

# Het toepassen van het afkoppelen van hemelwater in Enschede

Bacheloreindopdracht Civiele Techniek

30 juni 2017

Gemeente  Enschede

Wytse Roosjen

UNIVERSITEIT  
TWENTE.

s1574981  
Universiteit Twente  
Civiele Techniek

UT begeleider: J.H. Damveld, MSc  
Tweede beoordelaar: Prof.dr.ir. J.I.M. Halman  
Externe begeleider: drs.ing. P.M.B. Spijker

## Voorwoord

---

Ter afronding van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente wordt een bachelor-eindopdracht uitgevoerd bij een externe organisatie die werkzaam is op het gebied van civiele techniek. Het is hierbij de bedoeling dat de opgedane kennis en methodieken uit de bachelorfase toegepast worden in het werkveld door middel van een onderzoek met een duur van 10 weken. Daarnaast is het functioneren binnen de externe organisatie ook een belangrijk leerdoel.

Ik heb de eindopdracht uitgevoerd bij de gemeente Enschede op de afdeling Stadsdeelbeheer onder Domein Fysiek. Deze afdeling houdt zich onder andere bezig met het waterbeheer in de stad. Het onderzoek dat ik uitgevoerd heb, betreft een analyse voor het toepassen van het afkoppelen van hemelwater in Enschede met daarbij aandacht voor de relevante ambities van de gemeente. Het onderzoek heeft zowel een technisch als beleidsmatig component, wat goed aansluit bij de opleiding.

Door de uitvoering van deze opdracht bij de gemeente Enschede ben ik in aanraking gekomen met het in praktijk brengen van kennis en vaardigheden uit de opleiding. Daarnaast heb ik veel geleerd over het functioneren in een organisatie. Het is erg interessant om een bijdrage te kunnen leveren aan de toekomstige strategie van de gemeente op het gebied van afkoppelen.

Ten slotte wil ik graag een aantal mensen bedanken voor hun bijdrage. Ten eerste de medewerkers van de afdeling Stadsdeelbeheer en andere betrokken vanuit de gemeente. Ik heb deze mensen als erg behulpzaam ervaren. Daarnaast wil ik graag Ronald Wentink van Tauw bedanken voor het beantwoorden van vragen en bespreken van relevante onderwerpen. Tevens wil ik mijn externe begeleider, Patrick Spijker, bedanken voor het geven van feedback en de dagelijkse ondersteuning binnen de gemeente. Rik Meijer heeft daarnaast ook vanuit de gemeente voor ondersteuning gezorgd. Eveneens wil ik mijn vriendin Froukje Molenkamp bedanken voor de steun en het meermaals overbrengen van feedback. Tot slot wil ik mijn begeleider vanuit Universiteit Twente, Johan Damveld, bedanken voor het geven van feedback en richting geven aan mijn onderzoek.

Wytse Roosjen  
Enschede, 16 juni 2017

## Samenvatting

---

In Enschede is op diverse locaties een groot risico op hemel- en grondwateroverlast. Dit zal in de toekomst toenemen door klimaatverandering doordat er grotere neerslaghoeveelheden en intensievere buien zullen vallen. Daarnaast wordt de kans op verdroging in warme periodes groter doordat de zomers droger worden. Hierdoor is er de wens om hemelwater niet meer in het gemengde riool te brengen, dat capaciteitsproblemen heeft, maar gescheiden af te voeren of te gebruiken in de buitenruimte (ofwel het afkoppelen van hemelwater). Naast het reduceren van wateroverlast heeft de gemeente ook andere ambities die relevant zijn voor het thema water. Er is in dit onderzoek gekeken naar de ambities: milieu, biodiversiteit, klimaatadaptie, hittestress en leefbaarheid. In de besluitvorming is de wens om deze ambities mee te nemen zodat er naar maatregelen in de openbare ruimte gezocht worden die meerdere ambities kunnen vervullen naast het reduceren van wateroverlast.

Er is reeds het rapport afkoppelstrategie Enschede (Tauw bv, 2015) opgesteld, waarin de bestaande afkoppelvoorzieningen geëvalueerd zijn en daarnaast op conceptueel niveau een type voorziening wordt aangeraden om toe te passen, het grondwater regulatie systeem. Het doel van dit onderzoek is ten eerste deze afkoppelstrategie verder en gedetailleerder uit te werken naar straatniveau om zo de toepasbaarheid, waaronder ook de kosten vallen, te analyseren en ten tweede de relevante ambities van de gemeente Enschede mee te nemen bij de afweging tussen verschillende afkoppelvoorzieningen. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

*“In welke mate kan een (of meerdere) toepasbare variant(en) van afkoppelvoorzieningen in Enschede zorgen voor het verminderen van wateroverlast en daarbij ook andere relevante ambities van de gemeente Enschede vervullen?”*

Er is ten eerste gekeken naar de discussie die plaatsvindt op het gebied van afkoppelen, door een aantal relevante thema's te beschouwen. Hieruit is gebleken dat het afkoppelen door middel van een hemelwaterriool niet op alle vlakken beter scoort omtrent waterkwaliteit ten opzichte van gemengde riolering, doordat hemelwater over vervuilde oppervlakten stroomt. Dit heeft vooral invloed op het gebied van metalen. Er zijn dus afkoppelvoorzieningen met zuiverende werking benodigd wanneer deze vervuilingen niet gewenst zijn. Daarnaast is gebleken dat afkoppelen vooral kosteneffectief is wanneer er voor voorzieningen gekozen worden die positieve neveneffecten hebben ten gevolge van water aan het oppervlak met groen zoals de zuiverende werking en de reductie in hittestress.

Ten tweede is er gekeken naar de situatie van Enschede, waaruit blijkt dat de omstandigheden voor het afkoppelen wisselend zijn. Zo zijn er gebieden waar ruimte en mogelijkheden zijn voor infiltratie van hemelwater, terwijl in andere gebieden kans op grondwateroverlast is door de wisselende bodemopbouw. In de droge periodes is er ruimte om het hemelwater te gebruiken om verdroging tegen te gaan door infiltratie. Daarnaast blijkt dat er een groot aantal gebieden zijn waar hemelwateroverlast voorkomt door capaciteitsgebrek van het gemengde riool, mate van verharding en het hoogteverloop. Afkoppelvoorzieningen die water vast kunnen houden, draineren, infiltreren of eventueel afvoeren naar een ander gebied zouden deze problemen kunnen verminderen.

Hierna is er gekeken naar welke criteria relevant zijn voor het vervullen van de ambities van de gemeente Enschede. Daarbij is er gekozen om de effecten van deze ambities kwalitatief te beschrijven in plaats van kwantitatief doordat deze kwantitatieve informatie op dit moment een hoge mate van onzekerheid met zich meebrengt. Bij de inschatting van de mate van ambitievervulling voor de verschillende afkoppelvoorzieningen is gebruik gemaakt van deze kwalitatieve relaties. Hiermee is een voorselectie ontstaan voor het uitwerken van de casestudie.

De casestudie is uitgevoerd in een straat met verschillende dwarsprofielen om de toepasbaarheid, kosten en ambitieervulling van afkoppelen te onderzoeken. Doordat deze straat verschillende breedtes heeft, is deze casestudie generaliseerbaar. Er is daarbij gekozen voor een aantal varianten die voortkomen uit de voorselectie. Aan de hand van een aantal getekende dwarsprofielen is getoond dat de vijf gekozen varianten mogelijk zijn in deze straat, waarbij deze allen de hemel- en grondwateroverlast kunnen verminderen. Daarnaast zijn de aanleg- en onderhoudskosten bepaald aan de hand van literatuuronderzoek en gecontroleerd door een calculator van de gemeente. Voor het afwegingsproces in de casestudie is er gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse waarbij er een score is gegeven aan de ambities op basis van de gevonden criteria die invloed hebben op de ambitieervulling. Door verschillende gewichten uit te proberen, kan er iets gezegd worden over de uitkomst die afhangt van het belang van de verschillende criteria in de multicriteria-analyse.

Het resultaat is dat de stedelijke infiltratiestrook zoals in Figuur 1 het beste scoort in deze multicriteria-analyse tenzij er een hoog gewicht aan kosten en een laag gewicht aan ambities wordt gegeven. De stedelijke infiltratiestrook heeft een significante bijdrage aan alle vijf ambities doordat het zorgt voor een hoog zuiveringsrendement en een oppervlakkig groenblauw netwerk. Daarnaast is het door de vormgeving beter toepasbaar in stedelijk gebied dan een wadi. In de casestudie is de infiltratiestrook toegepast in een gedeelte bij een minimale breedte van de straat. Hierdoor moet de straat naar éénrichtingsverkeer getransformeerd worden. De variant die hoog scoort door met name de lage kosten, is het waterbergend pakket onder de weg dat door middel van een kolk bereikt wordt (zie Figuur 2). Hierdoor wordt de onzekerheid over het dichtslibben van waterpasserende of waterdoorlatende verharding vermeden en kunnen de huidige klinkers behouden blijven. Ten opzichte van een hemelwaterriool is de aanleg goedkoper en wordt er daarnaast voor zuivering en de mogelijkheid tot infiltratie gezorgd.



*Figuur 1 – Voorbeeld stedelijke infiltratiestrook (Environmental services - City of Portland, 2012)*



*Figuur 2 – Kolk naar waterbergend pakket met bezinkunit (Aquaflow, 2017a)*

Doordat beide varianten in een minimaal wegprofiel toepasbaar zijn in de casestudie, kunnen deze varianten grootschalig toegepast worden in Enschede, waarbij de stedelijke infiltratiestrook wel ruimte inneemt aan het oppervlak. Door deze varianten te combineren met een drainage-infiltratieriool, zoals aanbevolen in de afkoppelstrategie Enschede, zou dit ook geschikt zijn in gebieden met hoge grondwaterstanden. Door de ontbrekende onderbouwing met relevante meetgegevens, zouden deze twee varianten in Enschede uitgevoerd moeten worden als pilot om de effectiviteit en tevredenheid te onderzoeken. Daarnaast is het een aanbeveling om in toekomstige besluitvormingen de relevante ambities mee te nemen, zoals in de casestudie gedaan is, zodat er aandacht en bewustwording ontstaat voor de brede mogelijkheden van afkoppelvoorzieningen. De afweging tussen varianten is op dit moment gebaseerd op kwalitatieve onderbouwing. Toekomstig onderzoek zou meer inzicht kunnen geven in de kwantitatieve relaties omtrent de ambities, zodat er een meer exacte onderbouwing en afweging mogelijk is.



# Inhoud

---

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Voorwoord .....                                                  | i  |
| Samenvatting.....                                                | ii |
| <br>                                                             |    |
| 1 Inleiding .....                                                | 1  |
| 1.1 Aanleiding .....                                             | 1  |
| 1.2 Probleemstelling.....                                        | 2  |
| 1.3 Doelstelling.....                                            | 2  |
| 1.4 Onderzoeksvragen.....                                        | 3  |
| 1.5 Leeswijzer .....                                             | 3  |
| 2 Methodiek .....                                                | 4  |
| 2.1 Methodiek .....                                              | 4  |
| 2.2 Methodiek ambitiematrix .....                                | 5  |
| 2.3 Data .....                                                   | 6  |
| 3 Algemene vergelijking gemengd en gescheiden rioolsysteem ..... | 7  |
| 3.1 Waterkwaliteit.....                                          | 7  |
| 3.2 Water op straat .....                                        | 9  |
| 3.3 RWZI .....                                                   | 9  |
| 3.4 Kosten.....                                                  | 10 |
| 3.5 Conclusie .....                                              | 10 |
| 4 Afkoppelen in Enschede .....                                   | 11 |
| 4.1 Situatiebeschrijving Enschede .....                          | 11 |
| 4.2 Ambities Enschede .....                                      | 14 |
| 4.3 Variantenstudie Enschede.....                                | 20 |
| 5 Casestudie: Minister dr. de Visserstraat te Enschede.....      | 21 |
| 5.1 Situatiebeschrijving .....                                   | 21 |
| 5.2 Varianten .....                                              | 23 |
| 5.3 Conclusie .....                                              | 32 |
| 6 Resultaten.....                                                | 33 |
| 6.1 Casestudie .....                                             | 33 |
| 6.2 Translatie naar situatie Enschede .....                      | 34 |
| 7 Discussie en aanbevelingen.....                                | 36 |
| 7.1 Waterkwaliteit.....                                          | 36 |
| 7.2 Casestudie .....                                             | 36 |
| 7.3 Ambitiematrix.....                                           | 37 |
| 7.4 Aanbevelingen gemeente Enschede .....                        | 38 |

|     |                                                                                  |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.5 | Wetenschappelijke aanbevelingen .....                                            | 38 |
| 8   | Conclusie .....                                                                  | 39 |
| 9   | Bibliografie.....                                                                | 40 |
| 10  | Bijlagen .....                                                                   | 43 |
|     | Bijlage A – Expertmeetings.....                                                  | 44 |
|     | Bijlage B – Volledige ambitiematrix gemeente Enschede (in ontwikkeling) .....    | 47 |
|     | Bijlage C – Overzichtskaart waterproblematiek.....                               | 48 |
|     | Bijlage D - Ontwateringsdiepte maatgevende natte periode .....                   | 49 |
|     | Bijlage E – Overzicht gebieden risico wateroverlast op basis van bodemtype ..... | 50 |
|     | Bijlage F – Ontwateringsdiepte maatgevende droge periode .....                   | 51 |
|     | Bijlage G – Overzicht rioolstelsel Enschede.....                                 | 52 |
|     | Bijlage H – Water op straat bij bui T = 10.....                                  | 53 |
|     | Bijlage I – Tabellen invloed afkoppelvoorzieningen op waterkwaliteit .....       | 54 |
|     | Bijlage J – Ambitievervulling verschillende afkoppelvoorzieningen .....          | 55 |
|     | Bijlage K – Bestektekening Min. dr. de Visserstraat.....                         | 62 |
|     | Bijlage L – Minister dr. de Visserstraat bodemdata .....                         | 63 |
|     | Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie.....                              | 65 |
|     | Bijlage N – Kabels en leidingen Min. dr. de Visserstraat.....                    | 67 |
|     | Bijlage O – Straatprofielen Min. dr. de Visserstraat.....                        | 68 |
|     | Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat.....      | 71 |
|     | Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie .....                                       | 72 |

# 1 Inleiding

Enschede staat bekend om de waterproblematiek en overlast komt dan ook veel voor. Na een hevige bui kan het water uit het riool stromen door capaciteitsproblemen, waarbij hemelwater of verdund rioolwater op straat komt te staan, zichtbaar in Figuur 3. Dit kan leiden tot schade aan woningen en winkels en daarnaast ook gezondheidsproblemen. Daarbij komt ook de aanwezigheid van grondwateroverlast in Enschede kijken, wat tevens tot gezondheidsproblemen en schade kan leiden.



*Figuur 3 - Wateroverlast Enschede (Gemeente Enschede, 2012b)*

Om ruimte te maken in het rioolstelsel en onder andere deze problemen te verminderen is de visie van de gemeente Enschede om het hemelwater af te koppelen wanneer dit doelmatig is (Gemeente Enschede, 2012a). Met afkoppelen wordt bedoeld dat het hemelwater niet meer via het verharde oppervlak of een buis naar het gemengde rioolstelsel getransporteerd wordt, maar bijvoorbeeld naar een gescheiden systeem met een hemelwaterriool of een wadi (verlaging in maaiveld voor opvangen hemelwater) waarbij vuilwater en relatief schoon hemelwater gescheiden wordt, zichtbaar in Figuur 4.



*Figuur 4 - Verskil gemengd en gescheiden rioolstelsel (Gemeente Enschede, 2012a)*

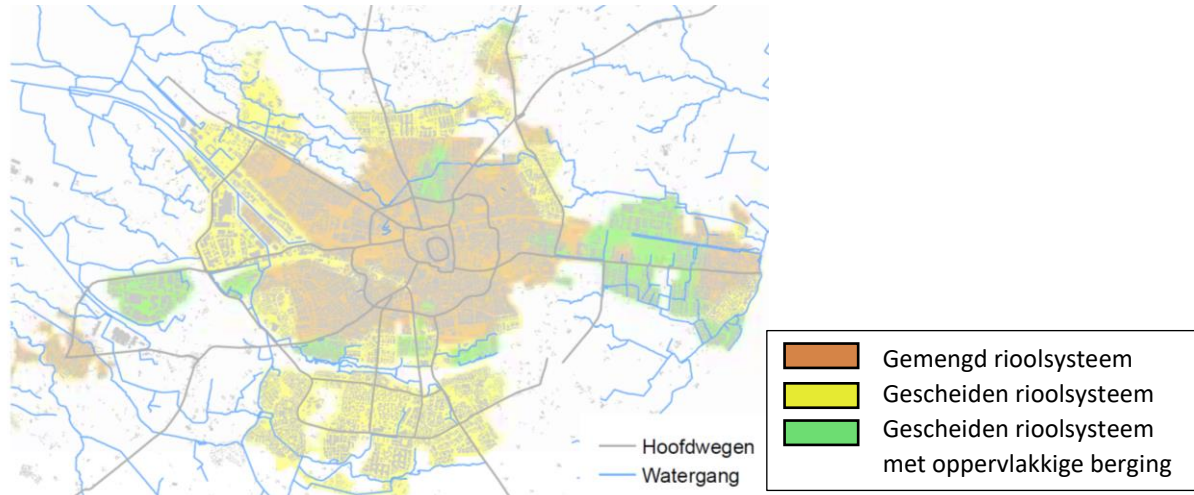
Naast het verminderen van waterproblematiek heeft de gemeente Enschede ook andere ambities op het gebied van water. Zo wil de gemeente graag de beleving van groene en blauwe kwaliteit van Enschede versterken door water zichtbaar te maken (Gemeente Enschede, 2012a). Door waterlopen zichtbaar te maken en aantrekkelijk in te richten wordt de beleevingswaarde van de omgeving groter. Daarnaast wil de gemeente ook graag water in de buitenruimte benutten, door het opvangen van extreme regenbuien en dit gebruiken voor het verkoelen van de stad. Daarnaast moeten de watergerelateerde lasten van de inwoners van Enschede beheersbaar blijven. Mogelijk biedt het afkoppelen van hemelwater kansen voor het vervullen van meerdere ambities van de gemeente.

## 1.1 Aanleiding

Naar aanleiding van deze waterproblematiek en de wens om af te koppelen is er de Afkoppelstrategie Enschede opgesteld door Tauw (2015). Hierbij is er door middel van gesprekken binnen diverse afdelingen van de gemeente in kaart gebracht wat de ervaringen zijn met verschillende afkoppelvoorzieningen en wordt er daarnaast kort een beeld geschetst van de situatie in Enschede. Hieruit worden een aantal afkoppelvoorzieningen aanbevolen op stads- of wijkniveau. Echter ontbreekt de vertaalslag naar het toepassen op straatniveau waardoor de afkoppelstrategie nauwelijks direct wordt toegepast. Daarnaast wil de gemeente graag haar ambities meenemen in het afwegingsproces van het afkoppelen zodat er breder wordt gekeken dan alleen kosten en de reductie van wateroverlast.

## 1.2 Probleemstelling

Op dit moment ziet het rioolstelsel er als volgt uit, zie Figuur 5. Hierin is zichtbaar dat nieuwe wijken aan de rand van de stad in de meeste gevallen al een gescheiden rioolstelsel hebben. In de meeste gevallen zijn deze bij de nieuwbouw aangelegd waardoor bij de aanleg hiervan relatief bekeken, geen grote ingreep nodig was. In het oudere deel van Enschede ligt van oudsher nog een gemengd rioolstelsel.



Figuur 5 - Huidig rioolstelsel Enschede (Gemeente Enschede, 2012b)

Voor dit bestaande gebied met een gemengd rioolstelsel is het dus de vraag in hoeverre het afkoppelen van hemelwater mogelijk en wenselijk is. Vanuit de afkoppelstrategie zijn er een aantal afkoppelvoorzieningen aanbevolen, echter ontbreekt de inpassing op straatniveau. Wanneer er wordt gewerkt aan een straat komt de discussie over het afkoppelen op gang, echter leidt dit vaak niet tot een besluit (zie *Bijlage A – Expertmeetings*). Er wordt dan gediscussieerd over de wenselijkheid van afkoppelen, hoe het afkoppelen in te passen is, hoe dit aan te sluiten op het watersysteem en in hoeverre het toepassen van deze voorzieningen bijdraagt aan de watergerelateerde ambities van de gemeente. Is het bijvoorbeeld mogelijk om af te koppelen om ambities te vervullen zonder dat er op dit moment ernstige wateroverlast is. Voor het toetsen aan de watergerelateerde ambities is er reeds een ambitiematrix in ontwikkeling, echter is deze nog niet toegepast in de praktijk.

## 1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het maken van de vertaalslag van de afkoppelstrategie Enschede naar straatniveau, waarbij gekeken wordt naar de toepasbaarheid van bepaalde afkoppelvoorzieningen en in hoeverre deze bijdragen aan de relevante ambities van de gemeente Enschede. Deze ambities zijn milieu, hittestress, klimaatadaptie, biodiversiteit en leefbaarheid. Het onderzoek bestaat dus uit een technisch en beleidsmatig component. Er zal een casestudie uitgevoerd worden waarin wordt bekeken hoe het afkoppelen een bijdrage kan leveren aan het reduceren van wateroverlast en andere watergerelateerde ambities. Hiermee kan iets geleerd worden over hoe de afkoppelvoorzieningen in te passen zijn in een bepaalde straat en hoe wenselijk dit is, wat mogelijk generaliseerbaar is naar meerdere straten in Enschede.

Dit onderzoek zal een bijdrage leveren aan de lange discussie over het hoe en wel of niet afkoppelen van hemelwater in bepaalde gebieden in de gemeente Enschede, dit kan bijdragen aan dit soort discussies die in veel andere gemeentes gevoerd worden (Stichting RIONED, 2013).

## 1.4 Onderzoeksvragen

Voor dit onderzoek staat de volgende hoofdvraag centraal:

*“In welke mate kan een (of meerdere) toepasbare variant(en) van afkoppelvoorzieningen in Enschede zorgen voor het verminderen van wateroverlast en daarbij ook andere relevante ambities van de gemeente Enschede vervullen?”*

Deze hoofdvraag zal beantwoord worden aan de hand van de volgende deelvragen:

1. Wat zijn de voor- en nadelen van het afkoppelen van hemelwater van het gemengde riool?
  - a. Wat zijn de algemene voor- en nadelen van beide rioolsystemen?
  - b. Wat zijn de voor- en nadelen van verschillende afkoppelvoorzieningen?
2. Hoe passend zijn de verschillende voorzieningen met de waterproblematiek en watergerelateerde ambities in Enschede?
  - a. Wat houdt de waterproblematiek in Enschede in?
  - b. Wat houden de relevante ambities van de gemeente Enschede in en waardoor worden deze beïnvloed?
  - c. In welke mate zijn de verschillende varianten passend voor de situatie Enschede?
3. Is het mogelijk om een of meerdere afkoppelvoorziening(en) toe te passen in een specifieke straat en wat is de mate van ambitieervulling? (Casestudie)
  - a. Wat houdt de waterproblematiek in de specifieke straat in?
  - b. Welke afkoppelvoorzieningen zijn toepasbaar in deze straat?
  - c. Wat bedragen de indicatieve kosten van de voorzieningen?
  - d. In welke mate is het mogelijk om relevante ambities van de gemeente Enschede te vervullen met de toepasbare voorzieningen?
  - e. Hoe kunnen deze ambities mee worden genomen in het afwegingsproces?

## 1.5 Leeswijzer

De opbouw van dit onderzoek is als volgt, ten eerste zal er worden bekeken wat de huidige globale discussie op het gebied van afkoppelen is in *Hoofdstuk 3*. Hierdoor wordt de context duidelijk, waarom het wel of niet wenselijk zou zijn om grootschalig af te gaan koppelen. Ten tweede zal er worden ingegaan op de omstandigheden in Enschede in *Hoofdstuk 4*. Hierbij zal een koppeling gemaakt worden tussen de globale vindingen en de omstandigheden van Enschede zodat er richting gegeven kan worden aan de wenselijkheid voor het afkoppelen in Enschede. Daarnaast zullen de relevante ambities op het gebied van water van de gemeente Enschede meewegen bij de mate van wenselijkheid. Hiervoor zullen de relevante effecten die invloed hebben op deze ambities onderzocht worden. Om daarna de toepasbaarheid en kosten van verschillende afkoppelvoorzieningen en daar de vervulling van relevante ambities bij te beschouwen, zal een casestudie uitgevoerd worden in *Hoofdstuk 5*, waarin de opgedane kennis toegepast zal worden op een specifieke situatie. Aan de hand van de casestudie kan iets geleerd worden over de toepasbaarheid en wenselijkheid van afkoppelen voor een groter gebied in Enschede.

