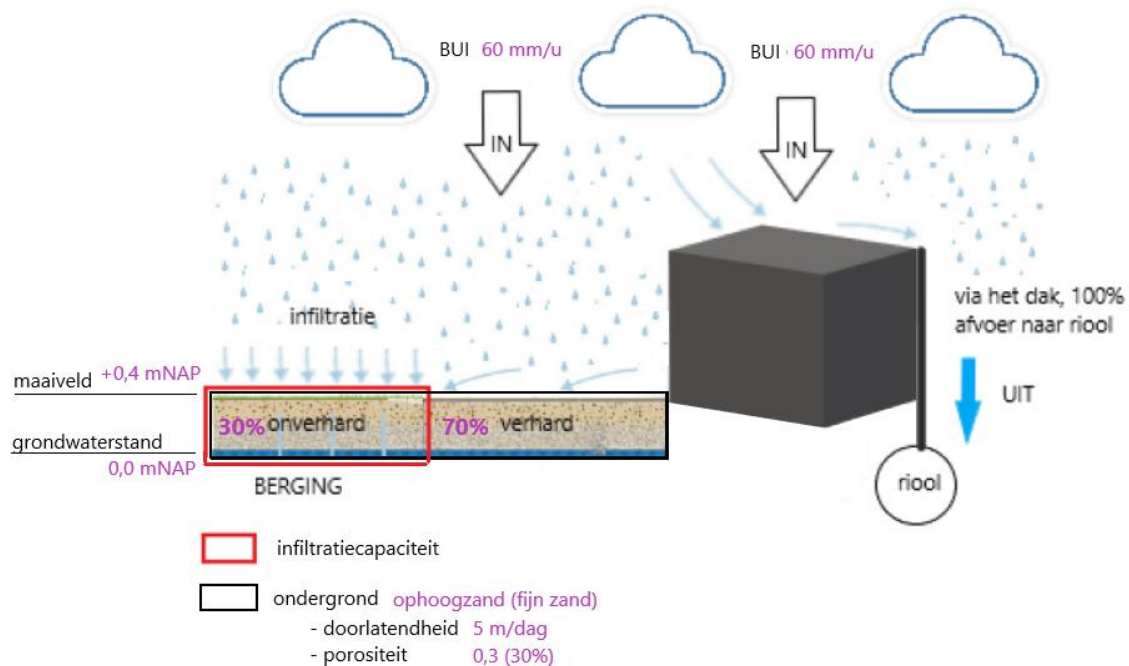
Aan de hand van Figuur 19 is in AutoCAD de oppervlakten van het bouwblok bepaald.

Binnenterrein (groen)	= 3221 m ²	= 40%
Bebouwing (rood)	= 4803 m ²	= 60%
Totaal bouwblok	= 8024 m ²	= 100%

Daarna is met behulp van Google Earth en Google Maps geschat hoeveel procent van het binnenterrein verhard en onverhard is en daarna vertaald naar vierkante meters. In dit geval 70% verhard en 30% onverhard. Ook zijn deze schattingen vergeleken met het onderzoek van Ralph Stuyver (Bellamybuurt) (Stuyver, Inventarisatie binnenterreinen Bellamybuurt, 2016). Dit is gedaan voor alle bouwblokken binnen Regenwaterknelpunt 41 (Bellamybuurt).

Totaal binnenterrein (groen)	= 100%	= 3221 m ²
Verhard	= 70%	= 2255 m ²
Onverhard	= 30%	= 966 m ²

In Figuur 21 is een schematische weergave gegeven van de waterbalans met alle gevonden waarden (paars) behorend bij de parameters.



Figuur 21 Schematische weergave waterbalans met gegevens Bouwblok 1

RESULTATEN

Wanneer de gegevens zoals in Figuur 20 verzameld zijn, kan de rekentool gebruikt worden om berekeningen te maken. De gegevens worden in de rekentool ingevoerd. Hierbij kan gekozen worden voor drie verschillende buien, Bui van 60, 90 en 120 millimeter in het uur (Figuur 23).

Met een goede boring van de ondergrond, of wanneer de verschillende grondlagen van de bodemopbouw bekend zijn, is het mogelijk om de dikte per grondlaag en grondsoort per laag in de rekentool in te voeren. In de rekentool staat de dikte aangegeven als diepte omdat het de diepte van de boring betreft. Dit geeft natuurlijk een veel nauwkeuriger berekening (Figuur 22). Bodemopbouw van bouwblok 1 bestaat uit ophoogzand. In de rekentool wordt voor ophoogzand 'Fijn zand' gebruikt.

BODEMOPBOUW (cm)					
Boring 1	Grondsoort (KIES)	K-waarde (m/dag)	Porositeit (%)	Diepte (m) (KIES)	Infiltratievolume (L)
0 - 10	Fijn zand	5	0,3	0,1	28.980
10-40	Fijn zand	5	0,3	0,3	86.940
40-80	n.v.t.	n.v.t.	0	0,4	0
80-120	n.v.t.	n.v.t.	0	0,4	0
	Gemiddelde K-waarde	5	Totaal		115.920

Figuur 22 Mogelijkheden in rekentool m.b.t. de bodemopbouw

De resultaten worden weergegeven zoals in Figuur 23. Bij een bui van 60 millimeter in het uur heeft het binnenterrein niet genoeg capaciteit om al het water op te vangen. Het binnenterrein van Bouwblok 1 is maar in staat om 36 millimeter in het uur op te vangen. Er is dus een tekort van 24 millimeter in het uur ofwel **77.340** Liter bij een bui van 60 millimeter in het uur.

KIES BUI en SITUATIE					
Bui (mm/u)	60				
VERHARD/ONVERHARD (TUIN)	VERHARD (m2)	ONVERHARD (m2)	Infiltratievolume (L)		
Huidige situatie	2.255	966	115.920		
Infiltratievolume (L)	Watervolume (TUIN) (L)	Overschot/Tekort (L)(1)	Infiltratievermogen %	Watervolume (DAK) (L)	Overschot/Tekort (L)(2)
115.920	193.260	-77.340	60%	288.180	-365.520
		aantal mm neerslag zonder overlast	36		

Figuur 23 Opties in rekentool en resultaten

Toelichting op Figuur 23:

Bij bui (mm/u) kan er gekozen worden tussen drie buien: **60, 90** en **120** millimeter in het uur.

Infiltratievolume (L) = hoeveelheid water dat in de ondergrond door directe infiltratie (via onverhard oppervlak) geborgen kan worden.

$\text{Infiltratievolume (L)} = \text{BUI (mm/u)} * \text{OPP ONVERHARD BINNENTERREIN (m}^2\text{)} * \text{DIKTE GRONDLAAGLAAG (m)} * \text{POROSITEIT GRONDSOORT (\%)} * 1000$

Per grondlaag kan het infiltratievolume berekend worden in verband met verschillende dikten en porositeit.

Watervolume (TUIN)(L) = hoeveelheid water dat bij een gekozen bui, op het gehele binnenterrein valt.

$\text{Watervolume (TUIN)(L)} = \text{BUI (mm/u)} * \text{OPP. BINNENTERREIN (m}^2\text{)}$

Watervolume (DAK)(L) = hoeveelheid water dat bij een gekozen bui, op de bebouwing valt.

$\text{Watervolume (DAK)(L)} = \text{BUI (mm/u)} * \text{OPP. BEBOUWING (m}^2\text{)}$

Overschot/Tekort (L)(1) = Infiltratievolume (L) – Watervolume (TUIN)(L)

Aan deze waarde is te zien of er genoeg berging aanwezig is in de huidige staat van het binnenterrein. Huidige staat van het binnenterrein is in dit geval 70% verhard en 30% onverhard.

Overschot/Tekort (L)(2) = Infiltratievolume (L) – Watervolume (TUIN)(L) – Watervolume (DAK) (L)

Deze waarde geeft aan of het mogelijk is om alle hemelwaterafvoer van de daken af te koppelen is en af te voeren naar het binnenterrein. In de rekentool wordt ervan uitgegaan dat al het water dat op bebouwing komt, naar de riolering gaat.

Infiltratievermogen (%) is het percentage van de Watervolume (TUIN)(L) dat in het binnenterrein opgevangen kan worden bij de gekozen bui.

$\text{Infiltratievermogen (\%)} = (\text{Infiltratievolume (L)} / \text{Watervolume (TUIN) (L)}) * 100$

Aantal millimeter neerslag zonder overlast = Infiltratievermogen (%) * BUI (mm/u)

MAATREGELN REKENTOOL

Bij een tekort dient er naar een oplossing gezocht te worden. Twee maatregelen zijn met behulp van de rekentool uitgewerkt. Waarom gekozen is voor deze twee maatregelen en niet voor andere oplossingen wordt in het volgende hoofdstuk nog toegelicht.

- **Maatregel 1:** Grondverbetering/opphogen met zand.
- **Maatregel 2:** Verharding weghalen/meer onverhard oppervlak creëren.

Maatregel 1. Grondverbetering of opphogen met zandgrond. Er is uitgegaan van ophoging met zand van het gehele onverharde gedeelte van het binnenterrein. In Tabel 4 is te zien dat de **winst** per 0,1 meter ophoging **28.980 Liter** is.

	Infiltratiediepte (m)	Infiltratievolume (L)
Huidige situatie	0,4	115.920
+0,1 m. opphogen met zand	0,5	144.900
Vershil	0,1	28.980

Tabel 4 Te behalen winst bij toepassing van maatregel 1

Het tekort bedraagt **77.340 Liter**, dit betekent dat er 0,27 meter met zand opgehoogd dient te worden om te kunnen voldoen aan een Bui van 60 millimeter in het uur.

Maatregel 2 verharding weghalen, meer onverhard oppervlak creëren. In Tabel 5 is te zien dat de **winst** per 10% verharding weghalen **38.652 Liter** is.

Binnenterrein	Verhard (%)	Onverhard (%)	Infiltratievolume (L)
Huidige situatie	70	30	115.956
+10% onverhard	60	40	154.608
Verschil	10%	10%	38.652

Tabel 5 Te behalen winst bij toepassing van maatregel 2

Bij het toepassen van maatregel 2 hoeft er niet veel gerekend te worden. In de rekentool wordt in een tabel weergegeven wat het benodigde percentage onverhard is bij een bui van 60 millimeter in het uur. De tabel geeft 50% procent onverhard aan om precies een bui van 60 mm/u op te kunnen vangen (Tabel 6).