## 2 Methodiek

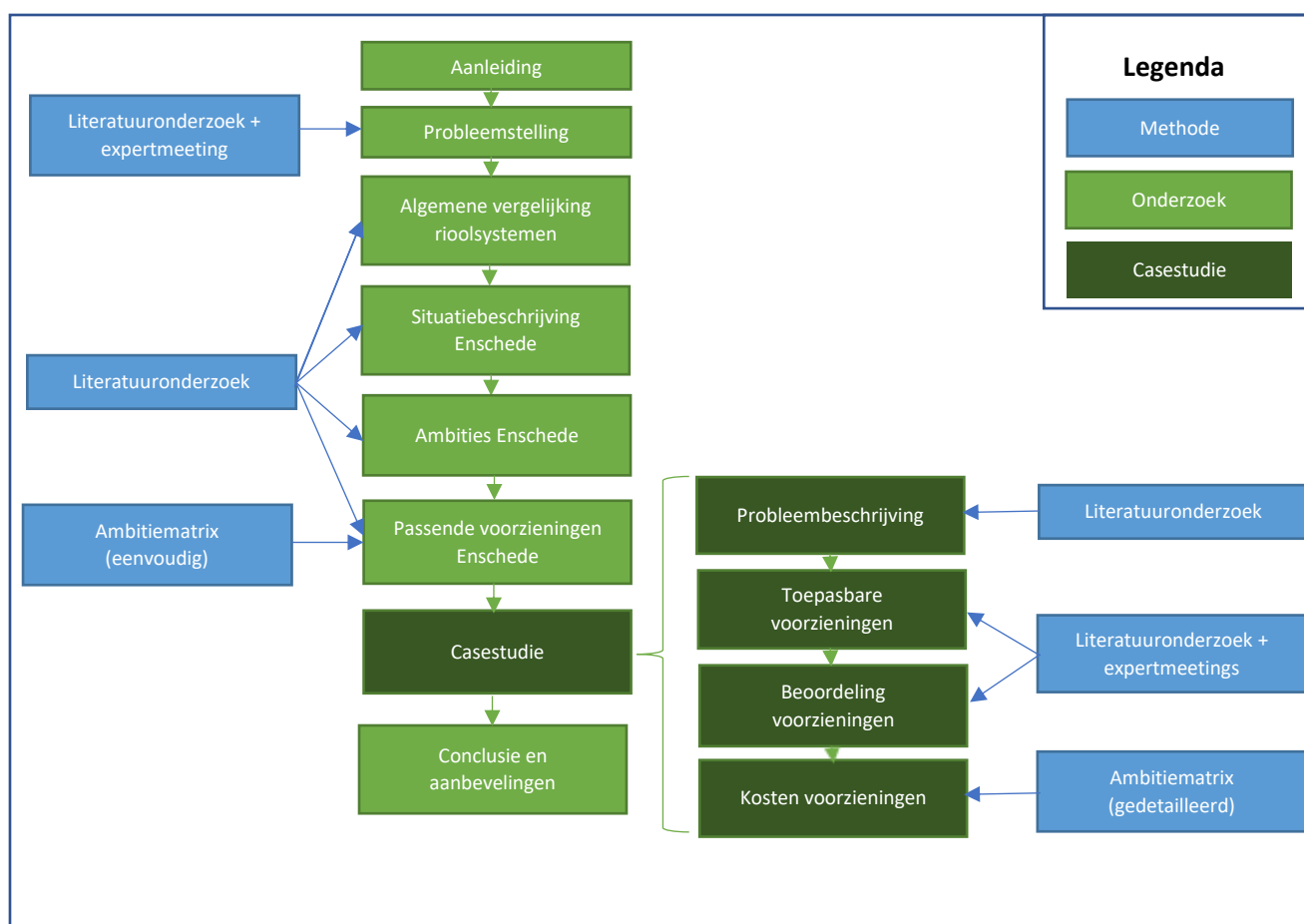
In dit hoofdstuk wordt de methodiek van dit onderzoek uitgelegd. Daarnaast zal ook de gebruikte data worden toegelicht.

### 2.1 Methodiek

Dit onderzoek bestaat hoofdzakelijk uit literatuuronderzoek. Dit is aangevuld met kennis van experts op het gebied van afkoppelen. In Figuur 6 is de opzet van het onderzoek zichtbaar.

Voor de probleemstelling is gesproken met betrokken experts van de gemeente Enschede om een beeld te krijgen van de huidige stand van zaken op het gebied van afkoppelen in Enschede. Dit is aangevuld met beschikbare literatuur. Hiermee is duidelijk geworden, wat de belangrijke aandachtspunten zijn op het gebied van het afkoppelen van hemelwater. Daarna is er voor de vergelijking van de twee rioolssystemen literatuuronderzoek uitgevoerd naar relevante onderwerpen, zie *Hoofdstuk 3*. Hierin gaat het om algemene bevindingen, die nog niet zijn toegespitst op de situatie in Enschede. Daarvoor is de situatie van Enschede beschouwd in *Hoofdstuk 4.1*.

Bij de situatiebeschrijving van Enschede is gekeken naar de onderwerpen die relevant zijn bij de overweging van verschillende afkoppelvoorzieningen. Daarbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld de bestaande waterproblematiek, bodemopbouw en staat van het rioolstelsel. Deze onderwerpen zijn beschreven aan de hand van literatuuronderzoek.



Figuur 6 - Overzicht methodiek van dit onderzoek



De relevante ambities uit de ambitiematrix (zie Tabel 1) zijn toegelicht in *Hoofdstuk 4.2*. Hierbij is een koppeling gemaakt met de algemene bevindingen uit de literatuur en de situatie van Enschede. Aan de hand van literatuuronderzoek is duidelijk geworden welke maatregelen of parameters invloed hebben op deze ambities in Enschede, die gebruikt worden in het afwegingsproces.

Wanneer de relevante parameters voor het vervullen van de ambities van Enschede in kaart zijn gebracht, is er gekeken naar verschillende afkoppelvoorzieningen in *Hoofdstuk 4.3*. Er is een ruwe inschatting gemaakt in welke mate de afkoppelvoorzieningen deze ambities kunnen vervullen en hoe passend deze zijn in de situatie van Enschede. Welke voorzieningen meegenomen worden in deze vergelijking, is hoofdzakelijk gebaseerd op de Afkoppelstrategie Enschede (Tauw bv, 2015). Daarnaast heeft er een screening plaatsgevonden op eventuele afkoppelvoorzieningen die niet zijn meegenomen in deze afkoppelstrategie.

Om inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van de verschillende afkoppelvoorzieningen, is er een casestudie uitgevoerd in *Hoofdstuk 5*. Hierin zijn een aantal afkoppelvarianten die in verschillende mate een aantal ambities kunnen vervullen uitgewerkt in een bestaande straat. Dit is gebaseerd op de voorgaande analyse van afkoppelvoorzieningen en de situatiebeschrijving Enschede. Deze varianten zijn ook besproken met een expert van Tauw, medeauteur van 'Afkoppelstrategie Enschede' (Tauw bv, 2015). Daarnaast is er een inschatting gemaakt van de kosten van deze verschillende varianten. Dit is ten eerste gedaan op basis van literatuur, waarna dit besproken is met een expert op dit gebied van de gemeente Enschede. Wanneer de varianten duidelijk in kaart zijn gebracht, heeft er een afweging plaatsgevonden op basis van de ambities met daarbij de kosten van de varianten. Dit is gedetailleerder uitgevoerd ten opzichte van de ruwe inschatting gemaakt in de vergelijking tussen verschillende afkoppelvoorzieningen voor heel Enschede, doordat de randvoorwaarden in de specifieke straat bekend zijn. Deze methodiek zal worden toegelicht onder *paragraaf 2.2 Methodiek ambitiematrix*.

Uit de casestudie wordt iets geleerd over de toepasbaarheid en wenselijkheid van een aantal afkoppelvoorzieningen. Daarnaast is er ook inzicht gegeven in het afwegingsproces aan de hand van de relevante ambities van de gemeente Enschede in de ambitiematrix. Deze methodiek zou dan mogelijk in meerdere straten in Enschede toegepast kunnen worden voor het maken van een beslissing over het wel of niet afkoppelen en wat voor voorziening hierbij wenselijk is.

## 2.2 Methodiek ambitiematrix

Op dit moment is de ambitiematrix van de gemeente in ontwikkeling om bij een afwegingsproces van een herontwikkeling in een straat of gebied de ambities van de gemeente mee te nemen. Deze is in de praktijk nog niet toegepast. Er is een opzet aanwezig (zie *Bijlage B – Volledige ambitiematrix gemeente Enschede (in ontwikkeling)*), echter is deze nog niet volledig uitgewerkt. De bestaande methodiek is niet geschikt om op straatniveau te gebruiken doordat deze op schaalniveau gericht is. Daarnaast is ook niet inzichtelijk gemaakt welke criteria van belang zijn bij het vervullen van de verschillende ambities. In dit onderzoek is gezocht naar de belangrijke criteria voor het vervullen van de vijf ambities, zichtbaar in Tabel 1, waarna de varianten in de casestudie beoordeeld worden aan de hand van deze ambities. Het gaat hierbij dus om een verkennend onderzoek van het afwegingsproces.

*Tabel 1 - Relevante ambities op het gebied van afkoppelen van de gemeente Enschede*

| Ambities:             |
|-----------------------|
| Milieu                |
| Biodiversiteit        |
| Klimaatadaptie        |
| Hittestress           |
| Leefbaarheid/beleving |

Voor het afwegingsproces is gekozen voor deze vijf ambities gebaseerd op de relevantie van een ambitie ten opzichte van het afkoppelen en de voortgang van de ontwikkeling van de volledige ambitiematrix. Wanneer de relevante parameters voor de criteria bekend zijn, worden de varianten in de casestudie beoordeeld door deze een score te geven per ambitie. Het is hierbij niet de bedoeling dit exact te benaderen, doordat de criteria lastig kwantitatief te beschrijven zijn. Hiervoor wordt de volgende categorisering gebruikt, zichtbaar in Tabel 2.

Tabel 2 - Categorisering bijdrage aan ambitie

| Bijdrage aan ambitie                | Score |
|-------------------------------------|-------|
| Zeer groot                          | 5     |
| Groot                               | 4     |
| Aanzienlijk                         | 3     |
| Matig                               | 2     |
| Klein                               | 1     |
| Zeer klein/ niet meetbaar/ onbekend | 0     |

Tabel 3 - Criteria en gewichten voor MCA onder drie methodes

| Criteria              | Methode ambitie | Methode gelijk | Methode kosten |
|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Milieu                | 2               | 1              | 1              |
| Biodiversiteit        | 2               | 1              | 1              |
| Klimaatadaptie        | 2               | 1              | 1              |
| Hittestress           | 2               | 1              | 1              |
| Leefbaarheid/beleving | 2               | 1              | 1              |
| Aanlegkosten          | 1               | 1              | 5              |
| Onderhoudskosten      | 1               | 1              | 5              |

Om het afwegingsproces transparant en flexibel te maken, is gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse. Een multicriteria-analyse is een goede methode om verschillende alternatieven af te wegen wanneer er zowel kwalitatieve als kwantitatieve criteria gebruikt worden (Lahdelma, Salminen, & Hokkanen, 2000; Gamper & Turcanu, 2007). Zo kunnen de kosten (kwantitatief) net als de ambities (kwalitatief) beschreven worden op een schaal van 0 tot 5. Hierbij is het de bedoeling dat de betrokken partijen de verschillende criteria een bepaald gewicht geven waarna een totaalscore per variant berekend kan worden door de som te nemen van het gewicht vermenigvuldigd met de score op de criteria, zie vergelijking 1 (de Graaf, 2014). Voor dit onderzoek worden verschillende gewichten toegekend om zo het effect hiervan op het afwegingsproces te analyseren, zie Tabel 3. Hiermee wordt inzicht verschaft in welke varianten het beste scoren onder bepaalde voorwaarden, een mogelijkheid die een multicriteria-analyse heeft volgens Lahdelma et al. (2000). Dit biedt flexibiliteit aan de besluitvormers van de gemeente.

Er is voor de casestudie eerst gekozen voor hogere gewichten voor de ambities (methode ambitie), ten tweede gelijke gewichten (methode gelijk) en ten derde een methode met hoge gewichten voor de kosten (methode kosten). Dit is gekozen om drie verschillende soorten strategieën en de effecten ervan te verkennen. Het doel van de dit afwegingsproces is niet om een beste variant uit te roepen, maar om te beschouwen welke varianten relatief hoog kunnen scoren op de genoemde criteria in vergelijking tot de andere varianten onder bepaalde voorwaarden.

$$\text{Totaalscore variant} = \sum \text{Score op criteria} * \text{gewicht} \quad (1)$$

## 2.3 Data

Het startpunt voor dit onderzoek is de 'Afkoppelstrategie Enschede' (Tauw bv, 2015). In dit rapport worden de bestaande afkoppelvoorzieningen in Enschede beschreven met daarbij de ervaringen van de beheerders. Daarnaast worden er een aantal afkoppelvoorzieningen aanbevolen op stadsniveau op basis van deze ervaringen en de situatie in Enschede. Hiermee is verder gewerkt aan de uitwerking van stadsniveau naar straatniveau waarbij ook de toepasbaarheid, kosten en ambities mee zijn genomen. Naast dit onderzoek zijn er tal van andere adviesrapporten geraadpleegd om een duidelijk beeld van de omstandigheden in Enschede of een specifiek gebied op kleinere schaal te verkrijgen.

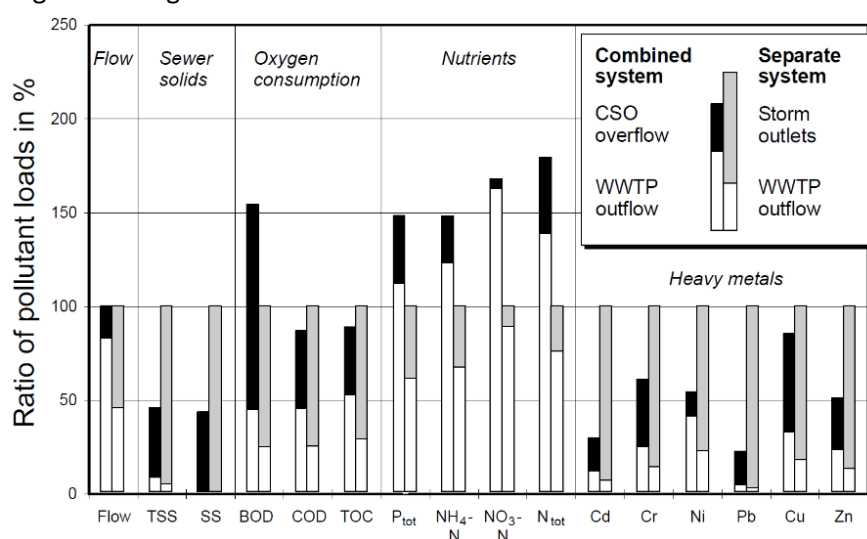
Voor het verkrijgen van wetenschappelijke artikelen zijn verschillende databases geraadpleegd om een zo volledig mogelijk beeld te verkrijgen van de bestaande literatuur op de relevante onderwerpen. Hierbij is deze kennis, wanneer toepasbaar, vertaald naar de omstandigheden in Enschede.

### 3 Algemene vergelijking gemengd en gescheiden rioolsysteem

In dit gedeelte van het rapport zal worden toegelicht wat de algemene voor- en nadelen van de rioolsystemen zijn, los van de situatie in Enschede. Hierin zal duidelijk worden wat de relevante thema's zijn en wat de hedendaagse stand van zaken is op dit gebied. Hieruit kan een afweging gemaakt worden in welke mate het belangrijk is om over te gaan van een gemengd naar een gescheiden rioolstelsel, ofwel het afkoppelen van hemelwater. Daarnaast zal duidelijk worden wat belangrijke aandachtspunten zijn en wat voor discussies er plaatsvinden bij dit vraagstuk. In *Hoofdstuk 4* zal worden ingegaan op de vertaling van de globale vindingen naar de situatie in Enschede. Door *Hoofdstuk 3* en *4* te combineren kan er een betere afweging gemaakt worden over de toepasbare varianten van afkoppelen in Enschede.

#### 3.1 Waterkwaliteit

In Nederland wordt van oudsher het meeste afval- en hemelwater opgevangen in een gemengd rioolsysteem waarna dit water naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (hierna: RWZI) vervoerd wordt, na zuivering wordt dit water naar het oppervlaktewater vervoerd (Gemeente Enschede, 2015a). Wanneer de capaciteit van de RWZI of het rioolsysteem bereikt wordt, zal het afvalwater in combinatie met het hemelwater overgestort worden op het oppervlaktewater. Dit kan leiden tot waterkwaliteitsproblematiek, afhankelijk van de samenstelling en hoeveelheid van het water en het formaat van het ontvangende oppervlaktewater (Gemeente Enschede, 2015a). Vaak wordt een gescheiden rioolstelsel toegepast om deze waterkwaliteitsproblemen op te lossen, echter is de effectiviteit hiervan niet altijd goed. Uit onderzoek blijkt dat zonder zuiverende maatregelen, de resultaten per rioolsysteem afhankelijk zijn van de onderzochte substantie (Welker, 2008). Het gaat hierbij om het ontvangende oppervlaktewater. Brombach en Fuchs (2005) hebben een database opgesteld van meerdere metingen uit andere onderzoeken waarbij verschillende substanties worden vergeleken tussen een gemengd rioolstelsel tegenover een eenvoudig gescheiden rioolstelsel, waarbij geen zuivering wordt toegepast op dit afgevoerde hemelwater. Het resultaat van dit onderzoek is weergegeven in Figuur 7. Hierin is per substantie de verhouding in het uiteindelijke totale uitstromende water relatief bekeken tussen een gemengd en een gescheiden rioolstelsel. De gebruikte concentraties van de verschillende substanties in dit onderzoek zijn gemiddeld genomen, enigszins hoger dan de gevonden concentraties in het Nederlandse afstromende hemelwater (zie Tabel 4).



Figuur 7 – Vergelijking verschillende substanties in het totale uitstromende water (RWZI + overstorten + hemelwateruitlaten) voor een gemengd en gescheiden rioolstelsel (Brombach, Weiss, & Fuchs, 2005). De linker balken zijn de totale emissies voor een gemengd stelsel relatief tot de totale emissie van een gescheiden stelsel.

Hieruit wordt duidelijk dat een gescheiden rioolstelsel zonder zuiverende maatregelen niet significant beter is op het vlak van waterkwaliteit. Op het gebied van chemisch zuurstofverbruik (Engels: COD, hoe hoger het COD, des te lager het zuurstofgehalte in het water), vaste stoffen en zware metalen presteert het gemengde stelsel beter. Welker (2008) en Thorndahl, Schaarup-Jensen & Rasmussen (2013) komen tot een vergelijkbaar resultaat op het gebied van chemisch zuurstofgebruik. Een gescheiden rioolstelsel is vooral bij nutriënten beter (Brombach, Weiss, & Fuchs, 2005). Dit resultaat is te verklaren doordat er bij een eenvoudig gescheiden rioolstelsel vaker hemelwater wordt geloosd waarin vervuilingen van daken en wegen aanwezig zijn (Brombach, Weiss, & Fuchs, 2005; Thorndahl, Schaarup-Jensen, & Rasmussen, 2013).

De verschillende concentraties van afstromend water in Nederland zijn zichtbaar in Tabel 4. Koper, zink, nikkel en  $P_{\text{tot}}$  overschrijden de MAC-normen. Afkoppelvoorzieningen moeten dus in een bepaalde mate deze substanties kunnen verwijderen om tot aanvaardbare concentraties te komen. Daarbij zal deze vervuiling vooral tijdens een droger weertype of tijdens het begin van een bui plaatsvinden, bekend als het 'first flush' effect, doordat vervuiling ophoopt tot het moment dat er weer hemelwater afstroomt (Krein, Salvia-Castellvi, & Iffly, 2007; Deffontis, Breton, & Vialle, 2013). Daarnaast is er bij een gescheiden systeem ook kans op foutieve aansluitingen waardoor er vuilwater rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht kan komen.

Om de problematiek van de gescheiden rioolstelsels op te lossen is er in Nederland het principe 'verbeterd gescheiden riool'. Dit principe is er om tijdens drogere perioden het hemelwater niet direct op het oppervlaktewater te lozen maar het hemelwater naar het RWZI te leiden, zichtbaar in Figuur 5. Zo zou het effect van verkeerde aansluitingen en het 'first flush' effect opgevangen kunnen worden (Stichting RIONED, 2017a). Uit de praktijk blijkt dat dit systeem nog niet perfect werkt, er gaat dan namelijk nog ongeveer 75% van het hemelwater naar de RWZI (Stichting RIONED, 2017a). Hierdoor gaat nog steeds een groot deel van het water naar de RWZI waardoor een gescheiden riool weinig zinvol lijkt. Daarnaast heeft een verbeterd gescheiden riool ook geen significant verbeterend effect op de waterkwaliteit en biodiversiteit van de ontvangende wateren ten opzichte van een gescheiden rioolstelsel (Hoijsink, Heukelum, Peeters, & van der Velde, 2016). Op dit moment zijn er ontwikkelingen gaande op dit gebied, er wordt gekeken naar de verbetering van dit principe in de vorm van 'verbeterd gescheiden riool 2.0' (Stichting RIONED, 2016). Dit systeem kan toegepast worden op bestaande infrastructuur en moet ervoor zorgen dat alleen het 'vieze' hemelwater naar de RWZI afgevoerd wordt. Het principe is nog niet grootschalig toegepast waardoor er nog geen conclusies gegeven kunnen worden over dit concept.

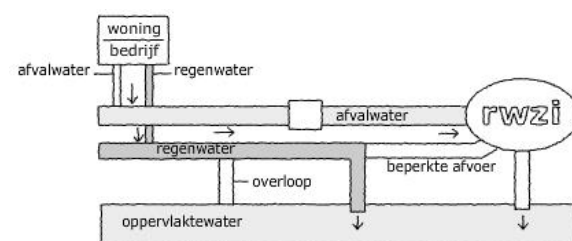
Concluderend uit deze verschillende onderzoeken blijkt dat er geen duidelijke verbetering in waterkwaliteit zal plaatsvinden wanneer er wordt overgegaan van een gemengd naar een gescheiden rioolstelsel. Bij het toepassen van een gescheiden rioolsysteem is het dus nodig om zuiverende

Tabel 4 – Concentraties van verschillende substanties van afvoerend water van daken en wegen in Nederland (Boogaard F., 2015). Rood = 2x overschrijding Maximaal Aanvaardbare Concentratie (MAC). Oranje = 1x overschrijding MAC. Groen = Geen overschrijding MAC

|                | Cd   | Cr   | Cu    | Hg   | Pb   | Ni   | Zn    | PAH10 | PAH16 |
|----------------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                | µg/L | µg/L | µg/L  | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L  | µg/L  | µg/L  |
| mean           | 0.27 | 6.2  | 19    | 0.05 | 18   | 5.6  | 102   | 0.8   | 60.9  |
| median         | 0.15 | 1.1  | 11    | 0.06 | 6    | 3.6  | 60    | 0.8   | 1.5   |
| 90 percentile  | 0.50 | 12.0 | 35    | 0.08 | 43   | 10.0 | 250   | 1.1   | 1.5   |
| n measurements | 152  | 141  | 686   | 118  | 682  | 155  | 684   | 145   | 106   |
| MAC solved     | 0.4  | 8.7  | 1.5   | 0.20 | 11.0 | 5.1  | 9.4   | 2.3   |       |
| MAC total      | 2.0  | 84   | 3.8   | 1.2  | 220  | 6.3  | 40    | 4.3   | 4.3   |
| required R     | 0.0% | 0.0% | 80.5% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 60.7% | 0.0%  |       |

|                | Oil  | Cl   | Fe   | BOD  | COD  | Ptot  | N-kj       | SS    | E. coli                    |
|----------------|------|------|------|------|------|-------|------------|-------|----------------------------|
|                | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L  | mg/L       | mg/L  | kve/100 mL                 |
| Mean Dutch     | 37   | 18.3 | 1.8  | 5.7  | 32   | 0.4   | 1.9        | 29.9  | 1.9E + 04                  |
| median         | 1    | 11.0 | 1.1  | 3.1  | 20.0 | 0.3   | 1.1        | 11    | 6.7E + 03                  |
| 90 percentile  | 90.8 | 33   | 2.9  | 12.5 | 60   | 1.0   | 3.1        | 50    | 3.5E + 04                  |
| n measurements | 149  | 321  | 60   | 219  | 681  | 107   | 590        | 1,262 | 116                        |
| MAC dissolved  |      |      |      |      |      | 0.15  | 2.2(N-tot) |       | 1.0E + 03 (swimming water) |
| required R     |      |      |      |      |      | 64.5% | 0.0%       |       | 94.8%                      |



Figuur 8 - Principe verbeterd gescheiden riool (Stichting RIONED, 2017a). De 'first flush' wordt afgevoerd.