	Infiltratievolume (L)	Watervolume (TUIN) (L)	Overschot/Tekort (L)	Watervolume (DAK) (L)	Overschot/Tekort (L)
VERHARD/ONVERHARD (TUIN)					
Huidige situatie	115.920	193.260	-77.340	193.260	-270.600
0%/100%	386.520	193.260	193.260	193.260	0
10%/90%	347.868	193.260	154.608	193.260	-38.652
20%/80%	309.216	193.260	115.956	193.260	-77.304
30%/70%	270.564	193.260	77.304	193.260	-115.956
40%/60%	231.912	193.260	38.652	193.260	-154.608
50%/50%	193.260	193.260	0	193.260	-193.260
60%/40%	154.608	193.260	-38.652	193.260	-231.912
70%/30%	115.956	193.260	-77.304	193.260	-270.564
80%/20%	77.304	193.260	-115.956	193.260	-309.216
90%/10%	38.652	193.260	-154.608	193.260	-347.868
100%/0%	0	193.260	-193.260	193.260	-386.520

Tabel 6 Watervolumen Bouwblok 1 (rekentool)

Uiteindelijk is het van belang om te weten welke maatregel effectiever is en hoeveel werk er verzet moet worden om Bouwblok 1 van Regenwaterknelpunt 41 regenbestendig te maken (Tabel 7).

	Huidige staat	Maatregel 1	Maatregel 2
Aantal millimeter neerslag zonder overlast	36	63	60
Benodigd		0,3 meter ophogen	+20% onverhard

Tabel 7 Benodigde hoeveelheden voor Rainproof bij Bui 60 mm/u

Voor beide maatregelen wordt ervan uitgegaan dat bouwblok 1 uit ca. **50 percelen** bestaat. Elk perceel heeft een tuin van 64,4 m² (OPP. BINNENTERREIN (m²)/aantal percelen = 3221 m² / 50 percelen)

Maatregel 1

Het ophogen van 0,3 meter met zand staat in dit geval gelijk aan **ca. 290 m³ grond** storten in het binnenterrein. Volume grond (m³) = ophoging (m) * OPP. ONVERHARD (binnenterrein)(m²) = 0,3 (m) * 966 (m²) = 289,8 m³
Dan is het binnenterrein bestand tegen een bui van 63 millimeter in het uur.

Om exact te voldoen aan een bui van 60 millimeter in het uur dient er 0,27 meter opgehoogd te worden en dit staat weer gelijk aan **ca. 260 m³ grond**.

Dikte ophoging (m) = (Tekort (L) / Winst liters per 0,1 meter (L/0,1m)) * 0,1

Per bewoner/eigenaar is dit 5,2 m³ grond. (260 m³/50 percelen)

Maatregel 2

Voor een toename van 20% onverhard oppervlak dient 20% verharding verwijderd te worden.

OPP VERHARD VERWIJDEREN (m²) = PERCENTAGE (%) * OPP BINNENTERREIN = 0,2 * 3221 (m²) = 644,2 m²
Dit betekent **ca. 644 m² verharding verwijderen**.

Omgerekend naar standaard betonnen stoeptegels van **30x30cm** zijn dit ruim **7000 tegels** die verwijderd moeten worden om het binnenterrein bestand te maken tegen een bui van 60 millimeter in het uur.

Per bewoner/eigenaar zijn dit 140 tegels. (7000 tegels/50 percelen)

8 KOSTEN BATEN VAN MAATREGELEN/OPLOSSINGEN

In Hoofdstuk 6 is een aantal maatregelen genoemd die kunnen bijdragen aan een regenbestendig leefomgeving. In dit hoofdstuk worden alle mogelijke maatregelen uitgewerkt op basis van de resultaten uit de rekentool van het binnenterrein van Bouwblok 1 (Regenwaterknelpunt 41). Deze uitwerkingen dienen meer inzicht te verschaffen in de haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie van de maatregelen.

8.1 UITWERKINGEN MAATREGELEN

Als uitgangspunt wordt het binnenterrein Bouwblok 1 van de voorbeeldcasus genomen en wordt uitgegaan van 50 percelen/bewoners. Het binnenterrein is 3321 m², per perceel 64,4 m². Bouwblok 1 heeft bij een Bui van 60 millimeter in het uur een tekort aan **77.340 Liter**.

In Tabel 8 een overzicht van de kosten en aantal liters buffercapaciteit van de onderzochte maatregelen.

	Buffercapaciteit (L)	Totale kosten (€)	Kosten per perceel (€)
Ophogen/Grondverbetering	77.340	€ 4.420,-	€ 89,-
Onttegenen	77.340	€ 2.254,-	€ 45,-
Regenton	77.500	€20.150,-	€ 390,-
Bomen planten	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Infiltratiekragen	77.400	€ 35.991,-	€ 720,-
Groene daken	77.355	€ 17.190,-	€ 344,-
Wadi	77.340	€ 16.653,-	€ 333,-
Regenwaterinstallatie	80.000	€ 17.120,-	€ 343,-
Afkoppelen regenpijpen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Doorlatende verharding*	77.340	€ 2.254	€ 45,-

Tabel 8 Overzicht kosten en buffercapaciteit van onderzochte maatregelen

(*kosten van doorlatende verharding kan nog flink oplopen, afhankelijk van ander gekozen materiaal (grind, houtsnippers, vlonders) in plaats van hergebruik van tegels in open verband leggen en wie de arbeid verricht (zelf of commercieel bedrijf).

Maatregel 1 Ophogen/Grondverbetering

Om de bui van 60 millimeter in het uur op te kunnen vangen dient er 0,27 meter opgehoogd te worden. Het 0,27 meter ophogen in het binnenterrein van het onverhard oppervlak staat in dit geval gelijk aan het storten van 260 m³ grond.

Prijs ophoogzand inclusief BTW per kuub: (Gebr. van der Voort, 2019)

	Prijs/15 m ³	260 m ³ storten (270 m ³)	Prijs/perceel
Ophoogzand (fijn zand)	€ 250,-	€ 4500,-	€ 90,-

Prijs teelaarde inclusief BTW per kuub: (Stuyver, Gebr. Baars, 2019)

	Prijs/m ³	260 m ³ storten	Prijs/perceel
Teelaarde	€ 17,-	€ 4.420,-	€ 88,40

De prijzen van ophoogzand en teelaarde liggen niet ver uit elkaar. Voor beide soorten zijn de **kosten per perceel ca. € 90,-**. De verwerkingskosten zijn nog niet meegerekend. Beide grondsoorten hebben een goede doorlatendheid en zijn geschikt voor infiltratie (BIJLAGE II).



Maatregel 2 Onttegelen/Groen erin

Voor een toename van 20% onverhard dient 20% verharding verwijderd te worden en dit staat gelijk aan **ca. 644 m² verharding**. Omgerekend naar tegels van **30x30cm** zijn dit wel ruim **7000 tegels** die verwijderd moeten worden. Per bewoner of perceeleigenaar dient dan ongeveer **140 tegels** van 30x30cm te verwijderen.

Verwijderen van 10% verharding is gelijk aan het vergroten van de infiltratie met 38.652 Liter.

De kosten bij het onttegelen zijn afhankelijk van: hergebruik of afvoer.

- Hergebruik: kosten zijn hoofdzakelijk arbeidskosten, deze zijn nihil indien het zelf wordt gedaan.
- Afvoer: kosten die hieronder vallen zijn verwijderings-, vervoer- en afvoer(stort)kosten.

Gemiddeld € 4,40 (ex. BTW) per vierkante meter (m²), uitvoering door bedrijf hierbij zit alles inbegrepen, van het onttegelen tot aan het afvoeren van de tegels.

644 (m²) * € 4,40 = € **2.833,60**

Per perceel zijn de kosten ca. € 57,-

Gemiddeld € 3,50 (ex. BTW) per vierkante meter (m²), uitvoering door bewoner of eigenaar. De kosten zitten voornamelijk in de afvoer.

644 (m²) * € 3,50 = € **2.254,-**

Per perceel zijn de kosten ca. € 45,-

De kosten zijn indicatief op basis van het project 'Tegels eruit, groen erin!' en de kosten voor het groen worden niet berekend. De kosten voor het groen zijn veel te sterk variabel.

Maatregel 3 Regenton

De regenton is de eenvoudigste manier om regenwater te benutten. Bovendien is het een regenwaterbuffervoorziening die gemakkelijk te installeren is bij woningen. Een regenton heeft helaas maar beperkte berging.

In het rekenvoorbeeld is een tekort van 77.340 liter wateropslag geconstateerd bij een piekbui van 60 millimeter in het uur. Stel er worden regentonnen van wel 500 liter geplaatst, dan zijn er ruim 150 regentonnen benodigd om al het water op te kunnen vangen.

Aantal regentonnen = Tekort (L)/ Bergingscapaciteit per regenton (L) = 77.340 (L)/ 500 (L) = **155 regentonnen**

Uitgaande van een lage prijs van € 130,- per regenton. Totaalprijs = (155 * € 130,-) = € **20.150,-**

De kosten lopen al snel op in de tienduizenden en er dienen per perceel drie of meer regentonnen van 500 liter geplaatst te worden.

Uitgaande van drie regentonnen per perceel bedragen de **kosten per perceel € 390,-** (3 x € 130,-)

Een regenton is prettig om er extra bij te nemen, maar niet om de wateroverlastproblemen bij een piekbui van 60 millimeter in het uur of meer primair op te lossen.

Maatregel 4 Bomen planten

Een boom planten is heel aantrekkelijk. Zeker heeft een boom ook zijn effecten voor het klimaat. Een volwassen boom kan gemiddeld 300 liter water per dag opnemen, afhankelijk van de soort en leeftijd. Bij een piekbui van 60 millimeter in het uur mist het dan zijn effect. Na een piekbui kunnen bomen en groen wel voor evaporatie zorgen, maar dit is te weinig om de wateroverlastproblemen bij een piekbui op te lossen. Bomen dragen in belangrijke mate bij tegen het hitte-eilandeffect en zijn goed voor insecten, vogels en ecologie.

Om een indicatie te geven wat de kosten zijn voor het planten van een boom zie Tabel 9.

Soort	Gemiddelde prijs
Kosten hovenier per uur	€ 30,- tot € 60,-
Kosten hovenier per dagdeel	Circa € 200,-
Transport boom*	tot € 200,-
Planten boom	€ 50,- tot € 900,-
Boom planten: beuk per stuk	€ 25,- tot € 165,-
Boom planten: eik per stuk	€ 15,- tot € 75,-
Boom planten: sierappel per stuk	€ 25,- tot € 80,-
Boom planten: kastanjeboom per stuk	€ 40,- tot € 75,-
Boom planten: esdoorn per stuk	€ 30,- tot € 75,-

Tabel 9 Kosten planten van bomen (Werkspot, 2019)

(*Bij gebruik van hijskraan en leges € 1.200,- (Ralph Stuyver))

Maatregel 5 Infiltratiekratten

Een technische maatregel is het plaatsen van infiltratiekratten. Hieronder een aantal aandachtspunten:

- Bij een bovenlaag met veel klei of leem is deze maatregel minder geschikt omdat het water niet snel in de bodem zakt.
- Houd rekening met minimaal 25 cm dekking.
- Leg de krat ongeveer een halve meter boven de gemiddelde grondwaterstand.

Infiltratiekratten zijn in verschillende soorten en maten verkrijgbaar.

Voor de berekening van de kosten is uitgegaan van een infiltratiekrat van 600 Liter, 120x120x40cm (oppervlak is 1,44 m²) en deze kost € 279,- per stuk (PVC Voordeel, 2019).

Om het tekort van 77.340 Liter op te kunnen vangen zijn er 129 infiltratiekratten nodig.

Aantal infiltratiekratten = Tekort (L) / Berging per krat (L) = 77.340 / 600 = **129 infiltratiekratten**

Kosten totaal 129 stuks = (129 * € 279,-) = **€ 35.991,-**

Per perceel zijn de kosten ca. € 720,- (€ 35.991/ 50 percelen)

Bij het plaatsen van deze infiltratiekratten dient tussen maaiveld en grondwaterstand 1,15 meter ruimte te zijn. Dekking + hoogte infiltratiekrat + 0,5 meter boven grondwaterstand = 0,25 + 0,4 + 0,5 = 1,15 meter.

Er kan gekozen worden voor een minder hoge infiltratiekrat, wat wel betekent dat de bergingscapaciteit van de infiltratiekrat lager zal zijn.

De kosten lopen aardig op en in feite wordt alleen nog het product gekocht, zonder installatiekosten of het werk dat ermee gepaard gaat. Gezien de benodigde ruimte in de ondergrond om dit systeem te plaatsen voor een optimale werking, lijkt dit niet haalbaar voor de bouwblokken van de Regenwaterknelpunten. De ruimte (infiltratielaag) tussen maaiveld en grondwaterstand van de bouwblokken zijn relatief laag, de waarden liggen tussen 0,3 en 0,8 meter (BIJLAGEN IV en V).

Maatregel 6 Groene daken

Groene daken helpen bij het hemelwater op te vangen. De substraatlaag en de plantenwortels houden het water vast en geven het langzaam weer af. Hoe meer neerslag tijdens hoosbuien opgevangen wordt door groene daken, hoe minder riolen overbelast raken.

Voor het afstudeeronderzoek en de berekeningen is ervan uitgegaan dat alle bebouwing en daken het water direct afvoeren naar het riool. Deze waterhoeveelheden komen niet in het binnenterrein terecht. Dus het toepassen van groene daken helpt voor dit onderzoek niet om de waterproblemen in het binnenterrein op te lossen.

Om toch de kostenefficiëntie van groene daken te onderzoeken, wordt een berekening gemaakt. Stel dat het tekort van 77.340 Liter van de daken komt.

Maximaal te behalen is 135 liter per m² en de prijs is gemiddeld € 50,-/m², maar met subsidie vanuit de gemeente is de prijs gemiddeld € 30,-/m² (Gemeente Amsterdam, 2019).

Het tekort van 77.340 liter op te kunnen vangen is 573 m² groen dak nodig.
OPP GROEN DAK (m²) = TEKORT (L) / (CAPACITEIT/ m²) = 77.340 / 135 = 573 m²

Dit beslaat 12% van het gehele dakoppervlak van de bebouwing van het bouwblok.
(573 m² GROEN DAK) / (4803 m² BEBOUWING) *100 = 12%

Kosten om 77.340 Liter op te vangen is **€ 28.650,- zonder subsidie en met subsidie € 17.190,-**.
(573 m² * € 50,-/m² zonder subsidie) en (573 m² * € 30,-/m² met subsidie)
Per perceel bedragen de kosten € 573,- zonder subsidie en € 343,80 met subsidie.

Maatregel 7 Wadi

De werking van de wadi is sterk afhankelijk van de hoogte van het grondwater en de mate waarin de grond water doorlaat. Bij te hoge grondwaterstand of kleigrond kan de wadi het water niet kwijt en werkt het systeem niet. Voor een goedwerkende wadi moet het maximale grondwaterpeil 1,5 meter onder het maaiveld zijn.

De binnenterreinen in het onderzoek hebben een maximaal grondwaterpeil van 0,3 tot 0,8 meter onder het maaiveld. Dit is te gering om een goedwerkende wadi aan te leggen. Ook is het moeilijk om een berekening te maken hoe groot de wadi gedimensioneerd moet worden. De binnenterreinen bestaan vaak uit verschillende percelen met verschillende bewoners/eigenaren. De NAP-hoogten in het binnenterrein kunnen enorm verschillen en voor de berekeningen is uitgegaan van een gemiddeld maaiveldhoogte. Het is niet realistisch om een berekening te maken voor één grote wadi die al het water op kan vangen. Een wadi kan in een bouwblok beter op perceelniveau geadviseerd worden, mits het maximale grondwaterpeil toereikend is.

Om toch inzicht in de kosten van een wadi te krijgen is een berekening gemaakt. Het is een grove berekening van de kosten en zij berust op prijzen van een wadi voor in de openbare ruimte.
Aanlegkosten per aangesloten vierkante meter (m²):
Wadi: € 5,17/m² (incl. BTW, prijspeil 2005) (Boogaard F., 2006)

Het binnenterrein van bouwblok 1 is 3221 m². Om een wadi aan te leggen, waar al het water dat op het binnenterrein valt naar de wadi geleid wordt, zijn de kosten 3221 * € 5,17 = **€ 16.652,57**
Per perceel bedragen de kosten ca. € 333,-.

Maatregel 8 Regenwaterinstallatie

Een huisinstallatie voor het gebruik van regenwater bestaat uit de volgende componenten: een reservoir, een pomp, aansluiting op gebruikspunten, een overstort en een suppletievoorziening. De reservoirinhoud moet op de beschikbare hoeveelheid neerslag en op het te verwachten gebruik gedimensioneerd worden. Het teveel aan regenwater wordt overgestort en kan in de tuin vastgehouden worden of bij gebrek aan een tuin of ruimte afgevoerd worden via het regenwaterriool.

Kostenplaatje om het tekort van 77.340 Liter op te vangen in regenwaterreservoirs in Tabel 10.
De kosten zijn berekend aan de hand van gegeven prijzen (ex. BTW) door een adviseur van GEP-rethinking water. Voor de berekening is gekozen voor het goedkoopste alternatief (Macken, 2017).

	Aantal benodigd	Prijs/stuk	Totaalprijs
Reservoir (beton)(10.000 L)	8	€ 1.000,-	€ 8.000,-
Pomp	8	€ 500,-	€ 4.000,-
Drijvende aanzuigleiding	8	€ 80,-	€ 640,-
Filter (grof)	8	€ 250,-	€ 2.000,-
Filter (fijn)	8	€ 180,-	€ 1.440,-
Verplichte keuring	8	€ 130,-	€ 1.040,-
Installatiekosten	vacant	vacant	vacant
Totaalprijs		€ 2.140,-	€ 17.120,-

Tabel 10 Kosten regenwaterinstallatie (GEP) (Macken, 2017)

In de berekende kosten in Tabel 10 ontbreken nog de installatiekosten. De kosten voor het plaatsen van een regenwaterinstallatie zijn moeilijk te bepalen omdat dit heel erg afhankelijk is van de situatie. Gaat het over nieuwbouw of renovatie, is de plaats makkelijk te bereiken, zijn er veel graafwerken nodig, - dit zijn allemaal factoren die de prijs bepalen. Dus houdt er rekening mee dat de kosten voor een volledige regenwaterinstallatie hoger uitvallen.

De totale kosten om 80.000 liter op te vangen met acht regenwaterinstallaties bedraagt € 17.120,- zonder installatiekosten.

Per perceel zijn de kosten € 342,40 (€17.120,- / 50 percelen)

Maatregel 9 Afkoppelen regenpijpen (Hemelwaterafvoer HWA)

Voor de bouwblokken in het onderzoek is dit helaas in veel gevallen niet mogelijk. De hoeveelheden water die in het binnenterrein vallen, zijn al nauwelijks op te vangen met de huidige staat van het binnenterrein. Vaak is de hoeveelheid water die op de daken valt en afgevoerd moet worden, nog meer dan wat in het binnenterrein valt. Dit is heel goed te zien in de uitwerkingen van de bouwblokken van de Regenwaterknelpunten 41 en 45 (BIJLAGEN IV en V). Ook is dit geen aantrekkelijke oplossing voor een bewoner/eigenaar van een bouwblok, want voor het afkoppelen van een regenpijp/hemelwaterafvoer (HWA) is deskundigheid vereist en aan het afkoppelen zijn kosten verbonden.