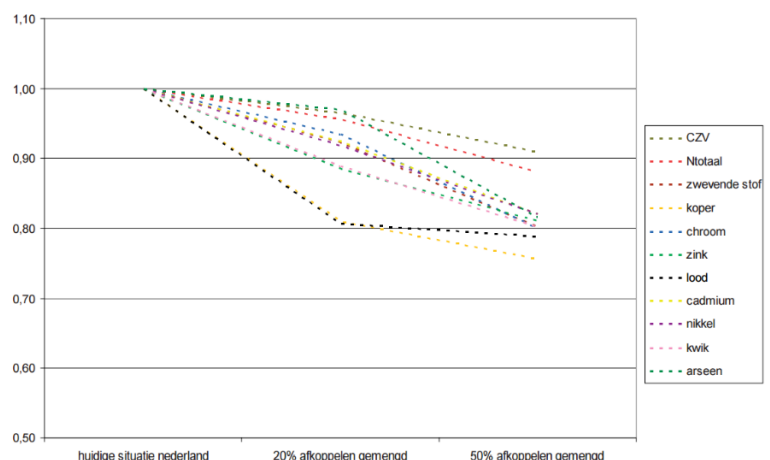
systemen te overwegen wanneer er naar waterkwaliteit gekeken wordt, zoals ook onderkend wordt door Mannina & Viviani (2009). Voor het toepassen van verbeterde gescheiden riolen zullen de ontwikkelingen in de gaten gehouden moeten worden. Uit gesprekken met experts van de gemeente Enschede blijkt ook dat er wordt aangenomen dat hemelwater schoon is, waarbij het bij deze experts ook wel bekend is dat dit niet helemaal gerechtvaardigd is zonder zuiverende maatregelen. Hierbij is er dus voorkeur voor bijvoorbeeld maatregelen waarbij het hemelwater eerst door een berm of iets dergelijks geleid wordt.

### 3.2 Water op straat

Naast het argument om over te gaan op een gescheiden rioolstelsel op basis van waterkwaliteit, is wateroverlast op straat ook een belangrijk argument in de huidige discussie. Afval- en hemelwater kan mogelijk op straat komen wanneer het gemengde riool niet genoeg capaciteit heeft, waarbij schade aan woningen en winkels mogelijk is. Door een gescheiden rioolstelsel toe te passen is er meer capaciteit om het hemelwater op te vangen. Het vuile rioolwater zal dan niet meer de mogelijkheid hebben om op straat terecht te komen. Uit onderzoek van Stichting RIONED (2013) onder 281 van de 408 Nederlandse gemeenten blijkt dat steeds meer gemeenten hemelwateroverlast ervaren. Mogelijk speelt klimaatverandering hierin een rol. De top 5 oorzaken van hemelwateroverlast volgens deze gemeenten zijn beperkte afvoercapaciteit rioolstelsel (67%), ontbrekende of niet werkende ontluchtingsleidingen (62%), verstopte kolken (58%), verhard oppervlak (57%) en bovengrondse afstroming naar lage punten in maaiveld (56%). De meest voorkomende maatregel tegen deze overlast is het afkoppelen van hemelwater naar een extra hemelwatersysteem (86%). Ruim 80% van deze 281 gemeenten zijn in de afgelopen jaren (voor 2013) aansprakelijk gesteld voor hemelwateroverlast terwijl dit in 2007 nog maar 48% bedroeg. Meestal vinden gemeenten kortdurend (korter dan 6 uur) afvalwater op straat acceptabel, al zijn de gezondheidsrisico's hiervan nog onbekend. Relatief gezien komt de meeste wateroverlast voor in gemeenten in hellend en niet-waterrijk gebied. Een meerderheid van de gemeenten ziet het waterbewust inrichten van de omgeving als een effectieve maatregel in nieuwbouwgebieden. In bestaand gebied scoort dit minder hoog doordat het daar lastiger te realiseren is. Respondenten noemen vergroten van riool geen doelmatige oplossing (door hoge kosten en ontbreken positieve neveneffecten), bovengronds afvoeren van hemelwater wordt als meest doelmatig gezien (Stichting RIONED, 2013).

### 3.3 RWZI

Een ander veelgenoemd voordeel van een gescheiden rioolstelsel is dat de RWZI efficiënter wordt naarmate er relatief minder hemelwater wordt afgevoerd naar de RWZI en dat hieruit eventueel kostenbesparingen komen. Daarnaast zal er bij een gescheiden rioolsysteem minder aanvoer naar de RWZI plaatsvinden doordat het hemelwater via een ander systeem loopt, waardoor de RWZI geen toekomstige uitbreidingen nodig heeft (Leidraad riolering, 2009). Uit onderzoek blijkt dat bij het afkoppelen van hemelwater, de mate van effect op de RWZI afhankelijk is van de onderzochte substantie (Geraats, Langeveld, & Palsma, 2009). Het is duidelijk dat er geen recht evenredig verband bestaat tussen afname instroomvolume RWZI en afname volume van de onderzochte substanties, zie



Figuur 9 – Effect percentage afkoppelen op emissie RWZI voor geheel Nederland (Geraats, Langeveld, & Palsma, 2009)



Figuur 9. Dit wordt veroorzaakt door de dynamiek van aanvoer- en zuiveringsproces (Geraats, Langeveld, & Palsma, 2009). Er is aan de ene kant het effect van minder vuilwater dat instroomt en aan de andere kant de hogere concentraties van de substanties, welk effect dominant is hangt af van de instelling van de RWZI (Geraats & Langeveld, 2008). Een algemene uitspraak over de effectiviteit van afkoppelen op de RWZI is moeilijk te doen doordat de effectiviteit sterk verschilt per substantie, maar over het algemeen zal er een reductie in emissie plaatsvinden (zie Figuur 9). Wanneer de normen voor emissie van de RWZI reeds behaald zijn, is de RWZI in principe overgedimensioneerd. Een kleinere dimensionering van het RWZI zou een kostenbesparing op zuivering kunnen opleveren tot wel tientallen procenten in Nederland (Twynstra Gudde & Tauw bv, 2015). Hierbij dient wel gezegd te worden dat de totale emissie van de RWZI voor vuilwater en daarnaast de hemelwaterafvoeren die niet langs de RWZI gaan, mogelijk minder positief is, afhankelijk van de lokale situatie, doordat ongezuiverd hemelwater niet 'schoon' is zoals eerder vermeld. Voor een verbetering van deze kwaliteit moet er gekeken worden naar zuiverende afkoppelvoorzieningen.

### 3.4 Kosten

Een belangrijk discussiepunt bij het afkoppelen van hemelwater is het evenwicht van kosten en baten. Het afkoppelen wordt over het algemeen als duur ervaren. Het afkoppelen van de voorkant van het dak en de straat kost gemiddeld meer dan 3.000 euro per woning (Stichting RIONED, 2017a). Standaardkosten van afkoppelen per vierkante meter worden geschat op 35 euro (Stichting RIONED, 2015a). Dit is vooral gebaseerd op de reeds afgekoppelde gebieden, waarbij aangemerkt moet worden dat dit meestal de meest eenvoudige situaties omvatte. Wanneer er meer wordt afgekoppeld, zal er waarschijnlijk met complexere situaties moeten worden omgegaan zoals oude binnensteden, waardoor de kosten hoger liggen dan 35 euro per vierkante meter. Volgens berekeningen van Stichting RIONED (2015) leidt, voor heel Nederland, het volledig afkoppelen van hemelwater tot een kostenpost van 2,5 miljard euro per jaar terwijl de besparing op zuiveringskosten ongeveer 420 miljoen euro per jaar bedraagt. Andere baten zouden bijvoorbeeld reductie in wateroverlast en het niet uitbreiden van de RWZI kunnen zijn, die zijn niet meegenomen in deze berekening. Hierbij stelt Stichting RIONED (2015) wel dat kleinere projecten op specifieke plekken of projecten op particulier terrein goedkoper uit zouden kunnen vallen.

In het onderzoek van Kluck et al. (2017) zijn een aantal voorbeelden van klimaatbestendige straten uitgewerkt waarbij onderwerpen als gezondheidskosten en leefcomfort als baten worden meegenomen. Dit is op basis van de TEEB-stad methodologie gedaan waarin verschillende effecten van water en groen gekwantificeerd zijn (Buck consultants international, 2016). Hieruit wordt geconcludeerd dat afkoppelvoorzieningen met oppervlakkig water en groen, de meerkosten van het afkoppelen ruimschoots compenseren (Kluck, et al., 2017). Echter is de onzekerheid wel groot, door het grote aantal onzekere kengetallen van veel verschillende effecten. Hiervoor zou aanvullend onderzoek gedaan moeten worden.

### 3.5 Conclusie

Uit het voorgaande blijkt dat de kosten van afkoppelen niet snel opwegen tegen de baten, wanneer er niet in een brede context gekeken wordt. De baten moeten worden gezocht op verschillende terreinen en over een lange termijn om tegen de kosten op te wegen, zowel financieel als niet-financieel. Hierbij moet gedacht worden aan minder wateroverlast, verhoogde leefbaarheid, tegengaan hittestress, verbeterd straatbeeld, klimaatadaptie en kwaliteit van de omgeving. Dit zijn lastig te kwantificeren parameters. Daarnaast blijkt dat afstromend hemelwater niet duidelijk beter is op het gebied van waterkwaliteit. Er zal dus gezocht moeten worden naar toepasbare afkoppelvoorzieningen met lage kosten die meerdere doelen kunnen vervullen om het afkoppelen kosteneffectief te laten zijn. Een meerderheid van de gemeenten noemt het waterbewust inrichten van een gebied effectief.

## 4 Afkoppelen in Enschede

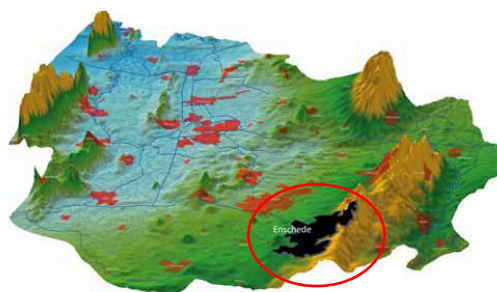
Voor het toepassen van afkoppelen in Enschede zal eerst duidelijk in kaart gebracht worden wat de waterproblematiek van Enschede inhoudt, wat de oorzaken hiervan zijn en wat voor ambities de gemeente heeft op het gebied van water. Wanneer er in een straat een afweging gemaakt wordt om af te koppelen, kan er niet alleen gekeken worden naar dat specifieke gebied. De overlast moet bijvoorbeeld niet verplaatst worden naar het gebied ernaast. Daarnaast is de bodemopbouw ook van belang bij het afwegen van verschillende afkoppelvarianten. Na de beschrijving van de situatie in Enschede, zal gekeken worden naar de ambities van de gemeente. Er zal worden gezocht naar de belangrijke voorwaarden om deze ambities te vervullen. Ter afsluiting van dit hoofdstuk wordt er gekeken naar een aantal afkoppelvoorzieningen, die een score toegewezen krijgen op basis van de situatie in Enschede en de ambities van de gemeente.

### 4.1 Situatiebeschrijving Enschede

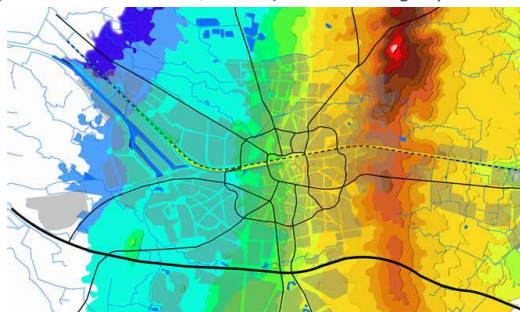
Enschede ligt op een stuwwal waaruit vroeger veel beken ontsprongen (Gemeente Enschede, 2012a). Enschede is dus een bronstad, het ligt aan het begin van een watersysteem. Door onder andere het verharden van het oppervlak is er echter steeds minder ruimte beschikbaar om dit water af te voeren uit het gebied, dit kan wateroverlast veroorzaken. De situatie van Enschede is redelijk uniek in de omgeving zoals zichtbaar in Figuur 10. Daarin is te zien hoe de ligging van Enschede ten opzichte van de omgeving is.

In Figuur 11 is het hoogteverschil in Enschede zichtbaar. Hierbij is duidelijk te zien waar de stuwwal ligt, met een hoogte van NAP +68m. Het water stroomt vanaf deze stuwwal naar het lagergelegen gebied in Enschede, waarbij het hoogteverschil tot wel 44 meter kan oplopen.

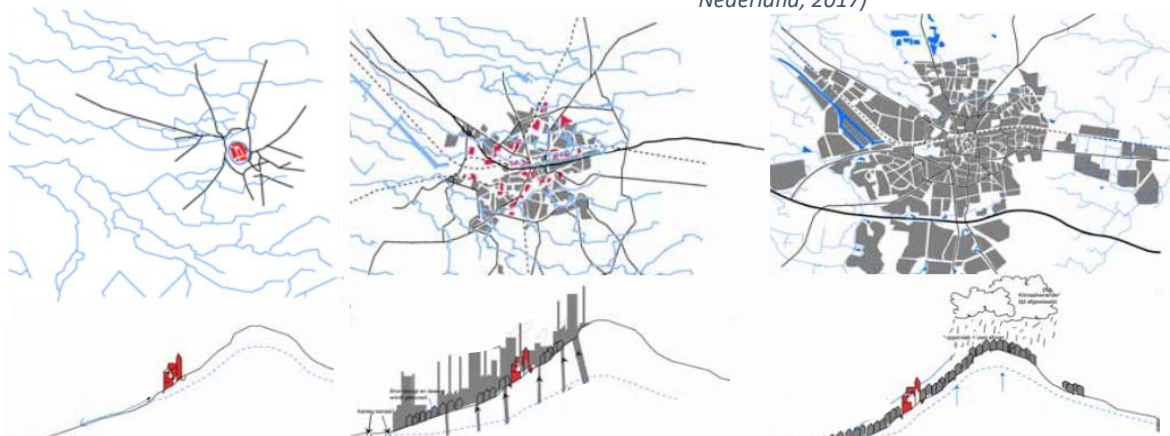
Het hoogteverschil zorgt pas voor problematiek wanneer het water geen ruimte meer heeft om op gewenste plekken te stromen. In Figuur 12 is de ontwikkeling van Enschede sinds 1850 zichtbaar. Rond 1850 was er nauwelijks verharding en kon het water zijn natuurlijke gang volgen.



Figuur 10 - Hoogteverschillen Twente en ligging Enschede (Gemeente Enschede, 2012b). Enschede ligt op een stuwwal.



Figuur 11 - Hoogteverschil Enschede, van NAP +24m (blauw) tot NAP + 68m (rood) (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2017)



Figuur 12 - Ontwikkeling verharding 1850-1930-2010 (Gemeente Enschede, 2012b). Door toename verharding, stoppen oppompen grondwater door textielindustrie en hoogteverschil ontstaat wateroverlast.

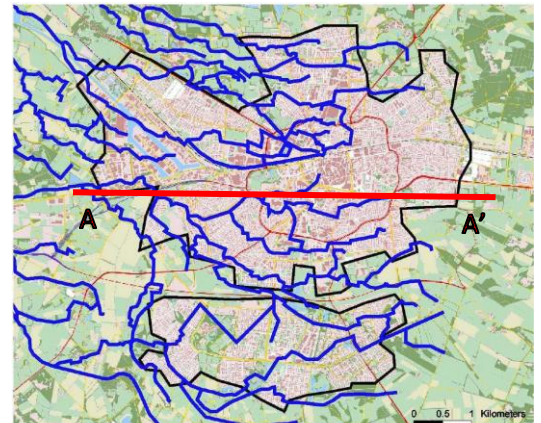


Rond 1930 was er veel textielindustrie aanwezig die water oppompten waardoor het grondwater zakte en de bronnen van veel beken opdroogde (Gemeente Enschede, 2012b). Daarnaast zijn er ook veel arbeiderswijken gebouwd die zorgden voor een verdere verharding van het gebied.

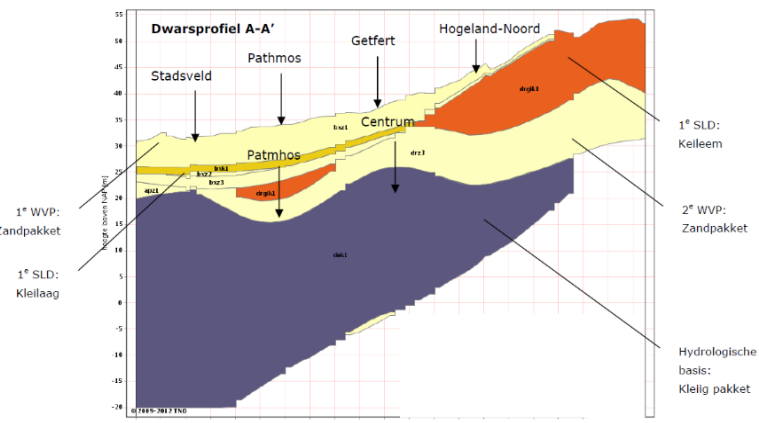
Na het verdwijnen van de textielindustrie en de verdere verharding van Enschede heeft water nauwelijks nog ruimte om te stromen of te infiltreren. In Figuur 13 is zichtbaar hoe het oude bekensysteem eruitzag. Hieruit wordt duidelijk dat er van oorsprong veel beken stroomden door het huidige Enschede. De beken zijn bijna compleet vervangen door riolen, echter zitten in het huidige rioolstelsel verschillende knelpunten, zoals zichtbaar in *Bijlage C – Overzichtskaart waterproblematiek*.

Voor het bepalen van toepasbare varianten van afkoppelvoorzieningen is het ook van belang om te weten wat het bodemtype van het gebied is en of dit geschikt is voor infiltratie van hemelwater. In Figuur 14 is de bodemopbouw vanuit zijaanzicht van Enschede zichtbaar, dwarsprofiel A – A' uit Figuur 13. Door deze opbouw infiltreert het hemelwater op de helling waar een zandpakket aanwezig is, waarna dit water stagneert in de lagere delen van Enschede veroorzaakt door de keileemlagen (Tauw bv, 2015). Daarnaast bestaat de stuwwal uit keileem, op de top direct aan het maaiveld, waardoor infiltratie bemoeilijkt wordt, wat zorgt voor veel afstroming over het oppervlak. Wanneer er afkoppelvoorzieningen met infiltratie in de bodem overwogen worden, zal er rekening gehouden moeten worden met deze bodemopbouw, dat infiltratie bemoeilijkt.

Daarnaast kan er ook gekeken worden naar de ontwateringsdiepte (afstand grondwater tot maaiveld) bij de afweging van verschillende afkoppelvoorzieningen. In *Bijlage D - Ontwateringsdiepte maatgevende natte periode*, is de ontwateringsdiepte in maatgevende natte periode zichtbaar. Opvallend daarin is het grote gebied in het westelijke deel van Enschede waarbij het grondwater 0.00 tot 0.50 meter onder maaiveld staat tijdens natte periodes, wat hoog is. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezige keileem lagen zoals zichtbaar in *Bijlage E – Overzicht gebieden risico wateroverlast op basis van bodemtype*. Een ander punt dat opvalt is dat waar vroeger de waterlopen liepen, de ontwateringsdiepte het laagst is. Er lijkt er dus een verband te zijn tussen de natuurlijke stroom van vroeger (Figuur 13) en de huidige grondwaterstanden. Deze waterstromen zijn in de loop der tijd verdwenen door de verharding en ontwikkeling van Enschede.



Figuur 13 - Oude bekensysteem geprojecteerd op het huidige Enschede (Tauw bv, 2015)



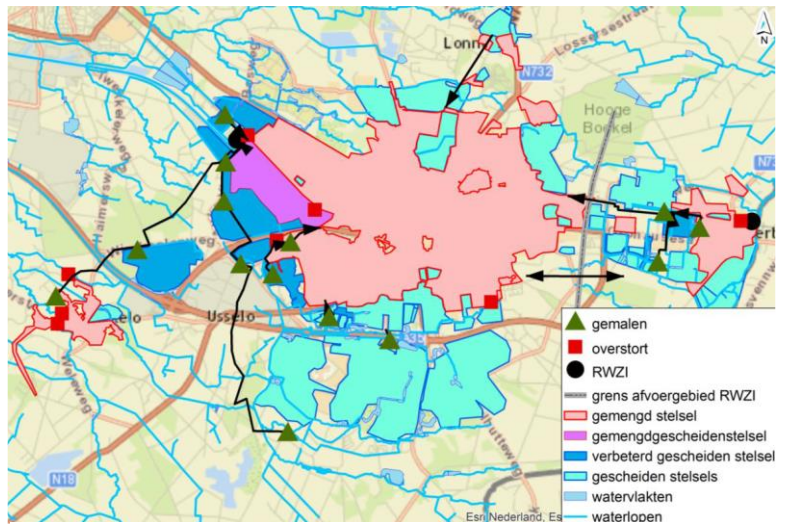
Figuur 14 - Bodemopbouw zijaanzicht Enschede met de verschillende wijken aangegeven. (Wareco, 2013b). Dwarsdoorsnede t.h.v. rode lijn Figuur 13.

| Ontwateringsdiepte                                                                                      | Toelichting                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| < 0,5 m                                                                                                 | grote kans op grondwateroverlast                                   |
| tussen 0,5 m en 0,8 m                                                                                   | kans op grondwateroverlast                                         |
| tussen 0,8 m en 1,0 m                                                                                   | kleine kans op grondwateroverlast                                  |
| tussen 1,0 m en 1,5 m                                                                                   | --                                                                 |
| > 1,5 m                                                                                                 | wellicht mogelijkheden voor afkoppelen en infiltratie <sup>1</sup> |
| <sup>1</sup> De infiltratiemogelijkheden zijn ook afhankelijk van andere factoren zoals de bodemopbouw. |                                                                    |

Figuur 15 - Verband tussen ontwateringsdiepte en overlast/kansen (Wareco, 2013b)

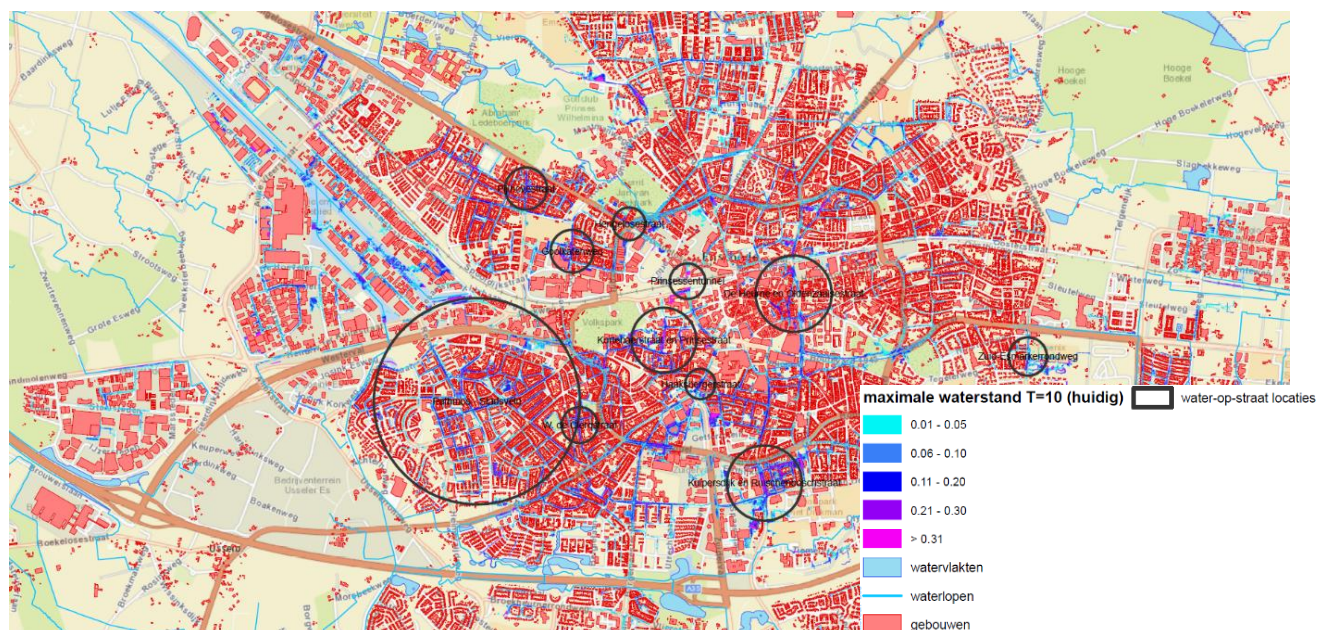
Wanneer er gekeken wordt naar de ontwateringsdiepte in de maatgevende droge periode, *Bijlage F – Ontwateringsdiepte maatgevende droge periode*, zijn er weinig locaties waarbij er een kleine ontwateringsdiepte aanwezig is. Dit zou eventueel ruimte kunnen bieden voor het infiltreren van hemelwater door afkoppelvoorzieningen om droogte te voorkomen en water niet te hoeven afvoeren, zie Figuur 15 voor het verband tussen ontwateringsdiepte en overlast of kansen.

In Figuur 16 is zichtbaar hoe het huidige rioolstelsel vormgegeven is. Hierin is duidelijk te zien dat de nieuwere delen van Enschede, aan de rand van de stad, een gescheiden rioolstelsel hebben terwijl de oudere delen in de binnenstad nog een gemengd rioolstelsel hebben, in *Bijlage G – Overzicht rioolstelsel Enschede* is een duidelijker beeld beschikbaar. De visie van de gemeente Enschede hierin is dan ook afkoppelen waar mogelijk en doelmatig (Gemeente Enschede, 2012a). Het probleem hierbij is dat de dichtheid van het gebied waar een gemengd rioolstelsel aanwezig is hoog is, wat het afkoppelen bemoeilijkt. In nieuwbouwwijken wordt er in principe altijd gescheiden aangelegd omdat dat makkelijk toepasbaar is (Gemeente Enschede, 2012a).



Figuur 16 - Huidig rioolstelsel Enschede (Witteveen+Bos, 2017a)

Deze huidige stand van zaken wat betreft riolering, verharding, bodemopbouw en hoogteverloop leidt tot de volgende overlastlocaties in Enschede wat betreft water op straat. In Figuur 17 is het resultaat zichtbaar van een modelstudie naar water op straat in Enschede voor een bui met een herhalingstijd van  $T = 10$  (Witteveen+Bos, 2017a), een grotere weergave is te vinden in *Bijlage H – Water op straat bij bui  $T = 10$* . Dit model is gemaakt met behulp van InfoWorks ICM in combinatie met de hoogtekkaart AHN2. Hierbij zijn verschillende buien uit Leidraad Riolering en Vlaamse composietbuizen doorgerekend waarbij het risico per locatie in kaart gebracht wordt.



Figuur 17 - Modelberekening water op straat bij  $T = 10$  (Witteveen+Bos, 2017a). Omcirkelde gebieden zijn locaties met een zeer hoog tot extreem risico op wateroverlast.



De omcirkelde gebieden zijn overlastlocaties op het gebied van water op straat met een zeer hoog tot extreem risico (Witteveen+Bos, 2017a). De kaart is gevalideerd met de praktijkervaring van de rioolbeheerders van de gemeente Enschede. In het algemeen kan over Enschede gesteld worden dat het risico op wateroverlast zeer hoog is (Witteveen+Bos, 2017a). Dit kan liggen aan de voorgaande benoemde omstandigheden van Enschede. Opvallend aan deze kaart is, dat gebieden met een gescheiden rioolstelsel relatief veel minder overlast van water op straat ervaren dan gebieden met een gemengd rioolsysteem. Echter moet hierbij vermeld worden dat dit ook aan andere factoren zoals een ruimer opgezette wijk en minder verharding kan liggen.

Overlast op het gebied van grondwater en waterkwaliteit kan gevonden worden in *Bijlage C – Overzichtskaart waterproblematiek*. Wanneer de kaarten van water op straat en de overzichtskaart van andere waterproblematiek naast elkaar gelegd worden, lijkt er een samenhang van grondwaterproblematiek en water op straat te zijn. In de gebieden met grondwateroverlast, komt relatief vaak water op straat voor, mogelijk door de slechte infiltratiemogelijkheden en bodemopbouw. Door het afkoppelen van hemelwater van het gemengde stelsel zouden mogelijk in deze gebieden meerdere problemen verminderd kunnen worden. Er moet dan wel rekening gehouden worden met de bodemopbouw en grondwaterstand voor een goede keuze in afkoppelvoorziening.

Tijdens een expertmeeting werd aangegeven dat uit ervaring van rioolbeheerders in Enschede, afkoppelen bijna alleen financieel haalbaar is wanneer het riool al aan vervanging toe is of de straat opgehaald wordt voor de aanpak van wateroverlast (*Bijlage A – Expertmeetings*). Het riool wordt gemiddeld na 60 jaar vervangen, al liggen de onderhoudsprogramma's niet meer jaren van tevoren vast door het steeds meer risicogestuurd beheer (Tauw bv, 2015).

Samenvattend blijkt dat er veel wateroverlast in Enschede is door onder andere het hoogteverschil, verharding en de bodemopbouw. Deze omstandigheden verschillen per locatie in Enschede. Voor de aanpak van deze problemen is afkoppelen een optie, maar wordt er vaak tegen problemen aangelopen bij het vervullen van deze wens, zoals ruimtegebrek, kosten of het ontbreken van informatie. De gegeven omstandigheden in dit hoofdstuk kunnen helpen bij het kiezen van juiste maatregelen. Naast deze omstandigheden zal er ook gekeken worden naar de ambities van de gemeente Enschede. Dit zal in de volgende paragraaf behandeld worden.

## 4.2 Ambities Enschede

Wanneer er naar waterproblematiek in Enschede gekeken wordt, kan men breder kijken dan alleen kosten en de reductie in wateroverlast. Wanneer er een afweging gemaakt wordt tussen verschillende varianten van maatregelen tegen wateroverlast, zouden er ook ambities van de gemeente Enschede meegewogen kunnen worden in dit proces. Hiervoor is binnen de gemeente de ambitiematrix in ontwikkeling om zo verschillende ambities mee te kunnen wegen in een besluitproces naast de bestaande processen gericht op kosten en reductie wateroverlast. De ambitiematrix is nog niet in de praktijk toegepast. In deze paragraaf zal toegelicht worden wat de ambities inhouden en wat voor invloed een afkoppelvoorziening kan hebben op deze ambities.

De bestaande volledige ambitiematrix is te vinden in *Bijlage B – Volledige ambitiematrix gemeente Enschede*. Voor het afwegingsproces op het gebied van afkoppelen is gekozen voor de 5 ambities zichtbaar in Tabel 5, gebaseerd op de relevantie van een ambitie ten opzichte van het afkoppelen en de voortgang van de ontwikkeling van de ambitiematrix. Wanneer duidelijk in beeld is gebracht wat voor parameters grote invloed hebben op de relevante ambities, kan er op een goed onderbouwde manier een score gegeven worden aan deze waarden.

Tabel 5 - Relevante ambities die meegenomen zullen worden in het afwegingsproces

| Ambities:             |
|-----------------------|
| Milieu                |
| Biodiversiteit        |
| Klimaatadaptatie      |
| Hittestress           |
| Leefbaarheid/beleving |

#### 4.2.1 Milieu

Wanneer er gekeken wordt naar de ambitie ‘Milieu’, zal er gefocust worden op de waterkwaliteitsverbetering die plaatsvindt door de toepassing van een afkoppelvoorziening. Dit kan zowel minder overstorten van het gemengde riool als de zuiverende werking van de afkoppelvoorziening inhouden. In *Hoofdstuk 3.1 - Waterkwaliteit* zijn reeds de effecten beschouwd van rioolssystemen op waterkwaliteit. Hieruit bleek dat zonder zuiverende maatregelen, een gescheiden rioolstelsel geen duidelijk verbeterend effect heeft op de waterkwaliteit van de ontvangende oppervlaktewateren gekeken naar verschillende substanties. Er zijn wel ontwikkelingen gaande rond het principe ‘verbeterd gescheiden riool 2.0’, maar op dit moment is nog niet duidelijk of dit principe in positieve zin bijdraagt aan de waterkwaliteit.

In Enschede wordt het meeste hemelwater via verschillende beken en hemelwaterriolen afgevoerd naar het Twentekanaal zoals zichtbaar in Figuur 16. Bij het afkoppelen van hemelwater zal er dan ook vooral naar het effect op het Twentekanaal gekeken moeten worden wanneer er geen verdere beekstructuur wordt gerealiseerd. Uit onderzoek blijkt dat de jaargemiddelde verblijftijd van het Twentekanaal altijd boven de 21 dagen is, wat betekent dat het watersysteem procesgestuurd is (Witteveen+Bos, 2017c). Hierin zijn biologische processen sturend voor de waterkwaliteit, dit kan bijvoorbeeld zorgen voor algenbloei bij een hoge belasting van nutriënten (Witteveen+Bos, 2017c). Uit dit waterkwaliteitsonderzoek blijkt daarnaast dat de nutriëntenbelasting van zowel P (fosfaat) als N (stikstof) in de huidige situatie ver boven de kritische grens ligt door een beperkte draagkracht van het watersysteem (Twentekanaal) en een te hoge belasting. Verder blijkt ook dat het grootste deel van deze vervuiling veroorzaakt wordt door aanvoer vanuit de IJssel tijdens droge periodes, om het water op peil te houden. Wanneer er grootschalig hemelwater afgekoppeld zou worden in Enschede naar het Twentekanaal, zou deze aanvoer verminderd kunnen worden waardoor deze belasting mogelijk omlaag gaat. De samenstelling van het afgevoerde hemelwater is weer afhankelijk van het type afkoppelvoorziening zoals duidelijk is geworden in *Hoofdstuk 3.1 Waterkwaliteit*. Bij grootschalig afkoppelen zonder zuiverende maatregelen zouden er potentiële knelpunten voor koper, zink, fosfaat en stikstof kunnen ontstaan (Witteveen+Bos, 2017c).

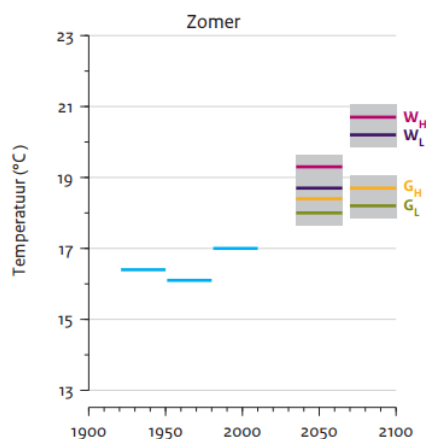
Wanneer er bijvoorbeeld gekeken wordt naar een wadi (begroeide verlaging in maaiveld) wordt er geconstateerd dat afhankelijk van het ontwerp en beplanting, grote hoeveelheden vervuilingen verwijderd kunnen worden op het gebied van chemisch zuurstofgebruik, vaste deeltjes, P en N. (Yu, Kuo, Fassman, & Pan, 2001). Ook wanneer een wadi geplaatst wordt naast een weg, is deze effectief in het verwijderen van vervuilingen (Stagge, Davis, Jamil, & Kim, 2012). Deze bevindingen worden bevestigd in het gesprek met een expert van Tauw (zie *Bijlage A – Expertmeetings*). In *Bijlage I – Tabellen invloed afkoppelvoorzieningen op waterkwaliteit* is te zien wat de invloed van een aantal afkoppelvoorzieningen op de waterkwaliteit is, voor zowel oppervlaktewater als grondwater (Tabel 16 en Tabel 17). Hieruit blijkt dat een standaard wadi en doorlatende verharding ongeveer gelijk scoren op de zuivering van water, door de zuiverende werking van de bodem (CIRIA, 2015). Wanneer er oppervlakkige systemen met beplanting worden gebruikt (Engels: Bioretention systems), kunnen er hogere zuiveringsrendementen bereikt worden (CIRIA, 2015). In Tabel 18 van deze bijlage is dit zichtbaar. Zo wordt er ongeveer 80% van het fosfaat, 50% van stikstof, 60% van koper en meer dan 90% van zink, lood en cadmium verwijderd.

#### 4.2.2 Biodiversiteit

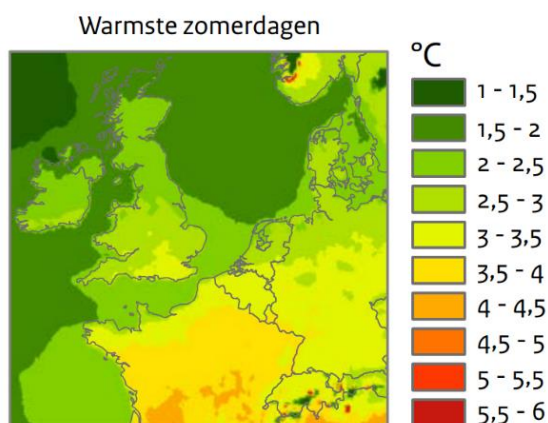
Wanneer er gekeken wordt naar biodiversiteit, zullen de verschillende afkoppelvoorzieningen afgewogen worden op basis van de mate waarin het aantal soorten flora en fauna veranderen. Een indicator hiervoor binnen de gemeente is het aantal – nader te bepalen – doelsoorten flora en fauna (Gemeente Enschede, 2015b). Aangezien de doelsoorten nog niet bekend zijn, zal er gefocust worden op de algemene biodiversiteit. Uit een meta-analyse waarin meerdere onderzoeksresultaten naast elkaar zijn gelegd, blijkt dat er een relatie is tussen de mate van verharding en de biodiversiteit (McKinney, 2008). Over het algemeen geldt, hoe hoger de mate van verharding, des te lager de biodiversiteit. Dit effect is vooral zichtbaar vanaf een mate van verharding van meer dan 50%. Voor het verbeteren van biodiversiteit heeft vooral een aaneengesloten netwerk van groene en blauwe gebieden effect (Romn  e, Evrard, & Trachte, 2015; CIRIA, 2015). Hierbij wordt aangeraden om dat in steden te doen via groenblauwe stroken langs de wegen en wanneer het niet anders kan, door het toepassen van groene daken. Uit onderzoek naar wadi's met beplanting in Australië blijkt dat de hoeveelheid en diversiteit in flora en fauna significant groter is in verhouding tot een gewoon grasveld (Kazemi, Beecham, & Gibbs, 2011). De resultaten kunnen anders zijn in Nederland door de aanwezigheid van een ander klimaat. Concluderend lijkt de mate van verharding, aaneengeslotenheid van groenblauwe netwerken en beplanting invloed te hebben op de biodiversiteit in een stad. Wanneer een afkoppelvoorziening afgewogen wordt, zullen deze parameters als maatstaven genomen worden.

#### 4.2.3 Klimaatadaptatie

Klimaatadaptatie omvat meerdere doelen voor het aanpassen aan de gevolgen die veroorzaakt worden door klimaatverandering. Daarvoor zal eerst kort een beeld geschetst worden van de gevolgen van klimaatverandering. Het KNMI (2014) heeft daarvoor vier verschillende scenario's opgesteld die een beeld geven van de effecten van klimaatverandering. De temperatuur zal gemiddeld zo'n 1 tot bijna 4 graden stijgen in de zomer (Figuur 18), waarbij dit effect het sterkst is in het binnenland (Figuur 19). Dit kan zorgen voor een versterkt hitte-eiland effect (zie *Hoofdstuk 4.2.4 Hittestress*), verdroging, slechtere luchtkwaliteit en heviger buien in de zomer (KNMI, 2014).

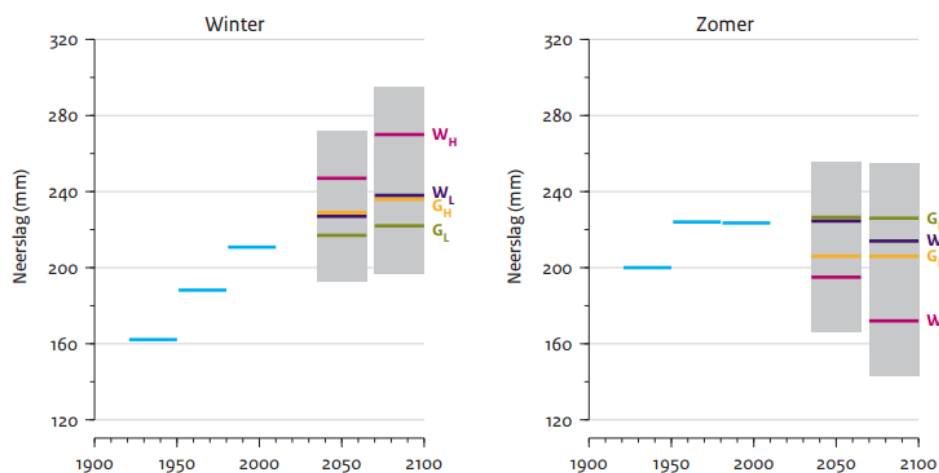


Figuur 18 – Temperatuurstijging zomer onder vier verschillende scenario's (KNMI, 2014)



Figuur 19 – Temperatuurstijging zomer onder Wh-scenario in 2050 (KNMI, 2014)

De gemiddelde neerslaghoeveelheden zullen in de winter toenemen, zichtbaar in Figuur 20. Dit kan leiden tot hogere grondwaterstanden waardoor de huidige grondwateroverlast versterkt wordt. In de zomer zal er minder neerslag vallen, echter zal de intensiteit van de buien toenemen. Dit kan aan de ene kant leiden tot verdroging van de bodem en aan de andere kant, meer hemelwateroverlast. Hierdoor zou infiltratie tot de mogelijkheden behoren om de wateroverlast en verdroging te verminderen tijdens droge periodes.

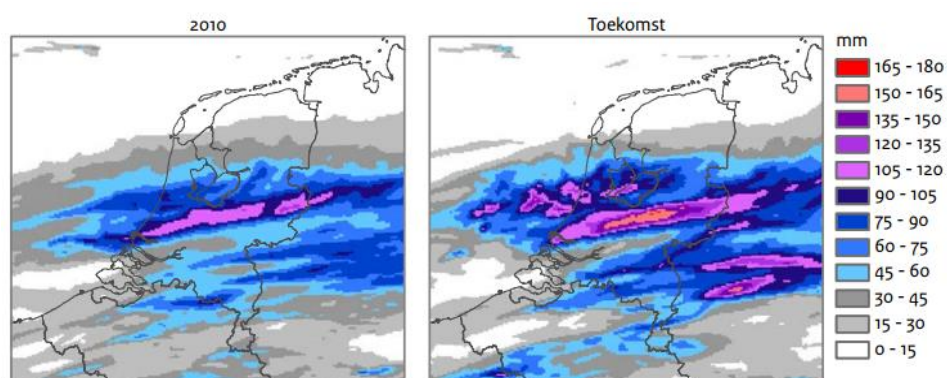


Figuur 20 – Neerslagsom winter en zomer onder vier verschillende scenario's (KNMI, 2014)

Een voorbeeld hiervan is zichtbaar in Figuur 22. In augustus 2010 was na een hevige bui, aanzienlijke overlast in grote delen van Enschede, zoals zichtbaar in Figuur 21. Wanneer deze bui door het KNMI (2014) gesimuleerd wordt in een toekomstige situatie, rechts in Figuur 22, zou de overlast aanzienlijk groter kunnen zijn door grotere hoeveelheden hemelwater. Hierbij is het KNMI (2014) uitgegaan van een toename van regenintensiteit bij extreme buien van 12% per graad verhoging gebaseerd op waarnemingen. Hierbij moet dus ook rekening gehouden worden bij het beoordelen van de kaarten met herhalingstijden in *Bijlage H – Water op straat bij bui T = 10*, waarbij de overlast dus mogelijk groter en vaker voorkomend is in de toekomst.



Figuur 21 – Wateroverlast augustus 2010 Enschede (Gemeente Enschede, 2012a)



Figuur 22 – Links: Regenbui augustus 2010 met hevige wateroverlast tot gevolg. Rechts: Regenbui 2010 gesimuleerd in toekomstige situatie waarbij de temperatuur 2 graden hoger ligt (KNMI, 2014)

Wanneer verschillende afkoppelvoorzieningen afgewogen worden op het gebied van klimaatadaptatie, zullen deze beoordeeld worden op de mate van effect op de reductie van wateroverlast en verdroging voor het heden en de toekomst.

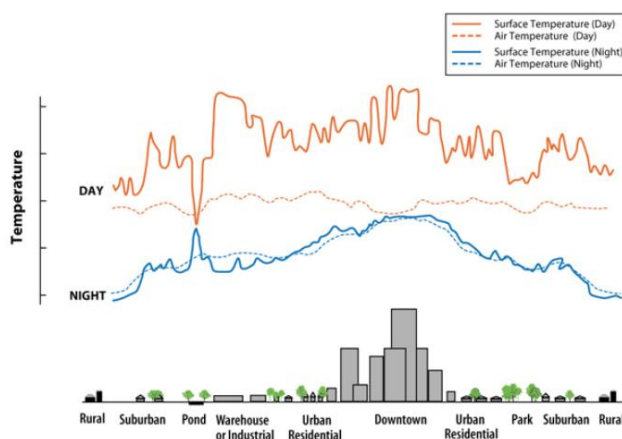
#### 4.2.4 Hittestress

Hittestress is het ongemak dat mensen hebben bij hoge temperaturen, zoals op warme zomerdagen. Het is een probleem dat op dit moment voorkomt en daarnaast zal verergeren met de eerdergenoemde klimaatverandering. Hittestress is een gevolg van het hitte-eiland effect dat inhoudt dat in stedelijke omgevingen de temperatuur hoger is dan erbuiten. Door de meeste stedelijke planners wordt dit niet gezien als (potentieel) problematisch (Runhaar, Mees, Wardekker, van der Sluijs, & Driessen, 2011). Mogelijke gezondheidseffecten van de warmere temperaturen in stedelijke gebieden zijn slaapverstoring, concentratieverlies en verlaagde arbeidsproductiviteit (Runhaar, Mees,



Wardekker, van der Sluijs, & Driessen, 2011). Er wordt daarbij geschat dat tijdens een warme zomer 1000 tot 2000 mensen meer zijn overleden ten gevolge van de extreme warmte.

Uit onderzoek van de situatie in Nederland blijkt dat in Enschede het hitte-eiland effect gemiddeld tot een verhoging van de temperatuur van ongeveer 4 graden Celsius ten opzichte van de niet-stedelijke omgeving kan leiden (Klok, Schaminee, Duyzer, & Steeneveld, 2012). In een stad als Den Haag kan dit zelfs oplopen tot een lokale verhoging van ongeveer 15 graden Celsius. Hierbij lijkt er een duidelijk verband te zijn tussen het aandeel verharding en de sterkte van het hitte-eiland effect (Klok, Schaminee, Duyzer, & Steeneveld, 2012). Er wordt daarbij ook geconcludeerd dat in het algemeen, een afname van 10% van het verharde oppervlakte met daarbij een toename in groen van 10%, kan resulteren in een afname van het hitte-eiland effect overdag tot wel 2,0 graden Celsius. Als er gekeken wordt naar water, wordt er geconcludeerd dat een toename van 10% in wateroppervlak leidt tot een hitte-eiland effect van 1,3 graden Celsius in de nacht doordat water de warmte vasthoudt. Overdag wordt bij de aanwezigheid van water geen significant effect gevonden. In Figuur 23 is het resultaat zichtbaar van een internationale studie naar het effect van omgeving op gemiddelde dag en nacht temperatuur (Döpp, 2011). Hierin is ook duidelijk het effect van verharding en openbaar groen en blauw bij dag en nacht te zien.



Figuur 23 - Gemiddelde effect omgeving op gemiddelde temperatuur dag en nacht (Döpp, 2011)

Er zijn verschillende maatregelen in relatie tot het afkoppelen van hemelwater die bij kunnen dragen aan het verminderen van hittestress. Hierbij is vooral de combinatie van water en groen een maatregel die effectief is (Döpp, 2011; Gunawardena, Wells, & Kershaw, 2017). Uit deze onderzoeken blijkt dat stilstaand water zonder groen weinig tot geen invloed heeft op het hitte-eiland effect overdag, in tegenstelling tot wat veel stedelijke planners nog steeds denken. Stromend water, fontein en vooral groen hebben een groter koeffect. Wanneer er dus hemelwater oppervlakkig afgekoppeld wordt, moet er ook aan groen en stroming aandacht worden besteed om een significante reductie in hittestress te voorzien.

#### 4.2.5 Leefbaarheid/beleving

Wanneer er gekeken wordt naar het criterium leefbaarheid en beleving wordt er breed gekeken naar de waardering voor de omgeving maar daarnaast ook naar de volksgezondheid. De visie op het gebied van belevingswaarde van de gemeente Enschede is het versterken van groene en blauwe kwaliteit door het water zichtbaar te maken (Gemeente Enschede, 2012a). De groene en blauwe ruimtes kunnen verschillende effecten hebben, zoals het leren over ecologische waarden en zorgen voor minder stress (Sander & Zhao, 2014; CIRIA, 2015). Daarnaast kunnen deze oppervlakkige structuren ook zorgen voor meer sociale cohesie en een verhoogde economische waarde van de buurt (CIRIA, 2015; City of Portland - Bureau of Environmental services, 2010). Er wordt dan ook een hoge waardering gegeven door de bewoners aan de aanwezigheid van wadi's in de wijk Ruwenbos te

Enschede (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006). Bijna 90% van de bewoners vinden de wadi's een toevoeging aan het wijkbeeld. Daarnaast is het voor de leefbaarheid ook belangrijk dat de wegen toegankelijk zijn om de bereikbaarheid te garanderen. De bereikbaarheid kan bijvoorbeeld verminderen doordat wegen met water op straat worden afgesloten.

Op het gebied van volksgezondheid wordt er naast de bovengenoemde psychische gezondheid, gekeken naar water- en vochtoverlast in de woning en de gevolgen hiervan. Dit kan zich op verschillende manieren uiten, zoals een overbelasting van het gemengde stelsel waardoor er verdund afvalwater op straat en in de woning terecht kan komen en daarnaast ook de gevolgen van een hoge grondwaterstand waardoor vochtproblemen in huis voor kunnen komen. Deze vochtproblematiek in huis kan zorgen voor schimmels waardoor ademhalingsproblemen kunnen ontstaan (RIVM, 2012).