Maatregel 10 Doorlatende/Waterpasserende verharding

Voor het creëren van meer onverhard oppervlak kan ook doorlatende verharding toegepast worden. Vooraf kan wel gesteld worden dat dit een additieve maatregel is op bijvoorbeeld onttegenen, grondverbetering of infiltratiekratten. Voor de berekening wordt dit buiten beschouwing gelaten en net als de andere maatregelen kan worden berekend hoeveel er nodig is om het tekort van 77.340 liter op te kunnen vangen.

Een aantal opties zijn beschikbaar bij deze maatregel.

1. Hergebruik van tegels die al liggen en een open bestratingspatroon aanleggen.
2. Poreuze betonklinkers (€ 17,71/m²) (Oprit Aanleggen, 2019)
3. Toepassing van grind (€ 95,-/m³) (Tuingrindhandel, 2019) of houtsnippers (€ 25,-/m³) (Snipperhout, 2019) of houten terras (€ 20,-/ m²) (Gadero, 2019)

Het goedkoopste alternatief is vooraf al vast te stellen en dat is optie 1, en dit wordt dan ook uitgewerkt.

Optie 1. Het hergebruik van de tegels die er al liggen. Geen kosten voor nieuwe tegels maar wel werk. Dit is te berekenen aan de hand van de resultaten van maatregel 2, het onttegenen. Om 77.340 liter op te kunnen vangen met maatregel 2 is het nodig om 644 m² verharding weg te halen, gelijk aan 7000 tegels van 30x30 cm.

De keuze hierbij is in wat voor bestratingspatroon de tegels teruggelegd worden, bij een halfopen-patroon is al het dubbele aan oppervlak benodigd om dezelfde hoeveelheid liters op te kunnen vangen. De hoeveelheid tegels die dan afgevoerd worden, blijft wel hetzelfde als bij maatregel 2, omdat de helft wordt teruggelegd.

Dus er is werk aan **1288 m²** binnenterrein, waarvan de tegels verwijderd worden. De helft van de tegels wordt teruggelegd om **73.340 liter** op te vangen. Er gaan **14000** tegels uit en **7000** tegels worden in halfopen verband teruggelegd. Per bewoner of eigenaar dienen er dan **280** tegels eruit gehaald en **140** teruggelegd te worden. Naast het kiezen om het halfopen terug te leggen, kunnen de tegels ook kopsgewijs hergebruikt worden als border. Dan hoeft er minder afgevoerd te worden. Voor de berekening van de kosten wordt hier nu niet van uitgegaan.

Dus net als bij toepassing van maatregel 2 worden 7000 tegels afgevoerd (zelf) en de kosten bedragen hiervoor **€2.254,-**. Per perceel zijn de kosten ca. **€ 45,-**.

De kosten van de doorlatende verharding kan nog flink oplopen, afhankelijk van ander gekozen materiaal (grind, houtsnippers, vlonders) in plaats van hergebruik van tegels in open verband leggen en wie de arbeid verricht (zelf of commercieel bedrijf). Prijzen van andere toepassingen staan hierboven vermeld.

8.2 RESULTATEN HAALBAARHEID, EFFECTIVITEIT, KOSTENEFFICIËNTIE

Nadat de maatregelen onderzocht en uitgewerkt waren, zijn de maatregelen in Tabel 11 objectief tegen elkaar uitgezet. Het benodigd oppervlak, buffercapaciteit en kosten van de maatregelen zijn hierin per maatregel verwerkt om een goede vergelijking te kunnen maken. De haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie van de maatregelen kunnen nu bepaald worden aan de hand van deze resultaten. Hieronder wordt toegelicht wat onder deze termen wordt verstaan. De resultaten van de uitwerkingen van de maatregelen hebben enkel betrekking op de binnenterreinen in Regenwaterknelpunten 41 (Bellamybuurt) en 45 (Admiraal de Ruijterweg).

Haalbaarheid

Met haalbaarheid wordt bedoeld of het toepasbaar is op de onderzochte bouwblokken. Verschaft het binnenterrein van de bouwblokken genoeg ruimte, is er genoeg ruimte in de ondergrond om deze maatregelen toe te passen? Is het realistisch om de maatregel toe te passen? Allemaal vragen die de haalbaarheid van een maatregel kunnen bepalen.

Effectiviteit

Bij effectiviteit wordt gekeken naar de winst die behaald wordt. Hoeveel verandering of werk is nodig om het gewenste effect te bereiken? Wat is eigenlijk het rendement van een maatregel? Ook wordt hierbij getoetst of de maatregel effect heeft op het beoogde doel.

Kostenefficiënt

Hoe kostenefficiënt een maatregel is, hangt af van twee factoren. Dat zijn de kosten en de effectiviteit van de maatregel. Om de kostenefficiëntie van de maatregelen te kunnen vergelijken, zijn voor bijna alle maatregelen de kosten berekend. Elk maatregel moest voldoen aan dezelfde wateropgave van Bouwblok 1, een tekort van 77.340 liter. Zo kan aan de hand van de kosten bepaald worden welke maatregel het meest kostenefficiënt is.

	Oppervlak benodigd (m ²)	Buffercapaciteit (L)	Totale kosten (€)	Kosten per perceel (€)
Ophogen/Grondverbetering	966	77.340	€ 4.420,-	€ 89,-
Orntegelen	644	77.340	€ 2.254,-	€ 45,-
Regenton	*100	77.500	€20.150,-	€ 390,-
Bomen planten	**n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Infiltratiekratten	186	77.400	€ 35.991,-	€ 720,-
Groene daken	573	77.355	€ 17.190,-	€ 344,-
Wadi	150	77.340	€ 16.653,-	€ 333,-
Regenwaterinstallatie	56	80.000	€ 17.120,-	€ 343,-
Afkoppelen regenpijpen	**n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Doorlatende verharding	1288	77.340	€ 2.254,-	€ 45,-

Tabel 11 Resultaten aan de hand van Uitwerkingen maatregelen

*maatregel 3 Regenton is uitgewerkt maar 3 regentonnen per perceel blijft niet realistisch

**deze maatregelen zijn niet doelmatig voor het snel opvangen van 60 mm/u piekbuien

Wat centraal staat in dit onderzoek, is de haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie van de maatregelen. Als we bedenken welke maatregelen aantrekkelijk zijn voor bewoners/eigenaren van de onderzochte bouwblokken en welke factoren daarin een rol spelen, dan valt een aantal maatregelen weg. Ook vallen enkele maatregelen weg omdat deze niet toepasbaar zijn op de onderzochte bouwblokken of geen positief effect hebben op de huidige staat van de onderzochte binnenterreinen.

Uit Tabel 11 kan geconcludeerd worden dat de maatregelen ophogen/grondverbetering, doorlatende verharding en onttegenen (in het groen) het best scoren op de onderzochte aspecten die benodigd zijn om een piekbui van 60 millimeter in het uur op te vangen. Deze maatregelen hebben invloed op het infiltratievermogen van de binnenterreinen. Om genoeg infiltratiecapaciteit te hebben om de piekbuien op te kunnen vangen, dienen de binnenterreinen voldoende onverhard te zijn. Een ander belangrijk aspect voor de infiltratie is dat het grondpakket goed en dik genoeg is om het water bij een piekbui te laten infiltreren.

De kosten van de drie maatregelen zijn relatief laag in vergelijking tot de overige maatregelen en treffen doel. Door de lage kosten zijn deze maatregelen kostenefficiënter dan de overige maatregelen. Het enige verschil tussen de drie maatregelen zijn de kosten en het werk dat erbij komt kijken voor een bewoner/eigenaar. Tegels of verharding uit de tuin halen en laten afvoeren lijkt toch gemakkelijker dan het ophogen van de tuin. Het toepassen van doorlatende verharding, in de zin van hergebruik van tegels, is eigenlijk in de maatregel onttegenen/vergroenen geïmplementeerd. In wezen wordt hetzelfde gedaan, alleen dient er voor doorlatende verharding meer ruimte beschikbaar te zijn en vergt het meer werk om hetzelfde doel te bereiken.

Wat betreft het ophogen in de tuin is vaak wel meer expertise benodigd omdat het grote hoeveelheden zijn en het grote oppervlakten zijn die bewerkt moeten worden. Vooral bij grote hoeveelheden waarbij groot materieel nodig is, is dat het minder aantrekkelijk voor een bewoner of eigenaar.

Kortom, het vergroten van de infiltratiecapaciteit, door een van de groene oplossingen in Tabel 11, is het meest kostenefficiënt voor de onderzochte binnenterreinen. Dit volgt niet alleen uit het onderzoek van de maatregelen, maar kan ook geconcludeerd worden op grond van de regenwaterplannen die opgesteld zijn aan de hand van de tuinbezoeken die zijn uitgevoerd voor het project 'Tegels eruit, groen erin!'. Tijdens de tuinbezoeken kwam voortdurend naar voren dat men graag wil vergroenen en zoekt naar natuurlijke oplossingen. Uiteindelijk wil iedereen veel effect, lage kosten (of geen kosten) en natuurlijk waar mogelijk het werk zelf doen om de kosten nog eens te drukken.

9 RESULTATEN BOUWBLOKKEN REGENWATERKNELPUNTEN 41 EN 45

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de Bouwblokken die uit de rekentool zijn gekomen geanalyseerd. De vraag rest nu wat er nodig is voor de bouwblokken in de Regenwaterknelpunten 41 en 45 om rainproof te worden voor een bui van 60 millimeter in het uur. De uitwerkingen van de bouwblokken zijn terug te vinden in de BIJLAGEN V en VI.

Onderstaand worden in de tabellen en afbeeldingen de resultaten weergegeven voor de toepassing van de maatregelen ophogen en verharding verwijderen.

9.1 REGENWATERKNELPUNT 41 BELLAMYBUURT



Figuur 24 Nummering bouwblokken Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt

In Tabel 12 en 13 worden in de kolommen 2 t/m 5 de huidige situatie van het binnenterrein weergegeven. In kolom 2 en 3 de verhoudingen verhard/onverhard oppervlak van het binnenterrein. In kolom 3 de huidige infiltratielaag die beschikbaar is. In kolom 5 staat hoeveel millimeter in het uur in het binnenterrein opgevangen kan worden.