#### 4.2.6 Conclusie ambitieervulling Enschede

Wanneer de waterproblematiek van Enschede op het gebied hemel- en grondwater wordt beschouwd met daarnaast de verschillende ambities van de gemeente, lijken bepaalde varianten van afkoppelvoorzieningen een oplossing te bieden om op meerdere vlakken ambities te vervullen en daarbij ook wateroverlast te reduceren. Hierbij is de mate ervan wel afhankelijk van de toegepaste varianten van afkoppelvoorzieningen. Uit de analyse van *Hoofdstuk 3* en *Hoofdstuk 4* worden een aantal voorwaarden duidelijk die een bijdrage kunnen leveren aan het vervullen van de ambities. De gevonden parameters die van belang zijn bij het vervullen van deze ambities zijn te vinden in Tabel 6. Dit zal gebruikt worden voor de ruwe beoordeling van de verschillende voorzieningen in *Hoofdstuk 4.3* en de meer gedetailleerde beoordeling in de casestudie in *Hoofdstuk 5 - Casestudie: Minister dr. de Visserstraat te Enschede*. Er is gekozen voor beschrijvende kwalitatieve in plaats van kwantitatieve relaties omdat deze op dit moment nog te onzeker zijn. Er is wel onderzoek gaande naar het beter kwantificeren van deze parameters, blijkt uit gesprek met een expert (zie *Bijlage A – Expertmeetings*). Dit kan in de toekomst zorgen voor een betere onderbouwing voor het vervullen van deze ambities.

| Ambities              | Voorwaarden (+ : positief verband) (- : negatief verband)                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Milieu                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuiverende werking op hemelwater (voornamelijk koper, zink, fosfaat en stikstof) (+) (Beplanting zorgt voor extra zuivering t.o.v. onbeplante voorzieningen)</li> <li>- Zichtbaarheid op foutieve aansluitingen (+)</li> <li>- Ontlasting gemengd riool, waardoor minder overstorten zullen plaatsvinden (+)</li> </ul> |
| Biodiversiteit        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aaneengeslotenheid groenblauw netwerk (+)</li> <li>- Mate van verharding (vooral geldig wanneer mate van verharding &gt;50%) (-)</li> <li>- Beplanting (+)</li> </ul>                                                                                                                                                   |
| Klimaatadaptie        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mate van effect op grondwateroverlast heden en toekomst (+)</li> <li>- Mate van effect op hemelwateroverlast heden en toekomst (+)</li> <li>- Mate van effect op verdroging door infiltratie (+)</li> </ul>                                                                                                             |
| Hittestress           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mate van verharding (-)</li> <li>- Mate van groen en water (+)</li> <li>- Mate van water (zonder groen) (-)</li> <li>- Stroming water (+)</li> </ul>                                                                                                                                                                    |
| Leefbaarheid/beleving | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Waardering voor leefomgeving (+)</li> <li>- Bereikbaarheid (+)</li> <li>- Zichtbaarheid groen en blauw (+)</li> <li>- Gezondheid (+)</li> </ul>                                                                                                                                                                         |

Tabel 6 - Voorwaarden voor vervullen ambities

### 4.3 Variantenstudie Enschede

Voor het toepassen van gescheiden rioolssystemen of afkoppelvoorzieningen zijn er verschillende mogelijke varianten. In *Bijlage J – Ambitievervulling verschillende afkoppelvoorzieningen* zijn verschillende varianten kort toegelicht met voor- en nadelen op basis van opgedane ervaringen en de toepasbaarheid in Enschede waarbij de ambities van de gemeente Enschede in acht genomen zijn. Dit kan helpen bij het maken van een keuze voor een bepaalde variant wanneer de randvoorwaarden van een situatie bekend zijn, zoals de casestudie in het volgende hoofdstuk. De ervaringen met afkoppelvoorzieningen in Enschede zijn geschetst in 'Afkoppelstrategie Enschede' (Tauw bv, 2015), waarvan veelvuldig gebruik gemaakt is.

Wanneer er de wens is om af te koppelen en daarbij meerdere ambities te vervullen, zijn er een aantal varianten die potentieel beter scoren dan andere varianten, zichtbaar in Tabel 7. Daarbij is de tabel vooral indicatief van aard voor het sturen naar afkoppelvoorzieningen die mogelijk aan meerdere ambities bij kunnen dragen. Voor de onderbouwing per voorziening, zie *Bijlage J – Ambitievervulling verschillende afkoppelvoorzieningen*. Er bestaan naast deze genoemde voorzieningen, ook subvarianten of combinaties van deze voorzieningen. Een betere inschatting van de mate van vervulling van ambities zal afhangen van de toepassing in een bepaalde straat. Daarbij komen ook andere omstandigheden zoals bodemtype, grondwateroverlast, hemelwateroverlast en straatprofiel aan de orde. Hiervoor zal een casestudie uitgevoerd worden om de toepasbaarheid en de kosten van verschillende varianten te beschouwen waarbij mogelijk iets geleerd kan worden over meerdere situaties met vergelijkbare omstandigheden. Deze tabel geeft een voorselectie aan voor kansrijke voorzieningen in het vervullen van ambities in de casestudie.

Tabel 7 - Vervulling ambities verschillende voorzieningen Enschede breed (ruwe beoordeling)

| Ambities               | Wadi | Infiltratie strook | Infiltratie krat | Waterpas. verharding | Groene daken | HWA | Berg. bas. | Straat prof. |
|------------------------|------|--------------------|------------------|----------------------|--------------|-----|------------|--------------|
| Milieu                 |      |                    |                  |                      |              |     |            |              |
| Biodiversiteit         |      |                    |                  |                      |              |     |            |              |
| Klimaatadaptie         |      |                    |                  |                      |              |     |            |              |
| Hittestress            |      |                    |                  |                      |              |     |            |              |
| Leefbaarheid /beleving |      |                    |                  |                      |              |     |            |              |

|  |                              |
|--|------------------------------|
|  | Middelmatig tot groot effect |
|  | Klein tot middelmatig effect |
|  | Geen tot zeer klein effect   |

## 5 Casestudie: Minister dr. de Visserstraat te Enschede

Binnen de gemeente Enschede is er de wens om af te koppelen waarbij meerdere doelen vervuld worden. Uit de voorgaande analyse blijkt dat bepaalde afkoppelvoorzieningen een bijdrage kunnen leveren aan de ambities die de gemeente Enschede heeft. Om de ambitie vervulling, toepasbaarheid en kosten van deze varianten gedetailleerder te analyseren wordt er een casestudie uitgevoerd voor een situatie die representatief kan zijn voor een groter gebied in Enschede.

### 5.1 Situatiebeschrijving

In deze casestudie zal gekeken worden naar de Minister dr. de Visserstraat in Enschede. De ligging van deze straat is zichtbaar in Figuur 24. Deze straat is gekozen omdat het aspecten bevat die representatief zijn voor meerdere straten in Enschede. Zo heeft de straat aan de zuidoost kant een smal profiel met parkeerplaatsen aan beide zijden. Het middenstuk van de straat is breder. Daarnaast is de riolering, zichtbaar in *Bijlage K – Bestektekening Min. dr. de Visserstraat*, vervangen in 2009 waardoor rioolvervanging voor het vergroten van de capaciteit niet tot de mogelijkheden behoort.

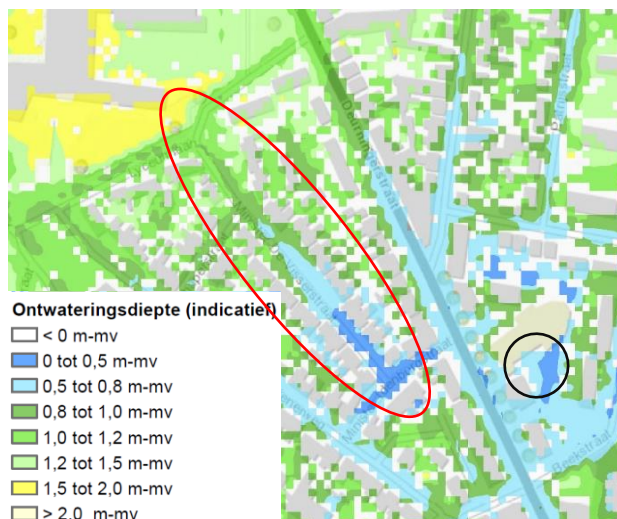


Figuur 24 - Ligging Minister dr. de Visserstraat (Google, 2017)

In dit gebied is onderzoek gaande naar grondwateroverlast naar aanleiding van klachten en daaruit blijkt dat er in de Minister dr. de Visserstraat veel vochtoverlast in de woonruimte is, met name in de kelder (Tauw bv, 2017). Deze voorlopige conclusie is getrokken uit een enquête onder de bewoners in dit gebied en aanvullende metingen. Uit de meetresultaten van de aanwezige grondwaterpeilbuizen in de omgeving blijkt een van de oorzaken van deze overlast een hoge grondwaterstand in dit gebied, zie Figuur 25 (indicatieve ontwateringsdiepte dec. 2015). Er wordt voorlopig geschat dat in dit gebied “Vaak” grondwateroverlast voorkomt, dat houdt in; meer dan 30 dagen per jaar een overschrijding van de ontwateringsdiepte kleiner dan 80 cm onder maaiveld (Tauw bv, 2017). Dit kan mogelijk leiden tot schade en gezondheidsklachten.

Naast de aanwezigheid van grondwateroverlast wordt er ook water op straat berekend in de modelberekeningen van Witteveen+Bos (2017). Dit kan oplopen tot ongeveer 20 cm water op straat, zichtbaar in Figuur 26, bij een bui die eenmaal in de 10 jaar voorkomt, wat mogelijk tot overlast in de openbare ruimte kan leiden. In de toekomst kan dit verergeren en de overlast toenemen. Hierdoor moeten de varianten in de casestudie beide knelpunten aanpakken, zowel hemel- als grondwaterproblematiek voor het heden en de toekomst.





Figuur 25 - Indicatieve ontwateringsdiepte natte periode  
Min. dr. de Visserstraat (Tauw bv, 2017)



Figuur 26 – Water op straat bij T = 10 in cm (Witteveen+Bos, 2017a)

De bodemopbouw in de Minister dr. de Visserstraat is te vinden in *Bijlage L – Minister dr. de Visserstraat bodemdata*. De peilbuizen en daarbij de boorprofielen in deze straat zijn te vinden onder de nummers Pb 1, Pb 2 en 101. Uit deze profielen blijkt dat er ongeveer een zandpakket van 7 à 8 meter bestaat bovenop een leemlaag. Het zandpakket bestaat uit wisselende lagen zeer fijn tot matig fijn zand, dit geeft een doorlatendheid van tussen de 0,2 tot 5 meter per dag (Biron, 2004). Een leemlaag heeft ongeveer een doorlatendheid van 0,05 meter per dag (Biron, 2004). Verder is zichtbaar dat er roest of ijzerafzetting aanwezig is in de verschillende bovenste grondlagen wat duidt op fluctuerende ijzerhoudende grondwaterstanden. Hieruit lijkt het grondwater te fluctueren tussen net onder het maaiveld en 1.50 meter onder het maaiveld.

De gemeten ontwateringsdiepte, in *Bijlage L – Minister dr. de Visserstraat bodemdata*, in de drie peilbuizen in de straat in de periode vanaf 1 april 2016 komt meermaals boven de grens van 0.80 meter onder maaiveld. De peilbuis in de nabijgelegen Lyceuml aan heeft meetwaarden van de periode ervoor. De overeenkomstige vorm van deze grafieken suggereert dat de ontwateringsdiepte in de Min. dr. de Visserstraat in de periode februari tot maart 2016 onder de 0.80 meter onder maaiveld komt (Tauw bv, 2017). Wanneer er gekeken wordt naar de gemeten ontwateringsdiepte in de drie peilbuizen (Pb1, Pb2 en 101) in combinatie met de neerslaggegevens, is er een duidelijk verband te zien tussen gevallen neerslag en de ontwateringsdiepte (Tauw bv, 2017). De reactie op neerslag is in dit gebied sterk en direct na neerslag. Naast de perioden van overlast, zijn er ook droge perioden die mogelijk kansen bieden voor het infiltreren van hemelwater om het rioolstelsel te ontlasten en droogteproblematiek te voorkomen door het water lokaal te bufferen en infiltreren. Echter is dit wel gebaseerd op slechts een korte meetperiode. Voor een betere conclusie zal er meerdere jaren gemeten moeten worden om zowel droge als natte jaren te beschouwen.

Het effect van een infiltratievoorziening op de grondwaterstand blijkt uit onderzoek naar enkele situaties in Nederland slechts enkele centimeters rond de voorziening, waardoor geen extra overlast zal plaatsvinden (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006). Infiltratievoorzieningen zijn ook toepasbaar in situaties met hoge grondwaterstanden en een matig doorlatende bodem (Boogaard F., 2015). Hierbij wordt wel aangeraden de infiltratievoorziening minimaal 1 meter van de gevel te plaatsen om overlast in kelders te voorkomen, al is deze kleine grondwaterverhoging slechts tijdelijk. Ook uit ervaringen van een expert blijkt dat infiltratievoorzieningen slechts geringe invloed heeft op de grondwaterstand in de directe omgeving (zie *Bijlage A – Expertmeetings*).



## 5.2 Varianten

Voor het uitwerken van de verschillende varianten gelden een aantal randvoorwaarden en aannames. In *Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie* zijn deze randvoorwaarden en aannames uitgewerkt. Daarnaast is daar de meest relevante en beschikbare data opgesomd. Het is de bedoeling dat de varianten zowel grond- als hemelwateroverlast reduceren tot een bepaalde mate. Er zijn veel mogelijkheden voor afkoppelvoorzieningen, er is gekozen voor een aantal voorzieningen die toepasbaar en kansrijk in het vervullen van een of meerdere ambities gebaseerd op de conclusie van *Hoofdstuk 4.3*.

### 5.2.1 Variant 1 – Stedelijke infiltratiestrook

#### Beschrijving

Deze variant bestaat uit een stedelijke infiltratiestrook, aangelegd door de gehele straat met daaronder een drainage-infiltratiebuis. Deze voorziening wordt gebruikt voor berging, infiltratie en drainage. Deze variant is een uitwerking van het advies van Tauw aan de gemeente Enschede (Grondwater Regulatie Systeem), echter is er gekozen voor een andere vormgeving zodat het minder ruimte inneemt. Om ruimte te maken voor dit systeem zal de straat een éénrichtingsweg moeten worden. Hierdoor ontstaat in het krappe gedeelte, 1 meter ruimte voor een infiltratiestrook waarbij de wegbreedte van 4,50 meter naar 3,50 meter gaat (Gemeente Enschede, 2017).



Figuur 27 – Variant 1, het blauwe gebied geeft de stedelijke infiltratiestrook aan.



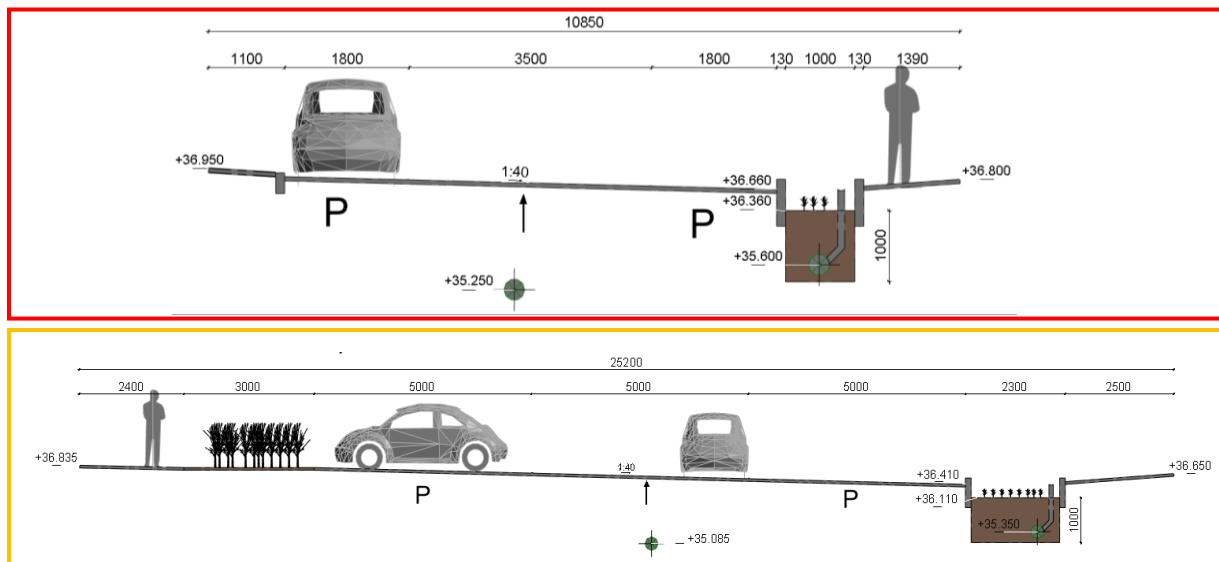
Figuur 28 – Voorbeeld stedelijke infiltratiestrook (Environmental services - City of Portland, 2012)

De oppervlakte zoals zichtbaar in Figuur 27 bedraagt ongeveer 400 m<sup>2</sup>, waardoor er een gemiddelde diepte van 30 cm nodig is bij het toepassen van een rechthoekige vorm voor het bergen van 120 m<sup>3</sup> water (*Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat*). Hierbij wordt het bergend vermogen van de bodem van de infiltratiestrook niet meegenomen, waardoor de diepte minder groot benodigd zou zijn. Voor de kabels en leidingen zal het nodig zijn om enkele passages te maken. Dit is te realiseren door de infiltratiestrook op enkele plekken te doorbreken met een overloop systeem ertussen. Dit zorgt er ook voor dat het hemelwater in de berging niet direct naar het laagste punt in de straat stroomt, maar lokaal geborgen wordt. Tevens zorgen deze onderbrekingen voor een passage voor de bewoners.

Bij deze variant is het nodig om het straatprofiel aan te passen zodat het afgekoppelde water naar de voorziening toestroomt. Het huidige straatprofiel is in een W-vorm (*Bijlage O – Straatprofielen Min. dr. de Visserstraat*). Dit zal moeten veranderen naar een geheel schuin profiel (op één oor leggen) om het water naar de voorziening te laten stromen. Ter illustratie zijn er twee straatprofielen opgesteld, zie Figuur 29, ter hoogte van het krappe gedeelte (rood) en het ruime gedeelte (oranje) om een beeld te krijgen van de inpassing in de Min dr. de Visserstraat. Hierbij zijn de hoogtes in meter NAP

gemeten met behulp van het AHN2 (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2017). De afmetingen zijn verkregen uit *Bijlage K – Bestektekening Min. dr. de Visserstraat*. De dimensionering van de afkoppelvoorziening is ruw bepaald met de benodigde hoeveelheid water die het moet kunnen bergen (*Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat*).

Bij deze variant is het nodig om een verhang toe te passen om het water richting de afkoppelvoorziening te verplaatsen. Dit kan ervoor zorgen dat, ter hoogte van de percelen, het maaiveld verhoogd of verlaagd moet worden, de dorpels van de woningen bieden hiervoor mogelijkheden (Google, 2017). Het is daarnaast een robuust systeem doordat er veel berging kan plaatsvinden, ook wanneer de bodem al verzadigd is.



Figuur 29 - Dwarsdoorsneden variant 1. De weg wordt schuin aangelegd waardoor het water naar de voorziening afstroomt. De voorziening betreft een verlaging met daaronder een infiltratiekoffer met DIT-riool.

### Indicatie kosten

De kosten zijn bepaald aan de hand van kostenkengetallen. Daarna zijn deze gecontroleerd en waar nodig gecorrigeerd door een calculator van de gemeente Enschede. Het betreffen indicatieve aanleg- en onderhoudskosten zonder risico's, winst, toezicht, inflatie, eenmalige aannemerskosten, kabels & leidingen, voorbereiding en andere overige kosten. Dit resulteert in aanlegkosten: **€70.200**, onderhoudskosten: **€910/jr.** (Opbouw kosten, zie *Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie*). Door de diepe ligging van het systeem kan dit zorgen voor hogere kosten voor kabels & leidingen. Enkele passages zouden uitkomst kunnen bieden hiervoor. De onderhoudskosten zijn grotendeels groenkosten. Hierdoor is dit bedrag niet volledig aan het rioleringsbudget toe te wijzen. Het schoonhouden van zo'n voorziening zou ook door middel van burgerparticipatie mogelijk zijn (Environmental services - City of Portland, 2012). De kosten zijn aan Tabel 8 toegevoegd met een score op een schaal van 0 tot 5, waarbij 5 het goedkoopst is (zie *Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie* voor schaalverdeling).

### Ambities

Om de score te bepalen van deze variant zal gekeken worden naar de mate waarin het aan de relevante voorwaarden voor het vervullen van de ambities voldoet (zie Tabel 6). De scores zijn ingeschat op een schaal van 0 tot 5 op basis van de genoemde voorwaarden. Hierbij geldt: score 0 = geen positief effect, score 5 = zeer groot positief effect. In dit onderzoek is gekozen voor een kwalitatieve benadering van de baten, er is niet gekeken naar het kwantificeren van de positieve effecten door de mate van onzekerheid die dat met zich meebrengt en het verkennende karakter ervan. Voor de uitwerking van deze variant, zie Tabel 8.

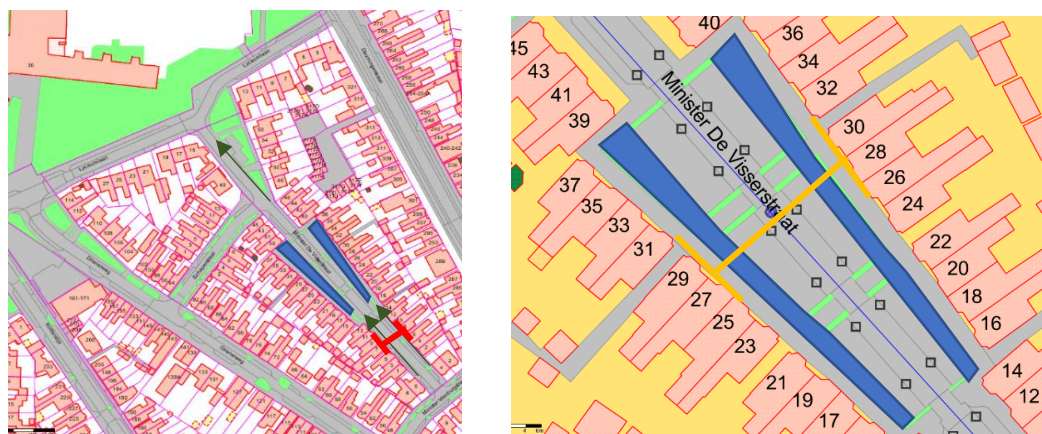
Tabel 8 - Uitwerking variant 1

| Ambities              | Uitwerking stedelijke infiltratiestrook in deze straat                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Score (0 t/m 5) |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Milieu                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Significante zuiverende werking door beplanting en bodem</li> <li>- Hoge zichtbaarheid op foutieve aansluiting</li> <li>- Ontlasting gemengde rioolstelsel</li> </ul>                                                                                                                                            | 4               |
| Biodiversiteit        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zorgt voor aaneengesloten groenblauw netwerk doordat voorziening door gehele straat aanwezig is</li> <li>- Beplanting aanwezig</li> <li>- 150 m<sup>2</sup> minder verharding (7.5% minder dan huidige situatie)</li> </ul>                                                                                      | 4               |
| Klimaatadaptie        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drainage voor hoge grondwaterstanden in de winter (grotere frequentie in de toekomst)</li> <li>- Infiltratie tijdens droge periodes (grotere frequentie in de toekomst)</li> <li>- Robuust systeem voor berging hemelwater (Bij T=25 voldoet berging, exclusief bodem, grotere hoeveelheden mogelijk)</li> </ul> | 4               |
| Hittestress           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 150 m<sup>2</sup> minder verharding (7.5% minder dan huidige situatie)</li> <li>- Groen en blauw</li> <li>- Stroming water gering</li> </ul>                                                                                                                                                                     | 4               |
| Leefbaarheid/beleving | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoge waardering wordt gegeven aan wadi's (groen en blauw aan oppervlak)</li> <li>- Vermindering gezondheidsklachten door minder grondwateroverlast</li> <li>- Groenblauwe voorziening zichtbaar in gehele straat</li> <li>- Eénrichtingsverkeer mogelijk minder gewenst</li> </ul>                               | 3               |
| Kosten                | Aanlegkosten: €70.200                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1               |
|                       | Onderhoudskosten: €910/jr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1               |

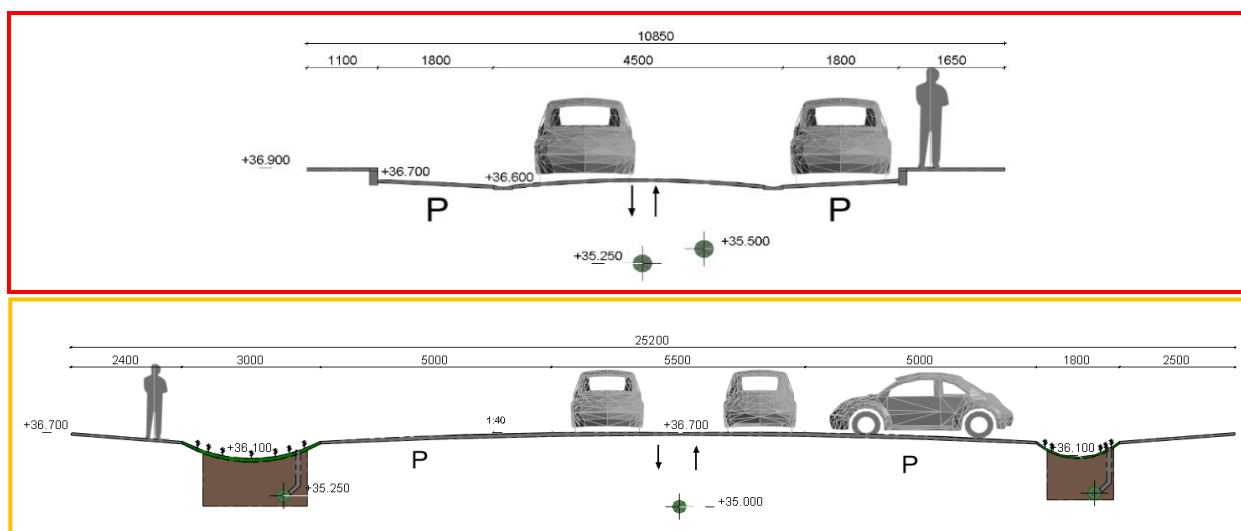
### 5.2.2 Variant 2 – Wadi

#### Beschrijving

Deze variant is vergelijkbaar met variant 1 en heeft dan ook dezelfde werking (berging, infiltratie en drainage), echter zijn er hierbij alleen beplante wadi's toegepast in het middenstuk van de straat. Hiervoor is het nodig het straatprofiel aan te passen om het water naar de wadi's af te voeren. Het hemelwater zal met behulp van goten naar de wadi's in het middenstuk gebracht worden. De weg kan in tegenstelling tot variant 1, in twee richtingen gebruikt worden. In het middenstuk zal ook het profiel aangepast moeten worden om het water in de wadi's te verkrijgen. De wadi's hebben gezamenlijk ongeveer een oppervlakte van 300 m<sup>2</sup>, waardoor er per m<sup>2</sup> gemiddeld ongeveer 0.4 m<sup>3</sup> water geborgen moet worden voor 120m<sup>3</sup> water (*Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat*). In Figuur 30 is de situatie geschetst. Er is hierbij gekozen voor beplante wadi's in plaats van onbeplante wadi's omdat dit mogelijk ervoor zorgt dat de wadi niet betreden wordt, een grotere biodiversiteit, mogelijk betere opname van verontreinigingen, minder onderhoud en grotere belevingswaarde (Boogaard, Jeurink, & Gels, 2003). In het gebied waar de wadi's zijn, liggen relatief weinig kabels en leidingen.



Figuur 30 - Bovenaanzicht variant 2, blauwe gebied betreft de wadi



Figuur 31 – Dwarsdoorsneden variant 2. Hemelwater stroomt af naar wadi's via goten of verkanting. De voorziening betreft een infiltratiekoffer met daarbij een DIT-riool.

Ter illustratie zijn er twee straatprofielen opgesteld, zie Figuur 31. Belangrijk hierin is de aanpassing in het straatprofiel om het water in de goten of wadi's te verkrijgen. Dit systeem is mogelijk minder robuust dan variant 2 doordat er met goten gewerkt wordt. Dit kan zorgen voor lokale overlast ter hoogte van de goten wanneer deze niet volledig vrij is, door geparkeerde auto's of iets dergelijks. Daarnaast zal niet elke woning uitzicht hebben op de afkoppelvoorziening. Een voordeel daarentegen is dat er tweerichtingsverkeer mogelijk is en er relatief minder kabels en leidingen omgelegd hoeven te worden.

### Indicatie kosten

De kosten zijn bepaald aan de hand van kostenkengetallen. Daarna zijn deze gecontroleerd en waar nodig gecorrigeerd door een calculator van de gemeente Enschede. Het betreffen indicatieve aanleg- en onderhoudskosten zonder risico's, winst, toezicht, inflatie, eenmalige aannemerskosten, kabels & leidingen, voorbereiding en andere overige kosten. Dit resulteert in aanlegkosten: **€40.100**, onderhoudskosten: **€910/jr.** (Opbouw kosten, zie *Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie*). Door de diepe ligging van het systeem kan dit zorgen voor hogere kosten voor kabels & leidingen, al zijn er ter plaatse weinig kabels en leidingen. De onderhoudskosten zijn grotendeels groenkosten. Hierdoor is dit bedrag niet volledig aan het rioleringsbudget toe te wijzen. De kosten zijn aan Tabel 9 toegevoegd met een score op een schaal van 0 tot 5, waarbij 5 het goedkoopst is (zie *Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie* voor schaalverdeling).

### Ambities

Om de score te bepalen van deze variant zal gekeken worden naar de mate waarin het aan de relevante voorwaarden voor het vervullen van de ambities voldoet (zie Tabel 6). De scores zijn ingeschat op een schaal van 0 tot 5 op basis van de genoemde voorwaarden. Hierbij geldt: score 0 = geen positief effect, score 5 = zeer groot positief effect. In dit onderzoek is gekozen voor een kwalitatieve benadering van de baten, er is niet gekeken naar het kwantificeren van de positieve effecten door de mate van onzekerheid die dat met zich meebrengt en het verkennende karakter ervan. Voor de uitwerking van deze variant, zie Tabel 9.



Tabel 9 - Uitwerking variant 2

| Ambities              | Uitwerking wadi's in deze straat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Score (0 t/m 5) |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Milieu                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Significante zuiverende werking door beplanting en bodem</li> <li>- Hoge zichtbaarheid op foutieve aansluiting</li> <li>- Ontlasting gemengd rioolstelsel</li> </ul>                                                                                                                                                                                                     | 4               |
| Biodiversiteit        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen aaneengesloten groenblauw netwerk door gehele straat aanwezig. Wel toevoeging van water t.o.v. bestaande situatie.</li> <li>- Beplanting aanwezig</li> <li>- Geen reductie verharding</li> </ul>                                                                                                                                                                    | 2               |
| Klimaatadaptie        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drainage voor hoge grondwaterstanden in de winter (grotere frequentie in de toekomst)</li> <li>- Infiltratie tijdens droge periodes (grotere frequentie in de toekomst).</li> <li>- Ruimte voor berging hemelwater tijdens hevige buien (T=25), echter wel systeem met goten wat mogelijk minder robuust is dan variant 1, doordat dit geblokkeerd kan raken.</li> </ul> | 3               |
| Hittestress           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen vermindering verharding</li> <li>- Groen en blauw aanwezig</li> <li>- Stroming water gering</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                              | 1               |
| Leefbaarheid/beleving | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoge waardering wordt gegeven aan wadi's</li> <li>- Vermindering gezondheidsklachten door grondwateroverlast</li> <li>- Groenblauwe voorziening zichtbaar in deel van straat</li> <li>- Goten zorgen mogelijk voor overlast</li> <li>- Tweerichtingsverkeer blijft mogelijk</li> </ul>                                                                                   | 3               |
| Kosten                | Aanlegkosten: €40.100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 3               |
|                       | Onderhoudskosten: €910/jr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1               |

### 5.2.3 Variant 3 – Waterpasserende verharding, berging onder parkeerplaatsen

#### Beschrijving

Deze variant is een combinatie van het aanpassen van het straatprofiel voor het bergen van het water ter plaatse van de parkeervakken en daarbij waterpasserende verharding waaronder het water kan bergen en infiltreren in de ondergrondse voorziening. Tevens wordt een drainage-infiltratiebuis aangelegd om het grondwater af te voeren. De gemarkeerde gebieden in Figuur 32 omvatten de parkeerplaatsen in de straat en hebben een totaal oppervlak van 650 m<sup>2</sup>. Hierdoor zal de voorziening ongeveer 50 cm diep moeten zijn voor het bergen van 120m<sup>3</sup> water (*Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat*). Daarnaast zal ook het straatprofiel aangepast moeten worden zodat de parkeerplaatsen kunnen functioneren als extra berging, zie Figuur 33.

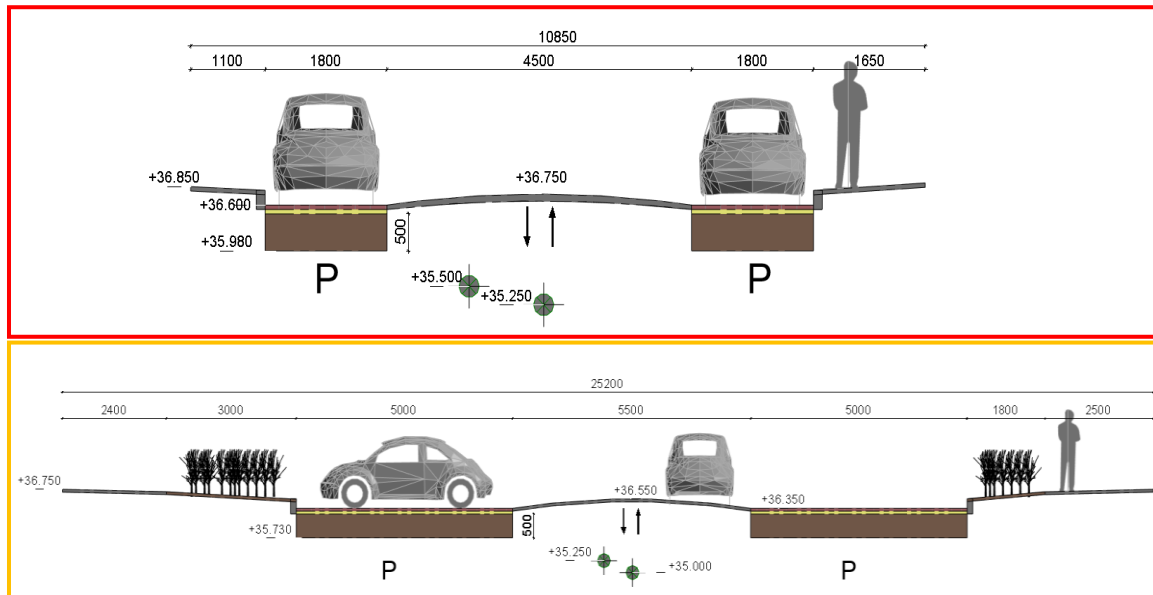


Figuur 32 – Bovenaanzicht variant 3, blauwe gebieden betreffen de waterpasserende verharding.

Deze vorm kan er tevens voor zorgen dat er genoeg ruimte is voor kabels en leidingen tussen de bergings- en infiltratievoorzieningen door. Bij de dwarsdoorsneden in Figuur 33 wordt duidelijk hoe de voorziening vormgegeven is. De weg zal worden aangepast zodat het parkeervak als berging kan dienen wanneer de waterpasserende verharding de neerslagintensiteit niet kan verwerken. Onder de



berging van het parkeervak zal dus waterpasserende verharding toegepast worden waaronder een ondergrondse voorziening gelegen is, inclusief drainage in de weg. Een voordeel van de voorziening op deze plaats is dat er weinig verkeersintensiteit is (parkeerplaats), waardoor waterpasserende verharding mogelijk minder snel dichtslibt. Een mogelijk nadeel van het toepassen van dit straatprofiel is dat verschil tussen trottoir en straat groter wordt.



Figuur 33 – Dwarsdoorsneden variant 3. Ter plaatse van de parkeervakken wordt waterpasserende verharding toegepast. Hieronder komt het terecht in een infiltratievoorziening dat aangesloten wordt op het DIT-riool.

### Indicatie kosten

De kosten zijn bepaald aan de hand van kostenkengetallen. Daarna zijn deze gecontroleerd en waar nodig gecorrigeerd door een calculator van de gemeente Enschede. Het betreffen indicatieve aanleg- en onderhoudskosten zonder risico's, winst, toezicht, inflatie, eenmalige aannemerskosten, kabels & leidingen, voorbereiding en andere overige kosten. Dit resulteert in aanlegkosten: **€69.200**, onderhoudskosten: **€1200/jr.** (Opbouw kosten, zie *Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie*). Door de ondiepe ligging van dit systeem kan dit zorgen voor minder hoge kosten voor kabels & leidingen dan variant 1 en 2. De kosten zijn aan Tabel 10 toegevoegd met een score op een schaal van 0 tot 5, waarbij 5 het goedkoopst is (zie *Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie* voor schaalverdeling).

### Ambities

Om de score te bepalen van deze variant zal gekeken worden naar de mate waarin het aan de relevante voorwaarden voor het vervullen van de ambities voldoet (zie Tabel 6). De scores zijn ingeschat op een schaal van 0 tot 5 op basis van de genoemde voorwaarden. Hierbij geldt: score 0 = geen positief effect, score 5 = zeer groot positief effect. In dit onderzoek is gekozen voor een kwalitatieve benadering van de baten, er is niet gekeken naar het kwantificeren van de positieve effecten door de mate van onzekerheid die dat met zich meebrengt en het verkennende karakter ervan. Voor de uitwerking van deze variant, zie Tabel 10.

Tabel 10 - Uitwerking variant 3

| Ambities              | Uitwerking waterpasserende verharding in deze straat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Score (0 t/m 5) |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Milieu                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuiverende werking bodem</li> <li>- Hoge zichtbaarheid op foutieve aansluiting door bovengronds afvoeren naar voorziening</li> <li>- Ontlasting gemengd riool</li> </ul>                                                                                                                                                                           | 3               |
| Biodiversiteit        | Geen effect op biodiversiteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0               |
| Klimaatadaptie        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drainage voor hoge grondwaterstanden in de winter (grotere frequentie in de toekomst)</li> <li>- Infiltratie tegen verdroging</li> <li>- Ruimte voor berging hemelwater tijdens hevige buien. Bij bereiken capaciteit waterpasserende verharding, overlast in parkeervakken (T=25). Bij dichtslibben verharding mogelijk meer overlast.</li> </ul> | 3               |
| Hittestress           | Geen effect op hittestress                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0               |
| Leefbaarheid/beleving | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermindering gezondheidsklachten door minder grondwateroverlast</li> <li>- Minder wateroverlast in woningen</li> <li>- Geen toevoeging aan beleving</li> <li>- Hogere opstap trottoir</li> </ul>                                                                                                                                                   | 2               |
| Kosten                | Aanlegkosten: €69.200                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1               |
|                       | Onderhoudskosten: €1200/jr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0               |

#### 5.2.4 Variant 4 – berging onder wegvak

##### Beschrijving

Deze variant omvat een waterberging onder het wegvak, waarbij het hemelwater de voorziening bereikt door middel van afstroming naar kolken. In deze voorziening kan het water infiltreren in de bodem of eventueel vertraagd afgevoerd worden. De kolk waarmee het hemelwater naar het waterbergend pakket wordt gebracht is zichtbaar in Figuur 35. Er wordt dus hierbij geen waterpasserende of waterdoorlatende verharding toegepast. Hierdoor kan de oude bestrating hergebruikt worden. Het wegbeheer kan daardoor ook ongewijzigd blijven. Daarnaast wordt een DIT-riool aangelegd om de hoge grondwaterstanden in de winter af te voeren zoals aanbevolen in de afkoppelstrategie Enschede. Door het DIT-riool aan te sluiten op de kolk kan dit ook als overloopmechanisme werken.



Figuur 34 – Boven-aanzicht variant 4. Blauwe gebied betreft de berging.

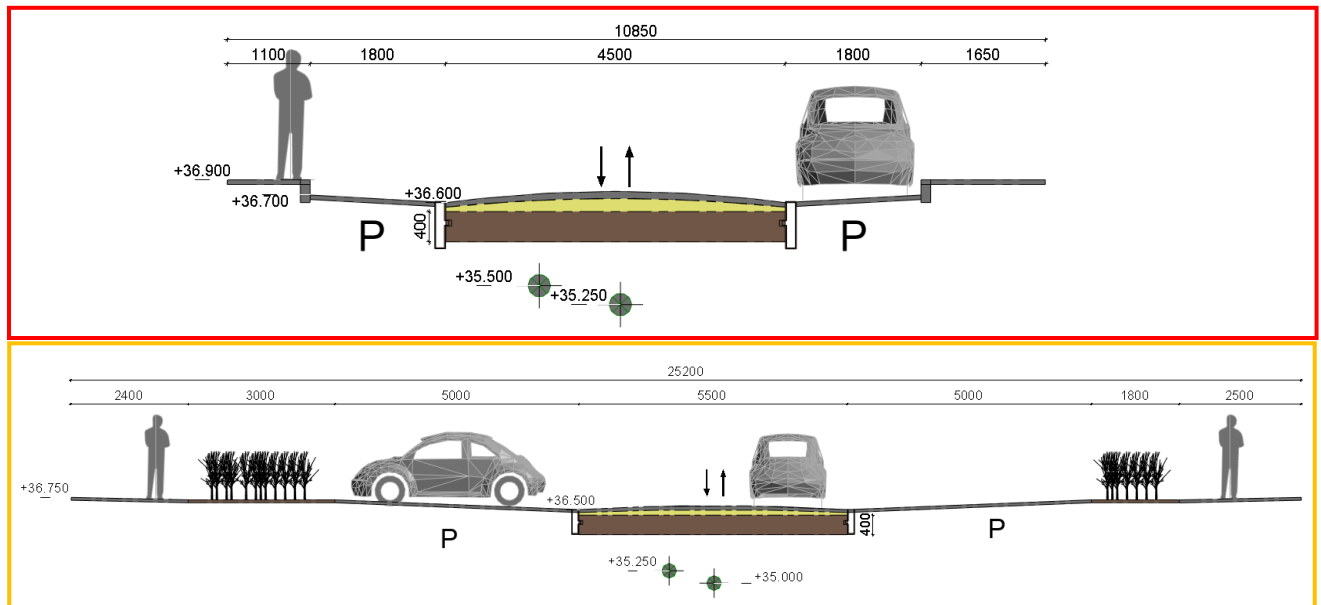


Figuur 35 – Kolk naar waterbergend pakket met bezinkunit en olieverwerkend filterdoek (Aquaflow, 2017a)

Voor het toepassen van deze variant is het in principe niet nodig om het straatprofiel aan te passen, wanneer de huidige situatie voldoet. De situatie wordt geschetst in Figuur 34. De oppervlakte bedraagt ongeveer 900 m<sup>2</sup>, waardoor een berging van ongeveer 40 cm voldoende zou moeten zijn (Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat). Een aandachtspunt bij deze variant is het aantal kabels en leidingen die de voorziening doorkruisen, al zijn de meeste kabels en

leidingen alleen onder het trottoir aanwezig. De kabels en leidingen kunnen onder de voorziening door worden gelegd door middel van mantelbuizen. Uit voorzorg zouden er een aantal lege mantelbuizen aangelegd kunnen worden. De kolk met bezinkunit hoeft slechts eenmaal per 10-15 jaar gereinigd te worden met een kolkenzuiger (Aquaflow, 2017b).

Ter illustratie zijn in Figuur 36 de twee dwarsdoorsneden afgebeeld. Voor deze variant is weinig aanpassing aan het straatprofiel benodigd. Het risico van dit systeem zou kunnen zijn dat er geen bovengrondse berging is waardoor er mogelijk overlast kan plaatsvinden op straat, wanneer de capaciteit van de ondergrondse voorziening bereikt is.



Figuur 36 – Dwarsdoorsneden variant 4. Via de kolken stroomt het water naar het waterbergend pakket dat aangesloten is op het DIT-riool.

### Indicatie kosten

De kosten zijn bepaald aan de hand van kostenkengetallen. Daarna zijn deze gecontroleerd en waar nodig gecorrigeerd door een calculator van de gemeente Enschede. Het betreffen indicatieve aanleg- en onderhoudskosten zonder risico's, winst, toezicht, inflatie, eenmalige aannemerskosten, kabels & leidingen, voorbereiding en andere overige kosten. Dit resulteert in aanlegkosten: **€65.600**, onderhoudskosten: **€100/jr.** (Opbouw kosten, zie *Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie*). Door de ondiepe ligging van dit systeem kan dit zorgen voor minder hoge kosten voor kabels & leidingen dan variant 1 en 2. De kosten zijn aan Tabel 11 toegevoegd met een score op een schaal van 0 tot 5, waarbij 5 het goedkoopst is (zie *Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie* voor schaalverdeling).

### Ambities

Om de score te bepalen van deze variant zal gekeken worden naar de mate waarin het aan de relevante voorwaarden voor het vervullen van de ambities voldoet (zie Tabel 6). De scores zijn ingeschat op een schaal van 0 tot 5 op basis van de genoemde voorwaarden. Hierbij geldt: score 0 = geen positief effect, score 5 = zeer groot positief effect. In dit onderzoek is gekozen voor een kwalitatieve benadering van de baten, er is niet gekeken naar het kwantificeren van de positieve effecten door de mate van onzekerheid die dat met zich meebrengt en het verkennende karakter ervan. Voor de uitwerking van deze variant, zie Tabel 11.

Tabel 11 - Uitwerking variant 4

| Ambities              | Uitwerking berging onder wegvak in deze straat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Score (0 t/m 5) |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Milieu                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuiverende werking bodem</li> <li>- Hoge zichtbaarheid op foutieve aansluiting bij bovengronds afvoeren naar voorziening</li> <li>- Ontlasting gemengd riool</li> </ul>                                                                                                                                                      | 3               |
| Biodiversiteit        | Geen effect op biodiversiteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0               |
| Klimaatadaptie        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drainage voor hoge grondwaterstanden in de winter (grotere frequentie in de toekomst)</li> <li>- Infiltratie tijdens droge periodes (grotere frequentie in de toekomst)</li> <li>- Ruimte voor ondergrondse berging hemelwater tijdens hevige buien (T=25). Bij bereiken capaciteit, mogelijk overlast op straat.</li> </ul> | 3               |
| Hittestress           | Geen effect op hittestress                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0               |
| Leefbaarheid/beleving | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermindering gezondheidsklachten door vermindering grondwateroverlast</li> <li>- Minder wateroverlast in woningen</li> <li>- Geen toevoeging aan beleving</li> </ul>                                                                                                                                                         | 2               |
| Kosten                | Aanlegkosten: €65.500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1               |
|                       | Onderhoudskosten: €100/jr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 5               |

### 5.2.5 Variant 5 – Hemelwaterriool & drainage

#### Beschrijving

Deze variant bestaat uit een hemelwaterriool en drainage. Deze variant kan gezien worden als conventionele referentievariant ten opzichte van de vier andere varianten. Er bestaat ook de mogelijkheid om het DIT-riool en hemelwaterriool te verenigen, echter is dit alleen mogelijk onder de meest gunstige omstandigheden doordat de bergingsfunctie van het hemelwaterriool vervalt (Wareco, Fugro & Deltares, 2017). Bij deze variant is er vanuit gegaan dat dit niet mogelijk is door de huidige hoge grondwaterstanden en matig doorlatende bodem. Het hemelwater zal van de daken via de bestaande ondergrondse infrastructuur worden aangesloten op het hemelwaterriool. Hemelwater van de wegen zal via het straatprofiel naar de bestaande kolken worden vervoerd. Hiervoor zal weinig aanpassing aan het straatprofiel nodig zijn, doordat het huidige profiel al afwatert naar de bestaande kolken. Het bovenaanzicht van deze variant is zichtbaar in Figuur 37. Voor deze variant zijn geen dwarsdoorsneden benodigd in deze casestudie, doordat er geen aanpassingen aan het straatprofiel plaatsvinden.



Figuur 37 – Bovenaanzicht variant 5. Blauwe en rode lijnen betreffen het hemelwaterriool en drainage.



### Indicatie kosten

De kosten zijn bepaald aan de hand van kostenkengetallen. Daarna zijn deze gecontroleerd en waar nodig gecorrigeerd door een calculator van de gemeente Enschede. Het betreffen indicatieve aanleg- en onderhoudskosten zonder risico's, winst, toezicht, inflatie, eenmalige aannemerskosten, kabels & leidingen, voorbereiding en andere overige kosten. Dit resulteert in aanlegkosten: **€80.400**, onderhoudskosten: **€440/jr.** (Opbouw kosten, zie *Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie*). De kosten zijn aan Tabel 12 toegevoegd met een score op een schaal van 0 tot 5, waarbij 5 het goedkoopst is (zie *Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie* voor schaalverdeling).

### Ambities

Om de score te bepalen van deze variant zal gekeken worden naar de mate waarin het aan de relevante voorwaarden voor het vervullen van de ambities voldoet (zie Tabel 6). De scores zijn ingeschat op een schaal van 0 tot 5 op basis van de genoemde voorwaarden. Hierbij geldt: score 0 = geen positief effect, score 5 = zeer groot positief effect. In dit onderzoek is gekozen voor een kwalitatieve benadering van de baten, er is niet gekeken naar het kwantificeren van de positieve effecten door de mate van onzekerheid die dat met zich meebrengt en het verkennende karakter ervan. Voor de uitwerking van deze variant, zie Tabel 12.