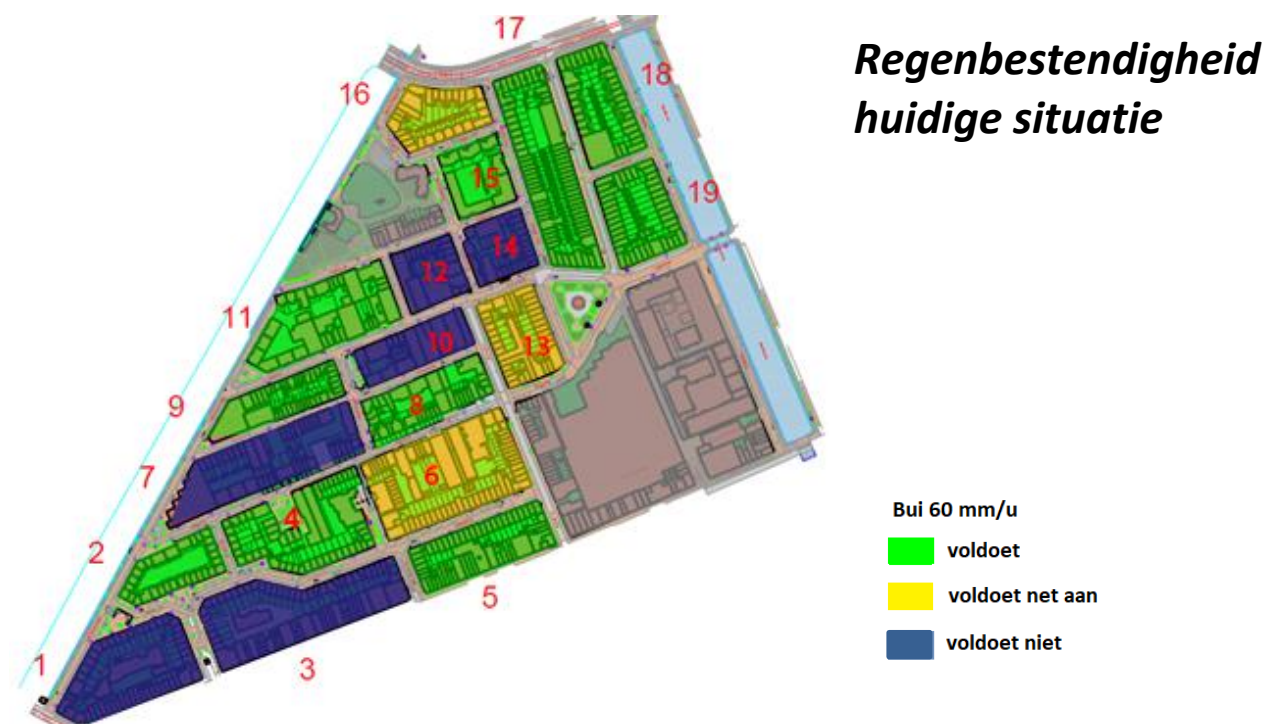
Daarnaast staan in kolommen 6 t/m 9 de toegepaste maatregelen. M1 staat voor de maatregel ophogen en M2 staat voor de maatregel verharding weghalen. Voor M1 staat in kolom 6 hoeveel opgehoogd moet worden om het binnenterrein regenbestendig voor te maken. In kolom 7 staat hoeveel millimeter in het uur opgevangen kan worden nadat maatregel ophogen is toegepast. Voor M2 staat in kolom 8 hoeveel procent verharding weggehaald moet worden om het binnenterrein regenbestendig te maken. In kolom 9 staat hoeveel millimeter in het uur opgevangen kan worden na toepassing van maatregel.

Voor in de laatste drie kolommen, staan de nieuwe mogelijke regenbestendige situaties. De keuze is dan om te kiezen voor de maatregel ophogen of om verharding weg te halen.

Binnenrein (BOUWBLOK)	HUIDIGE SITUATIE			MAATREGELEN				REGENBESTENDIGE SITUATIE			
	Verhard (%)	Onverhard (%)	Infiltratielaag (m)	Huidig (mm/u)	Toepassen M1 (m)	M1 (mm/u)	Toepassen M2 (%)	M2 (mm/u)	Verhard (%)	Onverhard (%)	Infiltratielaag (m)
1	70	30	0,4	36	0,3	63	20	60	50	50	0,7
2	10	90	0,5	75					10	90	0,5
3	70	30	0,4	36	0,3	63	20	60	50	50	0,7
4	60	40	0,7	84					60	40	0,7
5	70	30	0,8	72					70	30	0,8
6	50	50	0,4	60	0,1	75	10	72	40	60	0,5
7	65	35	0,4	42	0,2	63	15	60	50	50	0,6
8	50	50	0,5	75					50	50	0,5
9	50	50	0,5	75					50	50	0,5
10	80	20	0,6	36	0,4	60	20	72	60	40	1
11	60	40	0,6	72					60	40	0,6
12	70	30	0,3	27	0,4	63	40	63	30	70	0,7
13	60	40	0,5	60	0,1	72	10	75	50	50	0,6
14	60	40	0,3	36	0,2	60	30	63	30	70	0,5
15	40	60	0,5	90					40	60	0,5
16	50	50	0,4	60	0,1	75	10	72	40	60	0,5
17	50	50	0,5	75					50	50	0,5
18	60	40	0,6	72					60	40	0,6
19	50	50	0,5	75					50	50	0,5
GEMIDDELDEN	57	43	0,5	61	0,2	66	19	66	47	53	0,6

Tabel 12 Resultaten Regenwaterknelpunt 41 (Bellamybuurt)

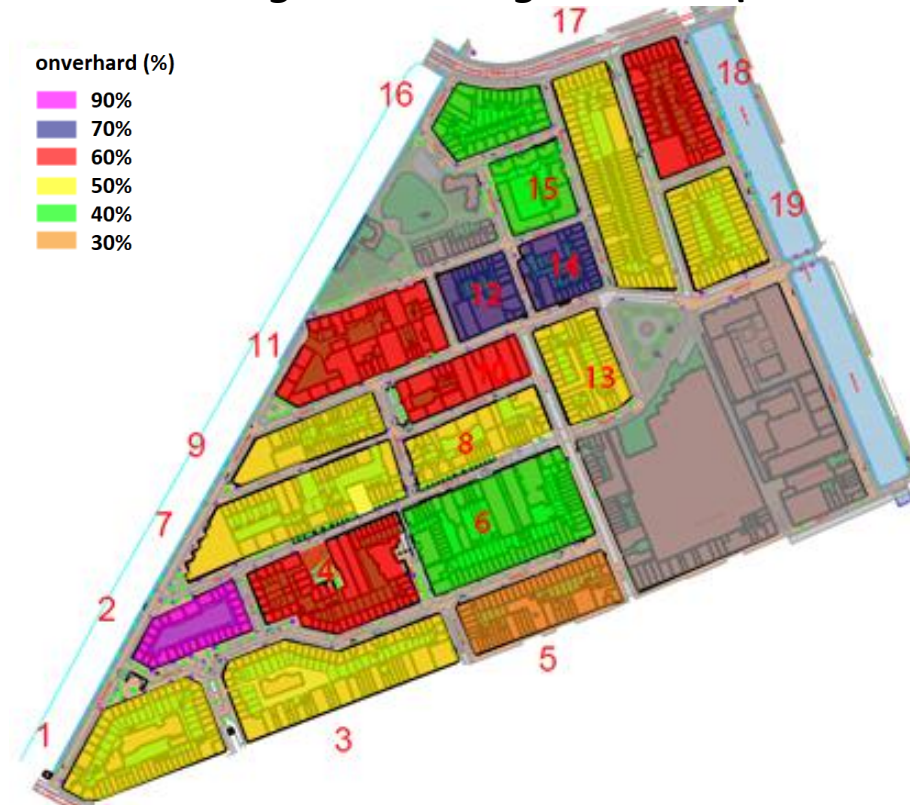
De waarden verhard en onverhard in de huidige situatie komen gemiddeld overeen met het in 2016 uitgevoerde onderzoek naar de verstening van dezelfde binnenterreinen in de Bellamybuurt (Stuyver, Inventarisatie binnenterreinen Bellamybuurt, 2016). Bij Tabel 12 is Figuur 25 toegevoegd om een overzicht te geven in welke binnenterreinen de grootste problemen zijn bij een bui van 60 millimeter in het uur.



Figuur 25 Overzicht regenbestendigheid van de bouwblokken Regenwaterknelpunt 41 bij Bui van 60 mm/u

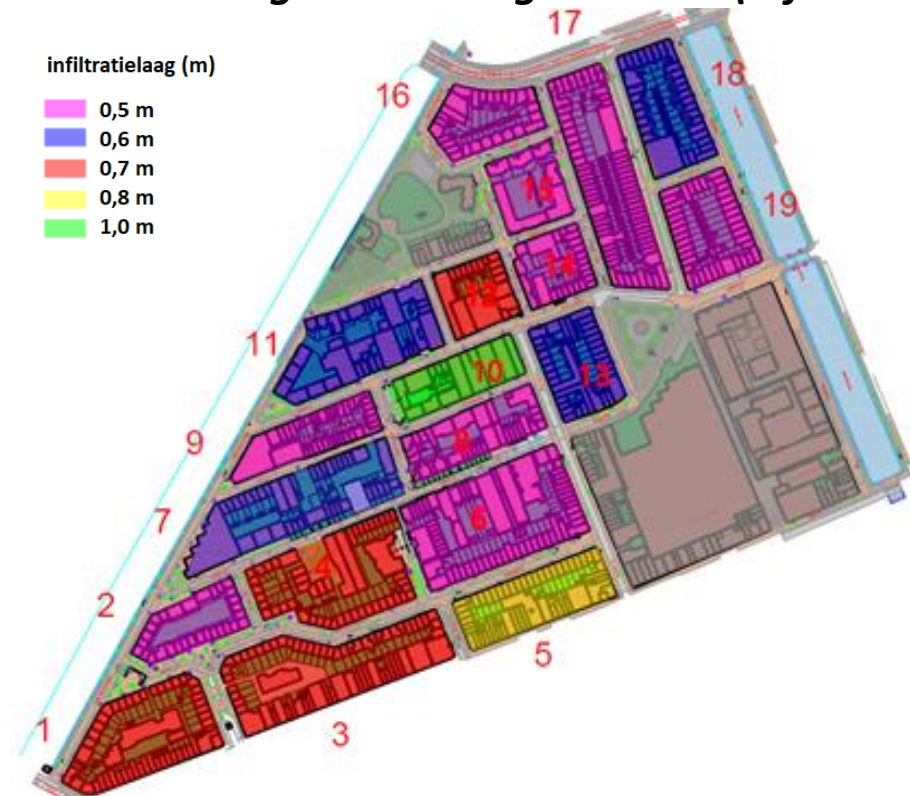
Voor Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt zijn de percentages onverhard oppervlak voor de binnentuinen bepaald voor in de regenbestendige situatie (Tabel 12). In Figuur 26 wordt dit op kaart weergegeven. Ook is bepaald hoeveel ophoging gewenst is, als de mogelijkheid tot het verwijderen van verharding niet aanwezig is. Deze waarden, de benodigde hoogten van de infiltratielagen, staan in de laatste kolom van Tabel 12. De benodigde hoogten van de infiltratielagen wordt in Figuur 27 op kaart weergegeven.