Tabel 12 - Uitwerking variant 5

| Ambities:             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Score (0 t/m 5) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Milieu                | <ul style="list-style-type: none"><li>- Geen zuivering</li><li>- Geen zicht op foutieve aansluitingen</li><li>- Minder gemengde overstorten door ontlasting gemengd riool zorgen mogelijk voor betere waterkwaliteit, afhankelijk van substantie.</li></ul>                                      | 1               |
| Biodiversiteit        | Geen effect op biodiversiteit                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0               |
| Klimaatadaptie        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Drainage voor hoge grondwaterstanden in de winter (grotere frequentie in de toekomst)</li><li>- Geen infiltratie</li><li>- Extra capaciteit voor hemelwater t.o.v. alleen gemengd riool. Bij bereiken capaciteit, mogelijk overlast op straat.</li></ul> | 2               |
| Hittestress           | Geen effect op hittestress                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0               |
| Leefbaarheid/beleving | <ul style="list-style-type: none"><li>- Vermindering gezondheidsklachten door minder grondwateroverlast</li><li>- Minder wateroverlast in woningen</li><li>- Geen toevoeging aan beleving</li></ul>                                                                                              | 2               |
| Kosten                | Aanlegkosten: €80.400                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0               |
|                       | Onderhoudskosten: €440/jr.                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3               |

## 5.3 Conclusie

De beschreven varianten in deze casestudie zijn toepasbaar in deze straat, dit is aangetoond door middel van de getekende straatprofielen. Daarnaast zijn deze varianten ook besproken met een expert op dit gebied (zie *Bijlage A – Expertmeetings*). De expert verwacht dat deze varianten zeker uitvoerbaar en effectief kunnen zijn in deze vorm en de wateroverlast kunnen verminderen. De kosten zijn ingeschat met behulp van kostenkengetallen en gecontroleerd door een expert op dit gebied waardoor het een goede indicatie is. Elke variant is daarbij ook getoetst aan de vijf ambities door de effecten in te schatten op een schaal van 0 tot 5, op basis van de voorgaande bevindingen. Hiermee zal in het volgende hoofdstuk het resultaat besproken worden door een multicriteria-analyse uit te voeren met deze vijf ambities in combinatie met de kosten voor de verschillende varianten in deze casestudie.

## 6 Resultaten

In dit hoofdstuk wordt ten eerste het resultaat van de casestudie toegelicht. Ten tweede volgt de translatie van de casestudie naar de situatie voor geheel Enschede.

### 6.1 Casestudie

In de casestudie zijn vijf varianten uitgewerkt in een straat met waterproblematiek. Hieruit blijkt dat deze varianten mogelijk zijn in deze straat, allen de waterproblematiek kunnen verminderen en in een bepaalde mate ambities kunnen vervullen. Bij variant 1, stedelijke infiltratiestrook, zal de straat wel een éénrichtingsweg worden om dit in te passen. Bij de andere varianten volstaat het huidige tweerichtingsprofiel.

De vijf afkoppelvarianten in de casestudie zijn allen beoordeeld op de indicatieve kosten en de mate waarin de vijf ambities vervuld kunnen worden. Deze aanleg- en onderhoudskosten zijn apart op een schaal van 0 tot 5 ingedeeld, waarbij 5 het goedkoopst is. De indeling van de kosten op deze schaal is zichtbaar in Tabel 13. Hiermee zijn de varianten aan de hand van een multicriteria-analyse beoordeeld. Dit houdt in dat elke variant op basis van de score op de vijf ambities en aanleg- en onderhoudskosten is vergeleken.

Tabel 13 - Indeling kosten op schaal 0 t/m 5. Deze schaal is gebaseerd op een verdeling van €0 tot het hoogste bedrag

| Score | Totale aanlegkosten | Totale onderhoudskosten /jr. |
|-------|---------------------|------------------------------|
| 5     | €0-15.000           | €0-200                       |
| 4     | €15.000-30.000      | €200-400                     |
| 3     | €30.000-45.000      | €400-600                     |
| 2     | €45.000-60.000      | €600-800                     |
| 1     | €60.000-75.000      | €800-1000                    |
| 0     | €75.000-90.000      | €1000-1200                   |

Voor dit vergelijkings- of afwegingsproces zullen de verschillende criteria een bepaald gewicht gegeven moeten worden. In dit onderzoek is er gekozen voor drie verschillende methodes om inzicht te geven in de effecten hiervan op het resultaat. Deze drie groepen van gewichten zijn te zien in Tabel 14 onder methodes.

Tabel 14 - Drie verschillende methodes (gewichten) voor MCA

| Criteria              | Methode ambitie | Methode gelijk | Methode kosten |
|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Milieu                | 2               | 1              | 1              |
| Biodiversiteit        | 2               | 1              | 1              |
| Klimaatadaptie        | 2               | 1              | 1              |
| Hittestress           | 2               | 1              | 1              |
| Leefbaarheid/beleving | 2               | 1              | 1              |
| Aanlegkosten          | 1               | 1              | 5              |
| Onderhoudskosten      | 1               | 1              | 5              |

Door deze gewichten te vermenigvuldigen met de scores op de criteria van de vijf verschillende varianten in de casestudie, wordt het resultaat behaald zoals zichtbaar in Tabel 15. De kleuren geven aan hoe goed de varianten scoren ten opzichte van de andere varianten op de horizontale rij met dezelfde methode. Hierbij is de schaal van negatief naar positief, rood-geel-groen.

Tabel 15 - Resultaat MCA casestudie (hoog cijfer en groen is positief, laag cijfers en rood is negatief).

| Criteria                             | 1-Infiltratiestrook | 2-Wadi    | 3- Pas. verhard. | 4-Berg. wegvak | 5-HWA     |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|------------------|----------------|-----------|
| Milieu                               | 4                   | 4         | 3                | 3              | 1         |
| Biodiversiteit                       | 4                   | 2         | 0                | 0              | 0         |
| Klimaatadaptie                       | 4                   | 3         | 3                | 3              | 2         |
| Hittestress                          | 4                   | 1         | 0                | 0              | 0         |
| Leefbaarheid/beleving                | 3                   | 3         | 2                | 2              | 2         |
| Aanlegkosten                         | 1                   | 3         | 1                | 1              | 0         |
| Onderhoudskosten                     | 1                   | 1         | 0                | 5              | 3         |
| <b>Totaalscore (methode ambitie)</b> | <b>40</b>           | <b>30</b> | <b>17</b>        | <b>22</b>      | <b>13</b> |
| <b>Totaalscore (methode gelijk)</b>  | <b>21</b>           | <b>17</b> | <b>9</b>         | <b>14</b>      | <b>8</b>  |
| <b>Totaalscore (methode kosten)</b>  | <b>29</b>           | <b>33</b> | <b>13</b>        | <b>38</b>      | <b>20</b> |

Uit deze tabel blijkt dat variant 1, de stedelijke infiltratiestrook, het beste scoort bij methode ambitie en gelijk. Naarmate er meer gewicht wordt gegeven aan de kosten zal variant 4, de bergende weg zonder waterpasserende verharding, het beste scoren (zie methode kosten).

Dit resultaat is te verklaren doordat variant 1 het hoogst scoort op de vijf ambities door het hoge zuiveringsrendement en het groenblauwe netwerk dat verschillende voordelen heeft. Twee nadelen zijn echter de onderhoudskosten en de transformatie naar een éénrichtingsweg. De onderhoudskosten bestaan hoofdzakelijk uit het onderhoud plegen aan de planten, waardoor deze kosten niet volledig aan het rioleringsbudget opgaan.

Variant 2, de wadi, scoort minder hoog dan variant 1 doordat het niet door de volledige straat loopt en het in dit geval niet voor een vermindering van de verharding zorgt. Tweerichtingsverkeer kan wel behouden blijven in tegenstelling tot variant 1. Daarnaast zijn de aanlegkosten het laagst van alle varianten.

Variant 3, de waterpasserende verharding, scoort slecht door hoge aanleg- en onderhoudskosten in combinatie met het niet veelvoudig vervullen van de verschillende ambities. Daarnaast brengt het onderhoud van de waterpasserende verharding nog veel vragen met zich mee, dit zorgt voor grote onzekerheid. De verharding slibt na een bepaald aantal jaren dicht en heeft het onderhoud nodig. Hiervoor moet dan bijgehouden worden wanneer dit onderhoud nodig is.

Variant 4, de waterberging onder de weg met behulp van kolken, scoort goed omdat het zorgt voor zuivering van het afstromende hemelwater in combinatie met lage onderhoudskosten. Er is geen waterpasserende verharding die dichtslibt zoals bij variant 3, slechts eenmaal in de 10-15 jaar de kolk schoonzuigen zou moeten voldoen. Het is echter wel een ondergronds systeem waardoor het geen bijdrage levert aan het reduceren van hittestress en het verbeteren van de biodiversiteit.

Variant 5, het eenvoudig gescheiden stelsel door middel van een hemelwaterriool, scoort het slechtst op de ambities en heeft daarnaast ook de hoogste aanlegkosten. Het systeem kent geen zuiverende maatregelen waardoor de algehele waterkwaliteit van de ontvangende wateren waarschijnlijk niet significant zal verbeteren, het zal wel zorgen voor doorstroming in het watersysteem. Daarnaast zal deze variant ook geen bijdrage leveren aan het reduceren van verdroging, al is dat in deze straat geen groot probleem. Het zorgt wel voor meer capaciteit zodat er minder vaak overstorten vanuit het gemengde riool nodig zijn. Echter bieden de andere varianten in deze casestudie dit ook, met daarnaast nog een grotere mate van vervulling van de verschillende ambities zonder dat dit meer kost.

Concluderend kan er gesteld worden dat wanneer er waarde gehecht wordt aan de ambities, variant 1 de beste optie is, in deze casestudie. Wanneer de nadruk op kosten komt te liggen, komt variant 4 er het beste uit. Hierbij moet wel vermeld worden dat de baten van de ambities niet in financiële cijfers zijn uitgedrukt, waardoor variant 1 mogelijk nog beter zou scoren op basis van de kosten en baten, door bijvoorbeeld de mogelijke waardevermeerdering van woningen en een reductie in zorgkosten. Echter moet de straat hiervoor wel éénrichtingsverkeer worden waardoor er mogelijk ongemakken zijn en de waardering van het straatbeeld anders kan zijn. Daarnaast kan de diepere ligging van variant 1 zorgen voor meer werk en kosten aan het verplaatsen van kabels en leidingen. Op het gebied van de reductie van wateroverlast voldoen al deze voorzieningen. Binnen het straatprofiel van deze straat kunnen de voorzieningen dermate gedimensioneerd worden, dat deze kunnen voldoen aan de gewenste normen.

## 6.2 Translatie naar situatie Enschede

De casestudie is in een straat uitgevoerd die zowel een minimaal als een breed straatprofiel omvat. Hierdoor kan er in bredere zin iets gezegd worden over het toepassen van deze voorzieningen in meerdere straten. Zoals zichtbaar in *Bijlage G – Overzicht rioolstelsel Enschede* is in een groot gebied van Enschede nog een gemengd stelsel aanwezig. Van de vijf onderzochte varianten in de casestudie

kunnen er drie worden toegepast in het minimale straatprofiel van een tweerichtingsweg in woongebied. De stedelijke infiltratiestrook kan worden toegepast door de straat aan te passen naar een éénrichtingsverkeer. Op grote schaal wegen éénrichtingsverkeer maken zorgt mogelijk wel voor andere verkeerskundige situaties. Een wadi in traditionele vorm heeft door de vormgeving meer ruimte nodig en kan dus niet overal toegepast worden. Wanneer een éénrichtingsweg niet mogelijk of onwenselijk is, zal er dus gekeken moeten worden naar waterberging onder de straat. Dit zorgt ten opzichte van een hemelwaterriool voor zuivering van het hemelwater en de mogelijkheid tot infiltratie. Daarnaast komt uit de casestudie voort dat een systeem met waterberging onder de weg, zonder waterpasserende verharding, goedkoper is. Het kost dus niks extra terwijl er in grotere mate ambities vervuld worden.

Bij alle varianten in de casestudie is een DIT-riool toegepast voor het verhelpen van de grondwateroverlast in bepaalde periodes van het jaar en daarnaast het hemelwater af te voeren naar het grondwater. Zoals zichtbaar op de kaarten met de ontwateringsdiepte in een droge en natte periode, zijn er veel plekken in Enschede met grondwateroverlast in natte periodes (*Bijlage E* en *Bijlage F*). Echter bieden de droge periodes genoeg kansen voor infiltratie. Uit onderzoek blijkt dat infiltrerende voorzieningen ook voldoende werken in gebieden met hoge grondwaterstanden en een relatief matige doorlatendheid, zoals een combinatie van fijn zand en leem (Boogaard F. , 2015). In de gebieden waar het risico mogelijk te groot is om te infiltreren, zoals op de stuwwal, oostelijk in Enschede waar leemlagen tot aan het maaiveld aanwezig zijn (zie *Bijlage E – Overzicht gebieden risico wateroverlast op basis van bodemtype*), zouden de voorzieningen ook als bergend (niet-infiltrerend) ingericht kunnen worden door de bodem van de voorziening waterdicht te maken. Dit kan wel gevolgen hebben voor de afweging tussen verschillende voorzieningen, doordat in de casestudie van infiltrerende voorzieningen uit is gegaan. Echter heeft dit geen invloed op de ambities, milieu, biodiversiteit en hittestress.

De huidige hemel- en grondwaterproblematiek zoals zichtbaar in *Bijlage C – Overzichtskaart waterproblematiek* en *Bijlage H – Water op straat bij bui T = 10*, zal in de toekomst toenemen door de effecten van klimaatverandering. De winters zullen natter worden waardoor de huidige grondwaterproblematiek groter wordt, de zomers zullen droger worden met daarbij vaker voorkomende intensievere buien. Deze intensieve buien zullen ervoor zorgen dat de rioolcapaciteit vaker en ernstiger wordt overschreden, waardoor er vaker water op straat zal plaatsvinden als het huidige rioolstelsel behouden blijft. Zo zullen er vaker overstortingen plaatsvinden van het gemengde rioolstelsel op het oppervlaktewater, wat de waterkwaliteit niet ten goede komt. Klimaatverandering zorgt daardoor voor het steeds belangrijker worden van voorzieningen die het water kunnen vasthouden of infiltreren om zo het rioolstelsel te ontlasten en daarnaast verdroging te voorkomen. Tevens kunnen de varianten die bovengronds aangebracht worden, zoals de wadi en de stedelijke infiltratiestrook, zorgen voor het reduceren van hittestress op de in de toekomst vaker voorkomende zomerdagen door de reductie in verharding en toevoeging van de combinatie groen en water. Dit zorgt ook voor het verbeteren van de biodiversiteit, vooral wanneer er een groenblauw netwerk ontstaat.

Wanneer het afwegingsproces van afkoppelen plaats zal vinden in een straat waarbij geen hemel- en grondwateroverlast is in het heden en niet verwacht wordt in de toekomst, zal een hemelwaterriool slechts in een kleine mate of geen ambitieervulling geven. Door voor ondergrondse voorzieningen te kiezen zoals een waterberging onder de straat, zal de ambitieervulling groter zijn door de zuivering en infiltratie van hemelwater. Wanneer er in dit soort straten een grote vooruitgang in ambitieervulling gewenst is, zal er gekozen moeten worden voor bovengrondse voorzieningen zoals een wadi of infiltratiestrook. Hiermee kan er een bijdrage geleverd worden aan alle vijf de ambities, waarbij vooral de biodiversiteit, reductie in hittestress en waardering voor de leefomgeving variantspecifieke effecten zijn.



## 7 Discussie en aanbevelingen

---

In dit onderzoek zijn een aantal aannames gedaan die invloed hebben op het resultaat. Dit geeft een bepaalde mate van onzekerheid. Deze aannames en onzekerheden worden hier besproken, waarbij ook een aantal aanbevelingen gedaan worden.

### 7.1 Waterkwaliteit

Waterkwaliteit is een belangrijk argument bij het afkoppelen van hemelwater zoals blijkt in *hoofdstuk 3* en *4*. Het is echter complex om bij de afweging mee te nemen of een bepaalde variant de waterkwaliteit algeheel voor het hele watersysteem verbetert. Er zijn een beperkt aantal wetenschappelijke publicaties beschikbaar op dit gebied, daarnaast is dit ook afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden. Uit de studies die beschikbaar zijn, blijkt wel dat voorzieningen zoals een wadi het hemelwater in grote mate kunnen zuiveren in tegenstelling tot een hemelwaterriool. In Enschede wordt het afgevoerde hemelwater uit de hemelwaterriolen voornamelijk in het Twentekanaal geloosd. De grootste bron van vervuiling in het Twentekanaal is de aanvoer vanuit de IJssel bij droge periodes. Daardoor is ervan uitgegaan dat een hemelwaterriool een kleine bijdrage aan de verbetering van de waterkwaliteit kan leveren door meer doorstroming en het verminderen van gemengde overstorten, terwijl er bij de zuiverende voorzieningen vanuit is gegaan dat deze bijdrage groter is. Wat het tot gevolg heeft voor de waterkwaliteitsverbetering van een compleet watersysteem is onzeker. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

### 7.2 Casestudie

Een belangrijke aanname die gedaan wordt bij de casestudie is het aanwezig zijn van een hoofdafvoerstructuur waarop de straat aangesloten kan worden als overloopsysteem. In Enschede, met name het gebied met gemengde rioolstelsel (zie *Bijlage G – Overzicht rioolstelsel Enschede*), zijn weinig beken of waterlopen beschikbaar. Om een afweging te maken zoals in de casestudie zal dus eerst gezorgd moeten worden voor deze hoofdstructuur. Daarnaast zou een oppervlakkige hoofdstructuur de noodzaak van dit soort voorzieningen in de woonstraten mogelijk verkleinen, doordat deze hoofdstructuur zelf al een bijdrage kan leveren aan de vijf ambities. Uit nader onderzoek zal moeten blijken wat mogelijk is op dit gebied. Eventueel zouden de voorzieningen voordat deze hoofdstructuur aanwezig is, uitgevoerd kunnen worden met een noodoverloopsysteem naar het bestaande gemengde riool.

De voorzieningen in de casestudie maken gebruik van de combinatie draineren en infiltreren (DIT-riool) om het grondwaterpeil te reguleren, zoals dit geadviseerd is in de Afkoppelstrategie Enschede (Tauw bv, 2015). Echter zijn er van dit systeem geen onderzoeksresultaten met vergelijkbare omstandigheden zoals in Enschede beschikbaar die de werking hiervan ondersteunen. Dit blijkt ook uit het gesprek met een expert van Tauw op dit gebied (zie *Bijlage A – Expertmeetings*). Er zijn volgens de expert positieve ervaringen met dit soort systemen, echter zijn er weinig relevante onderzoeksresultaten beschikbaar doordat er weinig aan dit soort systemen wordt gemeten. De enkele onderzoeksresultaten die er wel zijn (onder verschillende omstandigheden), ondersteunen de werking van het reguleren van het grondwaterpeil met DIT-riolen (Wareco, Fugro & Deltares, 2017). Infiltratie zou uit ervaring van de expert alleen zeer plaatselijk en tijdelijk een grondwaterstandverhoging veroorzaken, dat niet tot extra grondwateroverlast zal leiden. Dit betekent ook dat het tegengaan van verdroging veel infiltratiepunten benodigd heeft om invloed te hebben, door de geringe invloed van één infiltratievoorziening op de grondwaterstandverhoging.

In de casestudie is er bij de oppervlakkige afkoppelvoorzieningen gebruik gemaakt van beplanting in plaats van normaal gras. Dit heeft meerdere voordelen zoals een mogelijke mooier straatbeeld, grotere biodiversiteit, betere zuivering en het minder hoeven maaien dan gras, wat ook

financiële gevolgen kan hebben, afhankelijk van het lokale maaibeleid, zoals onderkend door Boogaard, Jeurink & Geld (2003). Echter wordt dit weinig toegepast in de praktijk. Door een praktijkproef uit te voeren zou hier meer inzicht in verkregen kunnen worden.

Uit de casestudie komen twee varianten naar voren die hoog scoren op de ambities dan wel de kosten. Doordat dit in een minimale straatbreedte zoals in de casestudie in te passen is, wordt er aangenomen dat dit voor een groter gebied in Enschede toepasbaar is. Door meer casestudies toe te voegen in het verlengde van dit onderzoek, zou er voor verschillende soorten straten inzicht gegeven kunnen worden in kansrijke afkoppelvarianten.

### 7.3 Ambitiematrix

De ambitiematrix is in de casestudie toegepast door middel van een multicriteria-analyse. De multicriteria-analyse is toegepast om varianten met elkaar te kunnen vergelijken door een score te geven aan de ambitieervulling en kosten van verschillende varianten. Het gaat hierbij niet om het selecteren van de beste variant, maar om inzicht te krijgen in kansrijke varianten onder verschillende strategieën. Dit is gedaan om flexibiliteit te bieden aan de besluitvormers van de gemeente, zoals onderschreven wordt door Lahdelma et al. (2000). Zo is het mogelijk dat er per locatie een andere ambitieniveau geldt, waardoor er een hoger of lager gewicht aan de ambities ten opzichte van de kosten gehangen kan worden. Daarnaast is het ook mogelijk dat bepaalde ambities belangrijker worden gevonden dan andere ambities. Dit zou ook over tijd kunnen veranderen doordat er meer of minder geld beschikbaar is. In dit onderzoek is er gekozen voor drie verschillende strategieën om een zo breed mogelijk beeld te geven. Hiermee is inzicht verkregen in de effecten hiervan op de score van verschillende afkoppelvoorzieningen. Het bepalen van de geldende strategie is aan de besluitvormers van de gemeente Enschede.

Er is gekozen om geen gebruik te maken van kwantitatieve relaties op het gebied van de ambities, omdat dit een hoge mate van onzekerheid meebrengt met de kennis die er op dit moment bekend is. Er kan wel gezegd worden dat bepaalde ambities in grotere mate vervuld worden, echter is de exacte grootte van dit effect lastig te bepalen. Een multicriteria-analyse is een methode die in tegenstelling tot een kosten-baten analyse goed om kan gaan met de kwalitatieve en onzekere criteria zoals de ambities in dit onderzoek (Gamper & Turcanu, 2007). Op dit moment is onderzoek gaande naar het kwantificeren van dit soort effecten, dit zou in de toekomst een toevoeging kunnen zijn aan de ambitiematrix (zie *Bijlage A – Expertmeetings*). Dit zorgt er op dit moment voor dat de resultaten van de ambities uit dit onderzoek niet kwantitatief onderbouwd zijn, al is het de vraag of de resultaten significant veranderen ten opzichte van de bekende kwalitatieve relaties. Het is voornamelijk belangrijk dat bekend is welke parameters invloed hebben op de ambities zodat de besluitvormers hiermee in de toekomst rekening kunnen houden bij het maken van besluiten op dit gebied en het kiezen van kansrijke varianten. Door de ambitiematrix bij deze besluiten te betrekken kan er bewustwording ontstaan die mogelijk al sturend is. Hiervoor zou het dan niet nodig te zijn om gedetailleerd deze complexe relaties tussen de maatregelen en de ambitie-effecten vast te stellen. De Gezondheidsraad (2017) adviseert dan ook, ondanks de onzekerheden, om in steden meer groen aan leggen voor de mogelijke positieve gezondheidseffecten en de bijdrage die het aan ecosystemen, waterberging en verkoeling kan leveren.

#### 7.4 Aanbevelingen gemeente Enschede

- Een pilot uitvoeren met de twee varianten die hoog scoren op basis van kosten en ambities, de berging onder de weg zonder waterpasserende verharding en de stedelijke infiltratiestrook. Door dit uit te voeren met meetinstrumenten kan er onderzocht worden hoe effectief deze varianten zijn met de omstandigheden in Enschede. Daarnaast kan er gepeild worden hoe de beheerders en inwoners deze voorzieningen waarderen.
- Het aanbrengen van beplanting in wadi's of infiltratiestroken kan zorgen voor het in grotere mate vervullen van de ambities. Daarnaast kan dit mogelijk ook zorgen voor lagere onderhoudskosten ten opzichte van gras doordat er minder gemaaid hoeft te worden (2x i.p.v. 26x, afhankelijk van maaibeleid). Hierdoor is het een aanbeveling om dit uit te proberen in een bestaande of toekomstige voorziening om de ervaringen hiermee te peilen.
- Voor het grootschalig afkoppelen is een hoofdafvoerstructuur voor het hemelwater nodig. Dit kan ook al in een bepaalde mate de ambities vervullen waardoor de behoefte voor oppervlakkige systemen die ruimte innemen in de woonstraten lager is. Hiervoor is vervolgonderzoek nodig.
- Door de ambitiematrix bij besluiten op het gebied van water te betrekken naast de bestaande processen zal er bewustwording ontstaan die mogelijk kan zorgen voor maatregelen die meerdere doelen kunnen vervullen. De ambities die gebruikt worden in dit onderzoek worden niet alleen vervuld door het toepassen van afkoppelvoorzieningen, maar ook het verminderen van verharding en het toepassen van groen. Daardoor zou deze methodiek zou niet alleen voor besluiten op het gebied van water, maar ook voor ruimtelijke ontwikkelingen in het algemeen gebruikt kunnen worden, waarbij bijvoorbeeld andere ambities van de gemeente toegevoegd worden.