Gewenste Regenbestendige situatie (onverhard)



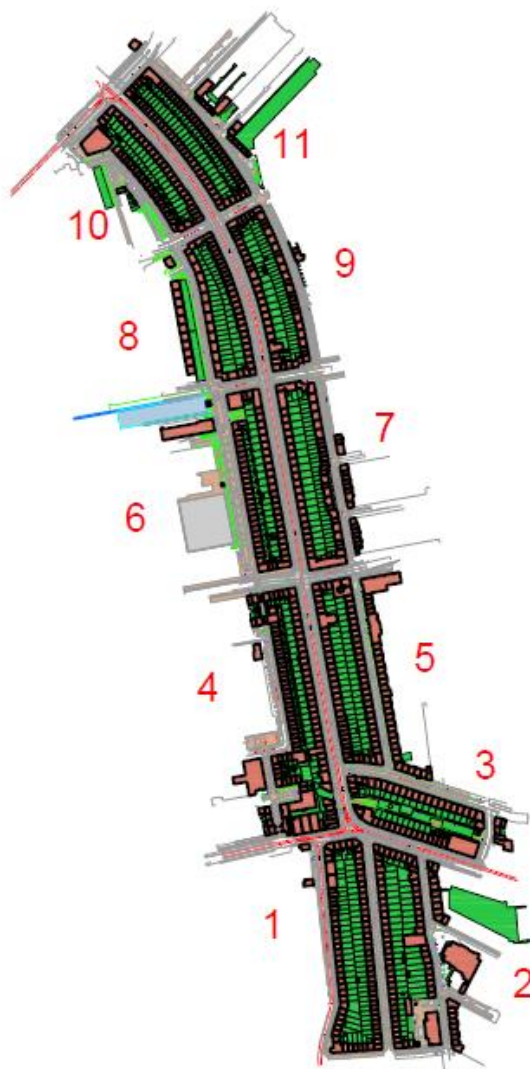
Figuur 26 Overzicht percentages onverhard bouwblokken in regenbestendige situatie.

Gewenste Regenbestendige situatie (infiltratielaag)



Figuur 27 Overzicht hoogten infiltratielaag bouwblokken in regenbestendige situatie.

9.2 REGENWATERKNELPUNT 45 ADMIRAAL DE RUIJTERWEG



Figuur 28 Nummering bouwblokken Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg

Voor Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg staan de resultaten in Tabel 13. De kolommen van Tabel 13 hebben dezelfde opbouw en systematiek als Tabel 12.

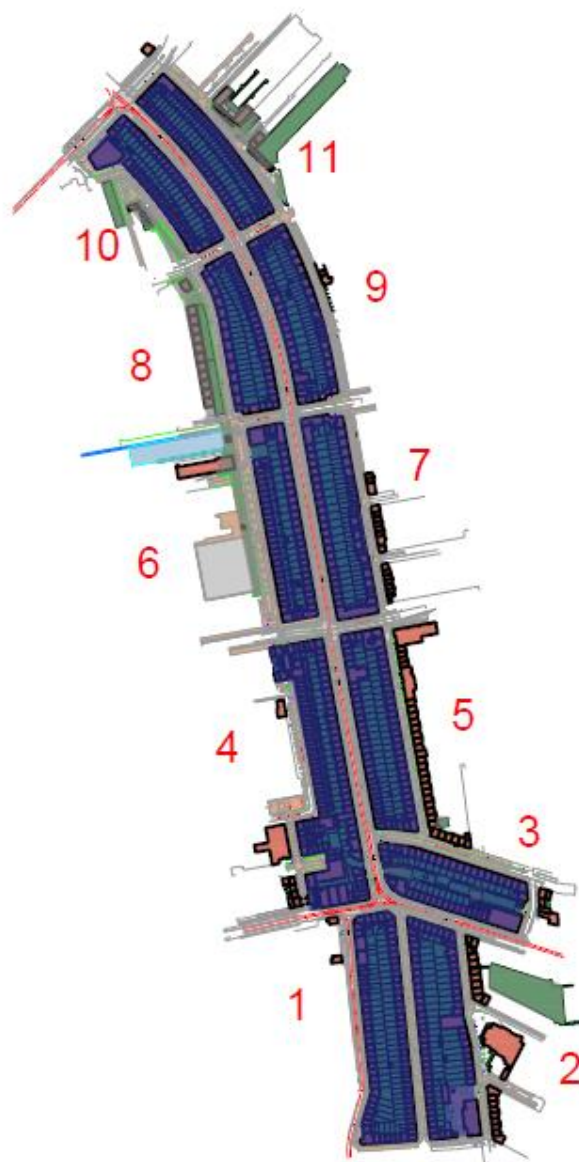
Binnenrein (BOUWBLOK)	HUIDIGE SITUATIE				MAATREGELEN				REGENBESTENDIGE SITUATIE		
	Verhard (%)	Onverhard (%)	Infiltratielaag (m)	Huidig (mm/u)	Toepassen M1 (m)	M1 (mm/u)	Toepassen M2 (%)	M2 (mm/u)	Verhard (%)	Onverhard (%)	Infiltratielaag (m)
1	40	60	0,3	54	0,1	72	10	63	30	70	0,4
2	40	60	0,3	54	0,1	72	10	63	30	70	0,4
3	70	30	0,4	36	0,3	63	20	60	50	50	0,7
4	60	40	0,3	36	0,2	60	20	63	40	60	0,5
5	50	50	0,3	45	0,1	60	20	63	30	70	0,4
6	70	30	0,3	27	0,4	63	40	63	30	70	0,7
7	60	40	0,3	36	0,2	60	30	63	30	70	0,5
8	60	40	0,3	36	0,2	60	30	63	30	70	0,5
9	70	30	0,3	27	0,4	63	40	63	30	70	0,7
10	70	30	0,3	27	0,4	63	40	63	30	70	0,7
11	60	40	0,3	54	0,2	60	30	63	30	70	0,5
GEMIDDELDEN	59	41	0,3	39	0,2	63	26	63	33	67	0,5

Tabel 13 Resultaten Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg

Bij Tabel 13 is Figuur 29 bijgevoegd om een overzicht te geven in welke binnenterreinen de grootste problemen zijn bij een bui van 60 millimeter in het uur. In Tabel 13 is al te zien dat geen enkel bouwblok in de huidige staat kan voldoen aan een piekbui van 60 millimeter in het uur.

Regenbestendigheid huidige situatie

Bui 60 mm/u
voldoet
voldoet net aan
voldoet niet

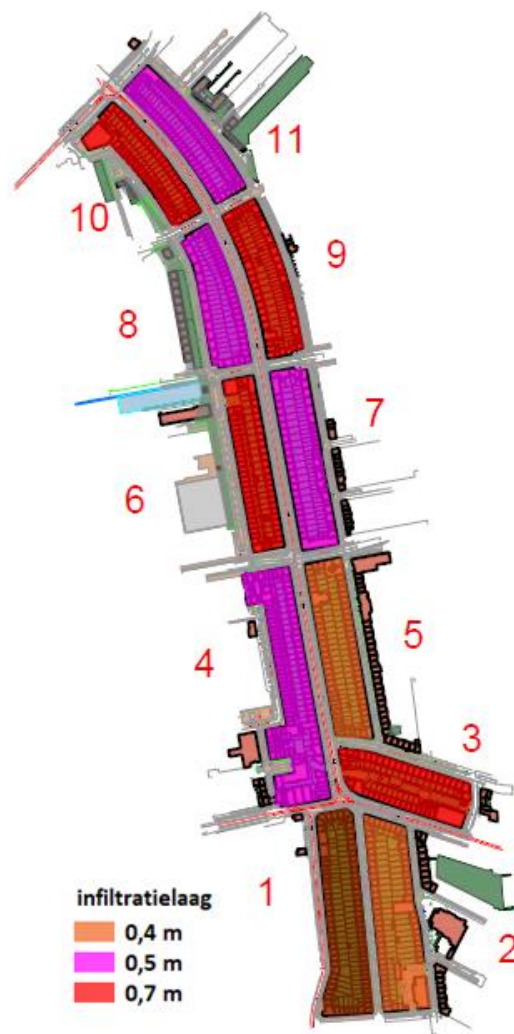
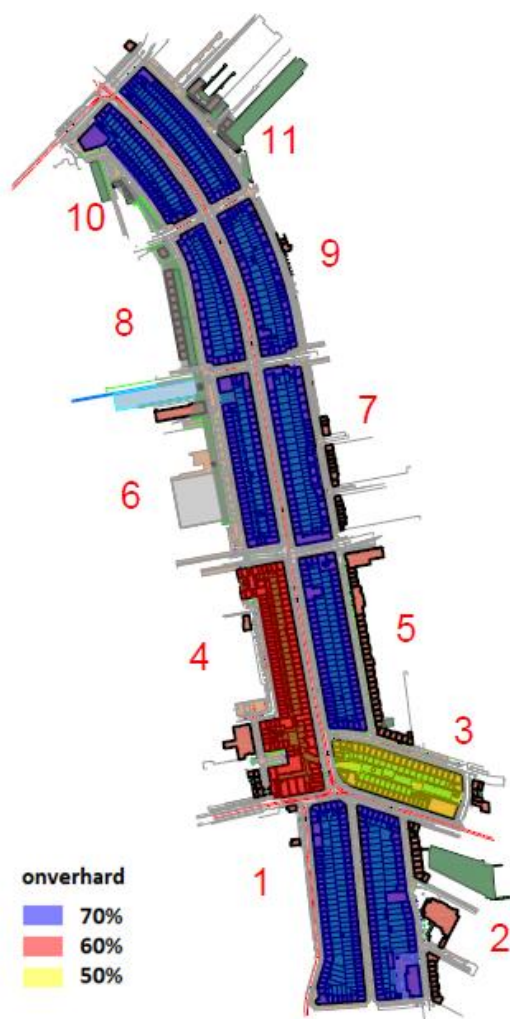


Figuur 29 Overzicht regenbestendigheid van de bouwblokken Regenwaterknelpunt 45 bij Bui van 60 mm/u

Voor Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg zijn de percentages onverhard oppervlak voor de binnentuinen bepaald voor in de regenbestendige situatie (Tabel 13). In Figuur 30 wordt dit op kaart weergegeven. Ook is bepaald hoeveel ophoging gewenst is, voor als de mogelijkheid tot het verwijderen van verharding niet aanwezig is. Deze waarden, de benodigde hoogten van de infiltratielagen, staan in de laatste kolom van Tabel 13. De benodigde hoogten van de infiltratielagen wordt in Figuur 31 op kaart weergegeven.

**Gewenste
Regenbestendige situatie
(onverhard)**

**Gewenste
Regenbestendige situatie
(infiltratielaag)**



Figuur 30 Overzicht percentages onverhard bouwblokken in regenbestendige situatie.

Figuur 31 Overzicht hoogten infiltratielaag bouwblokken in regenbestendige situatie.

10 CONCLUSIES EN ADVIES

Gedurende het onderzoek heeft de volgende onderzoeksvraag centraal gestaan:

Welke maatregelen zijn effectief voor het tegengaan van wateroverlast en zijn tevens kostenefficiënt voor de Regenwaterknelpunten 41 (Bellamybuurt) en 45 (Admiraal de Ruijterweg) binnen Amsterdam-West?

Het onderzoeksgebied bestaat uit Regenwaterknelpunten 41 Bellamybuurt en 45 Admiraal de Ruijterweg. Dit zijn twee gebieden met een verhoogd risico op wateroverlast bij piekbuien, zo is uit de gebiedsanalyse gebleken. Typeringen van binnenterreinen in deze gebieden zijn helaas niet mogelijk omdat elk bouwblok weer anders is. Bij de tuinbezoeken aan de Admiraal de Ruijterweg met het project 'Tegels eruit, groen erin!' werd duidelijk dat deze tuinen behoorlijk kampen met wateroverlast. Van plassen in de tuin tot aan water in de kelders.

Om inzichtelijk te krijgen waar de waterproblematiek vandaan kan komen, is het van belang om per bouwblok een waterbalans op te stellen. De eenvoudige waterbalans is gedurende het onderzoek in samenwerking met Buro Regen&Water geoptimaliseerd tot een geavanceerde rekentool om de buffercapaciteit te kunnen berekenen van de binnenterreinen bij verschillende piekbuien. De parameters die in de rekentool meegenomen zijn, staan in Hoofdstuk 7, 7.1 Parameters in Rekentool.

De berekening is uitgevoerd voor alle bouwblokken in de Regenwaterknelpunten 41 en 45. De uitwerkingen zijn te vinden in de BIJLAGEN V en VI en de resultaten in Hoofdstuk 9. Bij de berekening is gekozen voor een piekbui van 60 millimeter in het uur omdat dit als eis in het Gemeentelijk Rioleringsplan van Amsterdam (GRPA) is opgenomen.

Opvallend resultaat is dat geen enkel binnenterrein van Regenwaterknelpunt 45 (Admiraal de Ruijterweg) in de huidige staat een piekbui van 60 millimeter in het uur op kan vangen. Voor Regenwaterknelpunt 41 (Bellamybuurt) zijn de resultaten wat meer verdeeld, daar voldoet iets meer dan de helft van de bouwblokken aan de eis en iets minder dan de helft voldoet niet aan de 60 millimeter in het uur of zit net op de grenswaarde (Figuur 25 en 29).

Om de haalbaarheid, effectiviteit en kostenefficiëntie van de mogelijke oplossingen te kunnen bepalen zijn de verschillende maatregelen uitgewerkt in Hoofdstuk 8, en op basis van de uitkomsten zijn de maatregelen objectief tegen elkaar uitgezet. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de maatregelen tegels eruit/verharding weghalen, doorlatende verharding en ophogen/grondverbetering het best scoorden. Naast de effectiviteit en het feit dat dit door de lage kosten ook het meest kostenefficiënt is in vergelijking tot de andere maatregelen.

Door het bepalen van de buffercapaciteit van de binnenterreinen in de rekentool, is het bekend wat de tekorten zijn van een binnenterrein. De rekentool maakt het mogelijk om de infiltratiemaatregelen uit het onderzoek toe te passen en uit te rekenen, wat nodig is om te kunnen voldoen aan een piekbui van 60 millimeter in het uur.

Wat geconcludeerd kan worden uit de resultaten van Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt is dat de binnenterreinen als totaal al aan de maximale verharding van binnenterreinen zit. De bui die de Bellamybuurt gemiddeld gezamenlijk op kan vangen is 61 millimeter in het uur. Zoals eerder aangegeven is voldoet geen enkel binnenterrein van Regenwaterknelpunt 45 aan de eis van 60 millimeter in het uur. Het gemiddelde van Regenwaterknelpunt 45 ligt ook drastisch laag, wel te verstaan 39 millimeter in het uur.

Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt (19 bouwblokken):

In de huidige situatie voldoen 10 binnenterreinen aan de eis, 3 zitten op de grens en 6 voldoen niet.

- Gemiddeld 43% onverhard
- Gemiddeld infiltratielaag 0,5 meter
- Gemiddeld op te vangen 61 millimeter in het uur

In de regenbestendige situatie voldoen alle bouwblokken van Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt.

- Gemiddeld 53% onverhard of Gemiddeld infiltratielaag 0,6 meter
- Gemiddeld op te vangen 72 millimeter in het uur

Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg (11 bouwblokken):

In de huidige situatie voldoet geen enkel binnenterrein aan de eis om 60 millimeter in het uur op te vangen.

- Gemiddeld 41% onverhard
- Gemiddeld infiltratielaag 0,3 meter
- Gemiddeld op te vangen 39 millimeter in het uur

In de regenbestendige situatie voldoen alle bouwblokken van Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg.

- Gemiddeld 67% onverhard of Gemiddeld infiltratielaag 0,5 meter
- Gemiddeld op te vangen 63 millimeter in het uur

In de praktijk wordt vaak gesteld dat een tuin tenminste tweederde onverhard en maximaal eenderde verhard moet zijn om bestand te zijn tegen piekbuien. Deze vuistregel is wel terug te zien in de resultaten van Regenwaterknelpunt 45. Om bestand te zijn tegen een bui van 63 millimeter in het uur moet gemiddeld 67% onverhard zijn.

Bij Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt valt deze gemiddelde lager uit, 53% onverhard. Dit is te verklaren door de hoge gemiddelde waarde van 0,5 meter van de infiltratielaag in vergelijking tot de 0,3 meter van Regenwaterknelpunt 45 Admiraal de Ruijterweg. De vuistregel gaat niet altijd op, ook omdat in de berekeningen van de rekentool nog tal van parameters zijn die hun invloed kunnen hebben op de resultaten. In de praktijk praat men wel van onverhard, maar hieronder wordt dan ook gras, begroeiing of bomen geschaard. Dit zijn allemaal factoren die hun invloed hebben in de mate van infiltratie die niet in de rekentool is opgenomen. In de rekentool wordt uitgegaan van 100% directe infiltratie in het onverharde oppervlak.

Ophogen is aantrekkelijk bij binnenterreinen waar de infiltratielaag niet toereikend is, zoals bij Regenwaterknelpunt 45. **Door op te hogen is de winst die er te behalen valt vaak hoger dan om verharding weg te halen.** Deze twee maatregelen zijn erg van elkaar afhankelijk. In de resultaten is te zien dat enkele binnenterreinen van Regenwaterknelpunt 45 meer dan 50% onverhard oppervlak beschikt, maar door een te lage infiltratielaag toch niet de gewenste capaciteit heeft. Andersom werkt dit net zo.

In de gebiedsanalyse bleek het al heel moeilijk om een specifiek type tuin of binnenterrein te typeren met eenduidige kenmerken. Uit de inventarisaties van de deelnemers van de 'Tegels eruit, groen erin!' kon geconcludeerd worden dat **per tuin maatwerk geprefereerd wordt**, door de diversiteit van de tuinen. Tuinen die naast elkaar gelegen zijn, verschillen in NAP-hoogten, bodemsamenstelling en grondwatersituaties.

Het advies luidt dan ook voor de bouwblokken van de Regenwaterknelpunten om te voldoen aan de toekomstige piekbuien dat per bouwblok maatwerk geleverd moet worden vanwege de diversiteit van de binnenterreinen, en **dat zeker minimaal 50% onverhard moet zijn**. De **bouwblokken in Regenwaterknelpunten 41 en 45 hebben dit minimum al overschreden.**

Het project 'Tegels eruit, groen erin!' is een goed initiatief dat zeker zijn vruchten afwerpt. Maar voor meer effectiviteit en directe infiltratie zal een volgend project 'Tegels eruit, grond erin!' ook niet misstaan.

11 DISCUSSIE EN VERDER ONDERZOEK

Over het algemeen zijn de deelvragen beantwoord. De basis is in ieder geval met dit afstudeeronderzoek gelegd. Een aantal punten kwamen in dit rapport al naar voren die beter onderzocht kunnen worden, of waarbij data niet voorhanden zijn en aannames zijn gedaan.

Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek is de ontworpen rekentool. De belangrijkste parameters zijn momenteel hierin opgenomen. Voor de berekening in de rekentool is rekening gehouden met de oppervlakten, bodemopbouw en NAP-hoogten. De oppervlakten van de bouwblokken waren nauwkeurig te bepalen met behulp van ingeladen AutoCAD-tekeningen. De oppervlakten verhard en onverhard van het binnenterrein, een belangrijke parameter in het onderzoek, werden aan de hand van Google Earth en Maps geschat. Voor het onderzoek en voor meerdere instanties zal het van waarde als er een database bestond, waar deze gegevens nauwkeuriger uit te lezen zijn.

Wat betreft de bodemopbouw is het aan te raden op locatie bodemonderzoek te doen. In de praktijk worden op locatie metingen verricht om exacte waarden te kunnen bepalen. Voor de berekeningen is uitgegaan van alleen maar ophoogzand, wat niet realistisch is. Maar ook voor exacte bodemsamenstellingen van de binnenterreinen zullen op locatie boringen verricht moeten worden. Dit geldt niet alleen voor de bodemopbouw, maar net zo goed voor het bepalen van de grondwaterstanden.

De grondwaterstanden in het onderzoek zijn overgenomen van de peilbuizen die beschikbaar zijn. Het zijn geen metingen die in de binnenterreinen van de bouwblokken verricht zijn. Voor exacte waarden is het nodig om net als bij de bodemopbouw de grondwaterstanden meteen mee te nemen in het bodemonderzoek.

Daarnaast zijn er nog andere factoren die van invloed kunnen zijn op de grondwaterstand, bijvoorbeeld onderkeldering onder de bouwblokken om maar een te noemen. Wat de effecten zijn van onderkeldering, is momenteel een actueel onderwerp in Amsterdam, waar de nodige onderzoeken aan gewijd worden. Verder in de ondergrond is vaak ook ondergrondse afvoer aanwezig. Dit is helaas achterwege gelaten in de berekeningen door gemis aan data, maar had zeker een onderdeel kunnen zijn van de rekentool.

Het effect van genoemde onderkeldering is in het onderzoek goed terug te zien bij Regenwaterknelpunt 41 Bellamybuurt. De gevonden hoogste grondwaterstand van Bouwblok 5 en Bouwblok 6 zijn extreem te noemen, extreem laag in vergelijking tot de grondwaterstanden van de overige bouwblokken. De verschillen kunnen wel oplopen tot één meter. Volgens een specialist van Waternet kunnen twee onderdelen van invloed zijn, dat is de parkeergarage van de Hallen (Foodcourt) en de lage ligging van de Bellamybuurt. Vooral de kelderbak van de parkeergarage heeft door zijn omvang, ondergronds veel effect op de grondwaterstromingen. Dit uit zich dan weer in de grote verschillen tussen de grondwaterstanden van naast gelegen bouwblokken.

In dit afstudeeronderzoek wordt eigenlijk alleen maar over wateroverlast gesproken, maar wat ook veel schade kan berokkenen, is wateronderlast. Vooral met de huidige klimaatveranderingen in het verschiet, lange droge zomers: funderingspalen die bloot komen te liggen en gaan rotten. Welke maatregelen zijn hiervoor belangrijk en toepasbaar om het water vast te kunnen houden, is iets wat zeker wel onderzoekswaardig is.

Zoals eerder gesteld is het afstudeeronderzoek gefocust op wateroverlast en regenbestendigheid. Maar het klimaat verandert, er is niet alleen meer water maar ook meer kans op hitte, droogte en overstromingen. Het is ook goed om deze problemen in acht te nemen bij het kiezen van de maatregelen. De toekomst wil niet alleen regenbestendigheid maar een compleet pakket van klimaatbestendigheid.

12 BRONNEN EN REFERENTIES

- AGV Klimaatatlas. (2018, september). *Klimaatatlas*. Opgehaald van AGV Klimaatatlas: <https://agv.klimaatatlas.net/>
- Biron, D. (2004). *Beter bouw- en woonrijp maken*.
- Boogaard F., B. G. (2006). *Wadi's - Aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer*. Ede: Stichting RIONED.
- Boogaard F.C., J. N. (2003). *Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's, inrichting, functioneren en beheer*. Utrecht en Ede: STOWA en RIONED.
- City Data Amsterdam. (2018, september). *Interactieve kaarten*. Opgehaald van Gemeente Amsterdam: <https://maps.amsterdam.nl/>
- Deltacommissie. (2018). *Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie*. Opgehaald van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/overheden/deltaplan-ra/>
- DINOloket. (2019). *DINOloket Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond*. Opgehaald van DINOloket: <https://www.dinoloket.nl/>
- ESRI Nederland. (2019). *Actueel Hoogtebestand Nederland*. Opgehaald van Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN): Actueel Hoogtebestand Nederland
- Gadero. (2019). *Vlonderplank*. Opgehaald van Gadero: <https://gadero.nl/vlonderplank-geïmpregneerd-grenenhout-28x14x300-400cm/>
- Gans, W. d. (2011). *De bodem onder Amsterdam, Een geologische stadswandeling*. Amsterdam: De geologische dienst van Nederland TNO.
- Gebr. van der Voort. (2019). *Zand en Grond*. Opgehaald van Gebr. van der Voort: <https://www.gebrvandervoort.nl/>
- Gemeente Amsterdam. (2019, juni). *De groei van Amsterdam vanaf 1850*. Opgehaald van MAPS Amsterdam: <https://maps.amsterdam.nl/bouwjaar/?LANG=nl>
- Gemeente Amsterdam. (2019). *Subsidie Groene daken en gevels 2019*. Opgehaald van Gemeente Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?productid=%7B70FA1281-D6BE-44C1-B8F8-9418219BD5A8%7D>
- GROENBLAUWE NETWERKEN. (2019). *Emma's hof, Den Haag*. Opgehaald van GROENBLAUWE NETWERKEN: <https://nl.urbangreenbluegrids.com/projects/emmas-hof-the-hague-the-netherlands/>
- Grondwaterformules Doorlatendheid k. (2019, juni). *Doorlatendheid K*. Opgehaald van Grondwaterformules: <http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/doorlatendheid-per-grondsoort>
- Grondwaterformules Effectieve porositeit. (2019, juni). *Effectieve porositeit*. Opgehaald van Grondwaterformules: <http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/effectieve-porositeit>
- IOS Gemeente Amsterdam. (2018, september). *Onderzoek, Informatie en Statistiek*. Opgehaald van IOS Amsterdam.
- Klimaat-effectatlas. (2018, september). *Klimaat-effectatlas*. Opgehaald van Klimaat-effectatlas: <http://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>
- Koekoek, A., Kluck, J., & Kleerekoper, L. (2018, september). *Klimaatadaptatie op basis van wijktypen*. Opgehaald van Ruimtelijke Adaptatie.
- Macken, V. (2017). *Wat kost een regenwaterinstallatie?* Opgehaald van Livios Bouwen aan morgen: <https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/techniek/sanitair-en-water/regenwater/wat-kost-een-regenwaterinstallatie/>
- Oprit Aanleggen. (2019, juni). *Waterdoorlatende klinkers: prijs & werking*. Opgehaald van Oprit Aanleggen: <https://www.opritaanleggen.net/materialen/waterdoorlatende-klinkers>
- PVC Voordeel. (2019). *Infiltratiekrat, met doek, 600 ltr, 120 x 120 x 40 cm*. Opgehaald van PVC Voordeel: <https://pvcvoordeel.nl/infiltratiekrat-met-doek-600-liter/>
- Rainproof. (2018, maart). *Regenwaterknelpunten in Amsterdam*. Opgehaald van Rainproof: https://www.rainproof.nl/sites/default/files/regenwaterknelpuntenkaart_amsterdam.pdf
- Rainproof. (2019, juni). *Extensieve groene daken*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/extensieve-groene-daken>
- Rainproof. (2019, juni). *Infiltratiekratten*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/infiltratiekratten>



- Rainproof. (2019, juni). *Regenpijp afkoppelen*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenpijp-afkoppelen>
- Rainproof. (2019, juni). *Regenton*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenton>
- Rainproof. (2019, juni). *Regenwaterinstallatie*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenwatergebruik-bij-woningen>
- Rainproof. (2019, juni). *Regenwaterknelpuntenkaart*. Opgehaald van Rainproof: https://www.rainproof.nl/sites/default/files/regenwaterknelpuntenkaart_amsterdam.pdf
- Rainproof. (2019, juni). *Tegels eruit, groen erin*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/tegels-eruit-groen-erin>
- Rainproof. (2019, juni). *Wadi's*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/wadis>
- Rainproof. (2019, juni). *Waterpasserende verharding*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/waterpasserende-verharding>
- Snipperhout. (2019, juni). *Kwaliteit houtsnippers*. Opgehaald van Snipperhout: http://www.snipperhout.nl/pagelD_5760403.html
- Stuyver, R. (2016). *Inventarisatie binnenterreinen Bellamybuurt*. Opgehaald van Inventarisatie binnenterreinen Bellamybuurt: <https://www.slideshare.net/realaudience/2016-0914-inventarisatie-binnenterreinen-bellamybuurt-v23-deflowres>
- Stuyver, R. (2019). *Gebr. Baars*. Opgehaald van Gebr. Baars: <https://www.gebr-baars.nl/>
- Tonneijck, F. (2008). Over bomen en buien. *Bomennieuws*, pp. 4-5.
- Tuingrindhandel. (2019, juni). *Grind*. Opgehaald van Tuingrindhandel: <https://www.tuingrindhandel.nl/producten/>
- Visschedijk P.A.M., H. M. (2009). *Groene Meters: Analyse van het stedelijk groen in G31 steden*. Wageningen: ALTERRA Wageningen.
- Waternet. (2015). *Gemeentelijk Rioleringsplan Amsterdam (GRPA) 2016-2021*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam.
- Waternet. (2019). *Grondwater*. Opgehaald van Waternet: <https://www.waternet.nl/ons-water/grondwater/>
- Werkspot. (2019). *Boom planten*. Opgehaald van Werkspot: <https://www.werkspot.nl/boom-planten/prijzen-kosten>