#### 7.5 Wetenschappelijke aanbevelingen

- Om de afweging van het afkoppelen en type voorzieningen beter te onderbouwen moeten de effecten van hittestress, biodiversiteit en een groenblauw netwerk verder onderzocht worden. De huidige gekwantificeerde baten zijn nog te onzeker om hiervan betrouwbaar gebruik te maken.
- Er zijn een groot aantal afkoppelvoorzieningen reeds toegepast, echter zijn er weinig meetresultaten beschikbaar. Dit blijkt ook uit het gesprek met een expert op dit gebied. Door de bestaande voorzieningen beter te evalueren op basis van metingen, kunnen er in de toekomst betere afwegingen gemaakt worden op basis van deze ervaringen.

## 8 Conclusie

---

Het doel van deze thesis was het onderzoeken welke afkoppelvarianten toepasbaar zijn in Enschede en in hoeverre hiermee relevante ambities van de gemeente Enschede, naast het verminderen van wateroverlast, vervuld kunnen worden.

Ten eerste is voor het beantwoorden van de eerste onderzoeksvraag, *wat zijn de voor- en nadelen van het afkoppelen van hemelwater van het gemengde riool?*, de discussie op het gebied van het afkoppelen van hemelwater in kaart gebracht om de relevante thema's te beschouwen. Hieruit kwam naar voren dat de kosten van het afkoppelen niet snel opwegen tegen de baten, waardoor afkoppelvarianten die meerdere doelen of ambities vervullen, effectiever zijn. Varianten met water en groen aan de oppervlakte hebben veel positieve neveneffecten naast het reduceren van wateroverlast, dit kan daardoor ook voor financiële baten zorgen.

Voor het beantwoorden van de tweede onderzoeksvraag, *hoe passend zijn de verschillende voorzieningen met de waterproblematiek en watergerelateerde ambities in Enschede?*, is de situatie van Enschede in kaart gebracht met betrekking tot de waterhuishouding. Daarnaast is er gekeken naar hoe de ambities van de gemeente gerealiseerd kunnen worden. Hieruit volgde een ruwe selectie van kansrijke afkoppelvarianten.

Om de ambities gedetailleerder te scoren en daarbij te kijken naar de toepasbaarheid en kosten, is een casestudie uitgevoerd in een bestaande straat met verschillende straatprofielen en waterproblematiek om de derde onderzoeksvraag te beantwoorden, *is het mogelijk om een of meerdere afkoppelvoorziening(en) toe te passen in een specifieke straat en wat is de mate van ambitieervulling?* Hieruit volgde dat er een aantal afkoppelvoorzieningen toepasbaar zijn in deze straat die allen de waterproblematiek kunnen verminderen. Op basis van de ambities scoorde de stedelijke infiltratiestrook het beste. Op basis van kosten scoorde de berging onder de straat zonder waterpasserende verharding het beste. Door de vormgeving van de straat kunnen de voorzieningen die in dit gedeelte van de straat toepasbaar zijn, in veel andere straten in Enschede toegepast worden.

Concluderend kan er gesteld worden dat er inzicht is gegeven in de toepasbaarheid van afkoppelvoorzieningen en daarnaast de mate van ambitieervulling, ter beantwoording van de hoofdvraag; *In welke mate kan een (of meerdere) toepasbare variant(en) van afkoppelvoorzieningen in Enschede zorgen voor het verminderen van wateroverlast en daarbij ook andere relevante ambities van de gemeente Enschede vervullen?* Hiermee is er een technisch en beleidsmatig geheel ontstaan die inzicht geeft in de toepasbaarheid en ambitieervulling van afkoppelvoorzieningen in Enschede.

## 9 Bibliografie

---

- Actueel Hoogtebestand Nederland. (2017, 08 mei). *Actueel Hoogtebestand Nederland viewer*. Opgehaald van Actueel Hoogtebestand Nederland: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer>
- Amsterdam Rainproof. (2016). *Infiltratiestroken met bovengrondse opslag*. Amsterdam: Amsterdam Rainproof.
- Aquaflow. (2017a, 29 mei). *Aquaflow WT-kolk*. Opgehaald van Website van Aquaflow: [http://www.aquaflow.nl/mediastore/pdf/leaflet/aquaflow\\_wtkolk.pdf](http://www.aquaflow.nl/mediastore/pdf/leaflet/aquaflow_wtkolk.pdf)
- Aquaflow. (2017b, 15 juni). *Alle verhardingen en afvoer met kolken*. Opgehaald van Aquaflow: <http://www.aquaflow.nl/mediastore/pdf/leaflet-duurzaamheid/aquaflow-leaflet-alle-verhardingen-en-afvoer-met-kolken-01-2014.pdf>
- Aquaflow. (2017c, 16 juni). *Prijzen per m3 water*. Opgehaald van Aquaflow: [http://www.aquaflow.nl/mediastore/pdf/leaflet/aquaflow\\_leaflet-prijs-m3.pdf](http://www.aquaflow.nl/mediastore/pdf/leaflet/aquaflow_leaflet-prijs-m3.pdf)
- Biron, D. (2004). *Beter bouw- en woonrijp maken*. Stichting bouwresearch.
- Boogaard, F. (2015). *Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in the Netherlands*. Delft: Boogaard.
- Boogaard, F., & Rombout, J. (2008). *Ondergrondse infiltratie van regenwater*. Ede: Stichting RIONED.
- Boogaard, F., Bruins, G., & Wentink, R. (2006). *Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer*. Ede: Stichting RIONED.
- Boogaard, F., Jeurink, N., & Gels, J. (2003). *Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's*. Ede: Stichting RIONED.
- Brombach, H., Weiss, G., & Fuchs, S. (2005). A new database on urban runoff pollution: Comparison of separate and combined sewer systems. *Water Science & Technology*.
- Buck consultants international. (2016). *Bronvermelding kengetallen TEEB-stad tool*. Nijmegen: TEEB.stad.
- CIRIA. (2015). *The SuDS Manual*. London: CIRIA.
- City of Portland - Bureau of Environmental services. (2010). *Portland's Green Infrastructure: Quantifying the Health, Energy and Community Livability Benefits*. Portland: Environmental Services City of Portland.
- de Graaf, R. (2014). *Basisboek Systems Engineering in de bouw*. Robin de Graaf.
- Deffontis, S., Breton, A., & Vialle, C. (2013). *Impact of dry weather discharges on annual pollution from a separate storm sewer in Toulouse, France*. Toulouse: Science of the Total Environment.
- Döpp, S. (2011). *Kennismontage Hitte en Klimaat in de Stad*. TNO.
- Environmental services - City of Portland. (2012). *The Green Street Steward's Maintenance Guide*. Portland: City of Portland.
- Gamper, C., & Turcanu, C. (2007). On the governmental use of multi-criteria analysis. *Ecological economics*, 298-307.
- Gemeente Enschede. (2012a). *"Water verbindt" Watervisie Enschede 2013-2025*. Enschede: Gemeente Enschede.
- Gemeente Enschede. (2012b). *Water in Enschede: feiten, cijfers en trends*. Enschede: Gemeente Enschede.
- Gemeente Enschede. (2015a). *Gemeentelijk Rioleringsplan 2016-2020*. Enschede: Gemeente Enschede.
- Gemeente Enschede. (2015b). *Actieplan duurzaamheid*. Enschede: Gemeente Enschede.
- Gemeente Enschede. (2017). *Toetsingskader Openbare Ruimte 2017*. Enschede: Gemeente Enschede.
- Geraats, B., & Langeveld, J. (2008). *Het effect van afkoppelen van hemelwater op de RWZI*. Utrecht: STOWA.



- Geraats, B., Langeveld, J., & Palsma, B. (2009). Het effect van afkoppelen op de rioolwaterzuivering. *H2O*, 42-44.
- Gezondheidsraad. (2017). *Gezond groen in en om de stad*. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Google. (2017, 02 mei). *Google Maps*. Opgehaald van Google: <https://www.google.nl/maps>
- Gunawardena, K., Wells, M., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*.
- Hoijtink, R., Heukelum, M., Peeters, E., & van der Velde, R. (2016). Een betere ecologische waterkwaliteit in de stad met verbeterd gescheiden rioolstelsels? *H2O - Online*.
- Hommès, S., Franssen, R., Dirven, L., & Mastop, J. (2016). *Klimaatbestendige tuinen en daken*. Delft: Deltares.
- Kazemi, F., Beecham, S., & Gibbs, J. (2011). Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 139 - 148.
- Klok, E., Schaminee, S., Duyzer, J., & Steeneveld, G. (2012). *De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden*. Utrecht: TNO.
- Kluck, J., Loeve, R., Bakker, W., Kleerekoper, L., Rouvout, M., Wentink, R., . . . Boogaard, F. (2017). *Het klimaat past ook in uw straatje. De waarde van klimaatbestendig inrichten. Voorbeeldenboek*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- KNMI. (2014). *Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- Krein, A., Salvia-Castellvi, M., & Iffly, J. F. (2007). The Importance of Precedent Hydro-climatological Conditions for the Mass Transfer of Pollutants in Separated Sewer Systems and Corresponding Tributaries During Storm Events. *Water, Air, and Soil Pollution*.
- Lahdelma, R., Salminen, P., & Hokkanen, J. (2000). Using Multicriteria Methods in Environmental Planning and Management. *Environmental Management*, 595-605.
- Leidraad riolering. (2009). *Afkoppelen: maak uw eigen afweging*. Ede: Stichting RIONED.
- Mannina, G., & Viviani, G. (2009). Separate and combined sewer systems- A long-term modelling approach. *Water Science & Technology*.
- McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 161-176.
- RIVM. (2012). *GGD-richtlijn medische milieukunde: Schimmel- en vochtproblemen in woningen*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Romnée, A., Evrard, A., & Trachte, S. (2015). Methodology for a stormwater sensitive urban watershed design. *Journal of Hydrology*.
- Runhaar, H., Mees, H., Wardekker, A., van der Sluijs, J., & Driessen, P. (2011). Omgaan met hittestress en wateroverlast in de stad. *Milieu dossier*.
- Sander, H., & Zhao, C. (2014). Urban green and blue: Who values what and where? *Land Use Policy*, 194-209.
- Stagge, J. H., Davis, A. P., Jamil, E., & Kim, H. (2012). Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. *Water Research*, 6731-6742.
- Stichting RIONED. (2013). *Inventarisatie regenwateroverlast in de bebouwde omgeving 2013*. Ede: Stichting RIONED.
- Stichting RIONED. (2015a). *(Meer)kosten afkoppelen en besparen op zuivering*. Stichting RIONED.
- Stichting RIONED. (2015b). *Leidraad riolering: Module D1100 Kostenkengetallen rioleringszorg*. Ede: Stichting RIONED.
- Stichting RIONED. (2016). *VGS 2.0: slimmer beheer (verbeterd) gescheiden rioolstelsels*. Opgehaald van Website van Stichting RIONED: <https://www.riool.net/-/vgs-2-0-slimmer-beheer-verbeterd-gescheiden-rioolstelsels>

- Stichting RIONED. (2017a, 12 april). *(Verbeterd) gescheiden riool*. Opgehaald van Website van stichting RIONED: <https://www.riool.info/gescheiden-riool>
- Stichting RIONED. (2017b). *Doorlatende verharding en wegconstructie*. Ede: Stichting RIONED.
- Tauw bv. (2015). *Afkoppelstrategie Enschede*. Deventer: Tauw bv.
- Tauw bv. (2017). *Tussenevaluatie onderzoeksgebieden en pompproef*. Deventer: Tauw.
- Thorndahl, S., Schaarup-Jensen, K., & Rasmussen, M. R. (2013). On hydraulic and pollution effects of converting combined sewer catchments to separate sewer catchments. *Urban Water Journal*.
- Twynstra Gudde & Tauw bv. (2015). *Toekomstbestendige en duurzame financiering van het Nederlandse waterbeheer*. Twynstra Gudde.
- Wareco. (2013a). *Afweging maatregelen Pathmos/Stadsveld, Enschede*. Deventer: Wareco.
- Wareco. (2013b). *Analyse watersysteem Slijpsteen/Pathmos, Enschede*. Deventer: Wareco.
- Wareco, Fugro & Deltares. (2017). *Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied*. Delft: Deltares.
- Welker, A. (2008). Emissions of pollutant loads from combined sewer systems and separate sewer systems – Which sewer system is better? Edinburgh, UK: 11th International Conference on Urban Drainage.
- Witteveen+Bos. (2017a). *Basisrioleringsplan gemengde rioolstelsel*. Deventer: Witteveen+Bos.
- Witteveen+Bos. (2017b). *Basisrioleringsplan (verbeterd) gescheiden rioolstelsels*. Deventer: Witteveen+Bos.
- Witteveen+Bos. (2017c). *Basisrioleringsplan Enschede - Waterkwaliteitsonderzoek*. Deventer: Witteveen+Bos.
- Yu, S. L., Kuo, J.-T., Fassman, E., & Pan, H. (2001). Field Test of Grassed-Swale Performance in Removing Runoff Pollution. *Journal of water resources planning and management*, 168-171.

## 10 Bijlagen

---

## Bijlage A – Expertmeetings

### Expertmeeting bacheloreindopdracht Wytse – in kaart brengen huidige discussie bij gemeente

Datum: 13 april 2017

Locatie: Stads kantoor Enschede, Verdieping 5

Aanwezig:

- |                    |                                         |
|--------------------|-----------------------------------------|
| - W. Roosjen       |                                         |
| - P. Spijker,      | Projectleider bodem- en waterbeheer     |
| - K.H. Wagelaar,   | Ontwerper water                         |
| - C.J. Koetsier,   | Sr. Technisch adv. rioleringen en water |
| - H.J. Oosterheert | Gegevensbeheerder rioleringen           |

#### 1. Introductie Wytse

#### 2. Enkele vragen:

- a. Wat is het huidige standpunt tegenover afkoppelen?

*Genuanceerd. Er was een periode van “alles maar afkoppelen”. Tegenwoordig ligt dat iets genuanceerder. Moet dit nou overal wel gebeuren?*

- b. Waar wordt tegenaan gelopen bij het maken van de afweging?

*Afkoppelstrategie van Tauw blijft oppervlakkig, in kansrijke gebieden voor afkoppelen zijn ook moeilijke plekken om het plan in te passen. Vaak geen afvoer in de buurt. Waterkwaliteit als doel? -> is hemelwater wel zo schoon? Water van straten wordt geaccepteerd, wel voorkeur voor bijvoorbeeld berm.*

- c. Wat zijn de grootste discussiepunten op dit gebied?

*Doelmatigheid, moeilijk beheer, tijdsperiodes.*

- d. Wat zijn de problemen bij het in de praktijk brengen van afkoppelen?

*De discussies leiden niet tot eenduidige uitkomsten. Daarnaast worden er veel verschillende soorten voorzieningen gebruikt, waardoor het niet overzichtelijk is. Alleen te bekostigen wanneer de straat al opengehaald wordt.*

#### 3. Wat moet er vooral onderzocht worden om verder te komen?

- *Kijk naar kansrijke gebieden met problematiek*
- *Hoe kies je een mogelijke variant bij een bepaald straatprofiel*
- *Is dit doelmatig*
- *Moet je afkoppelen wanneer er geen wateroverlast is? Doe je het dan voor andere doelen? (ambities?)*

## **Expertmeeting Tauw – R. Wentink**

Datum: 31 mei 2017

Locatie: Tauw, vestiging Enschede

Aanwezig:

- W. Roosjen, student Civiele Techniek
- P. Spijker, Projectleider bodem- en waterbeheer, Gemeente Enschede
- R. Wentink, Senior adviseur watermanagement, Tauw

In dit gesprek heb ik (W. Roosjen) gesproken met R. Wentink van Tauw die medeauteur is van de 'Afkoppelstrategie Enschede' en daarnaast veel ervaring heeft op het gebied van stedelijk waterbeheer en afkoppelen. Hij heeft in het gesprek verteld over het proces dat doorlopen is om tot het advies te komen aan de gemeente Enschede om een 'Grondwater Regulatie Systeem' toe te passen. Daarnaast heb ik ook de voorlopige resultaten laten zien van de casestudie in de Min dr. de Visserstraat. Hieruit zijn de volgende relevante uitkomsten en opmerkingen verkregen:

### **Algemeen**

- Grondwater Regulatie Systeem is een concept, de afbeelding van dit systeem is slechts een voorbeeld. Het systeem zou ook mogelijk met één of zelfs geen drain in plaats van een drain en D.I.T.-riool uitgevoerd kunnen worden, afhankelijk van de lokale omstandigheden.
- Invloed infiltratie slechts beperkt op grondwaterverhoging in nabije omgeving en zeer tijdelijk van aard. Dit betekent ook dat voor de reductie van verdroging, op heel veel plekken geïnfiltreerd zal moeten worden om een groot effect te hebben.
- Er worden tegenwoordig vaak complexe systemen aangelegd terwijl het vaak gemakkelijker en zelfs goedkoper kan door de meer 'natuurlijke' oplossingen te zoeken in de straat. Dit kan ook zorgen voor het in grotere mate vervullen van de ambities.
- Aan de afkoppelvoorzieningen en infiltratiesystemen wordt erg weinig gemeten. Dit zorgt ervoor dat er weinig relevante informatie beschikbaar is. Wel zijn er veel positieve ervaringen, die helaas weinig worden vastgelegd.
- Wadi's of vergelijkbare systemen kunnen zeer goed toegepast worden naast intensieve wegen. Er is geen relatie tussen verkeersintensiteit en vervuiling van het hemelwater. Een wadi kan zelfs zorgen voor betere zuivering ten opzichte van traditionele riolering.

### **Casestudie**

- Door beplanting te gebruiken in wadi's of stedelijke infiltratiestroken (variant 1 en 2) kan er zeker iets gedaan worden aan de uitstraling en mogelijk ook zuiverende werking van de voorziening. Dit zorgt ook voor een grotere vervulling van de ambities. Naar type beplanting voor deze voorzieningen is momenteel onderzoek gaande.
- De varianten in de casestudie zijn zeker toepasbaar als bergend, infiltrerend en drainerend. Vooral variant 1, de stedelijke infiltratiestrook is interessant in stedelijk gebied zoals Enschede doordat een traditioneel gevormde wadi veel ruimte inneemt. Eenrichtingsverkeer is een interessante optie om ruimte te maken voor dit soort systemen.



- Het gebruiken van een kolk om een het hemelwater onder de straat te krijgen zoals in variant 4, is een goede oplossing om de onzekerheid over het dichtslippen van de waterpasserende verharding weg te nemen. Daarnaast kunnen hierdoor de bestaande klinkers of zelfs asfalt gebruikt worden met dit systeem.

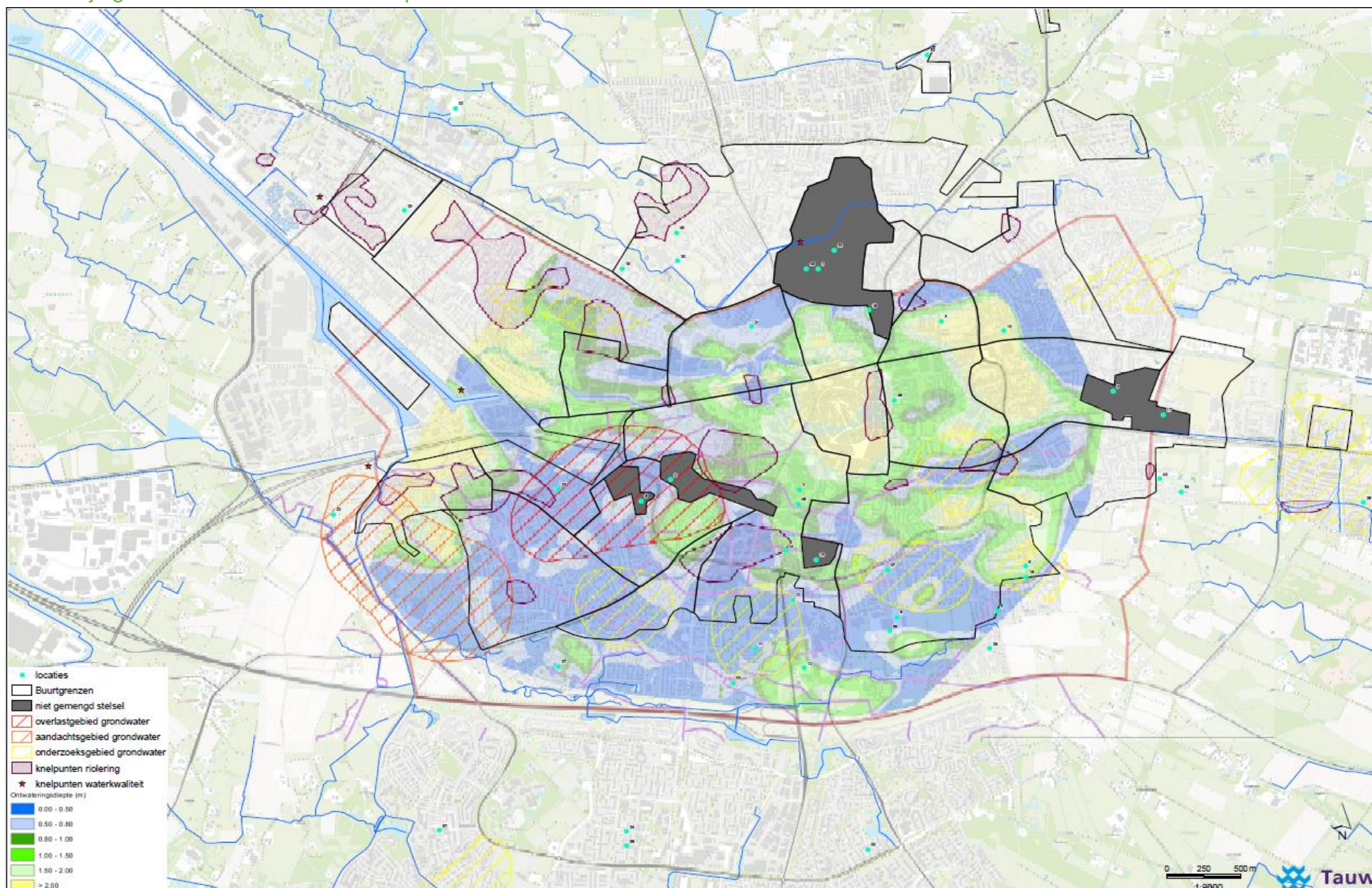
- Om in grote mate de vijf genoemde ambities te vervullen is een oppervlakkig systeem eigenlijk altijd de uitkomst. Momenteel is er ook onderzoek gaande naar het kwantificeren van deze effecten van groen en water aan de oppervlakte. Dit zou dan een aanvulling kunnen zijn op de analyse zoals in dit onderzoek is gedaan. De verwachting is echter wel dat de uitkomsten van deze casestudie niet veel zullen veranderen wanneer de effecten exact worden benaderd. Ook uit vergelijkbare onderzoeken scoren dit soort varianten het hoogst.

## Bijlage B – Volledige ambitiematrix gemeente Enschede (in ontwikkeling)

| Ambitiematrix; bevorderen van organisatiewaarden of ambities die regulier vanuit de openbare ruimte worden beïnvloed |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Waarden                                                                                                              |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      | Milieu                                                                                                                                                                       | Duurzaamheid                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        | Leefbaarheid/<br>beleving                                                                                                                                | Samenlevingsgericht werken                                                                                                                                                                  | Versterken economie                                                                                                                                                                                                                                               | Versterken vestigingsklimaat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              | Biodiversiteit                                                                                                                                                                                 | Energie                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Klimaatadaptatie                                                                                                                                                                                                  | Gebruik eindige grondstoffen                                                                                                                                                           | Hitte stress                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| zeer groot<br>(-1000)                                                                                                | het aantal doelsoorten van flora of fauna neemt zeer fors toe<br><b>omvang:</b> in de hele gemeente                                                                          |                                                                                                                                                                                                | De maatregel heeft een zeer groot effect op de reductie van wateroverlast of op de bestendigheid tegen verdroging<br><b>omvang:</b> in de hele gemeente                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                   | De maatregel heeft een zeer groot effect op vermindering van het urban heat island effect                                                                                              |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| groot<br>(-100)                                                                                                      | het aantal doelsoorten van flora of fauna neemt fors toe<br><b>omvang:</b> in de hele stad en dorpskernen                                                                    |                                                                                                                                                                                                | De maatregel heeft een groot effect op de reductie van wateroverlast of op de bestendigheid tegen verdroging<br><b>omvang:</b> in de hele stad en dorpskernen                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                   | De maatregel heeft een groot effect op het urban heat island effect nog verder uitwerken                                                                                               |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| aanzienlijk<br>(-10)                                                                                                 | het aantal doelsoorten van flora of fauna neemt aanzienlijk toe<br><b>omvang:</b> op wijkniveau                                                                              |                                                                                                                                                                                                | De maatregel heeft een aanzienlijk effect op de reductie van wateroverlast of op de bestendigheid tegen verdroging<br><b>omvang:</b> op wijkniveau                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                   | De maatregel heeft een aanzienlijk effect op het urban heat island effect nog verder uitwerken                                                                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| matig<br>(1)                                                                                                         | het aantal doelsoorten van flora of fauna neemt matig toe<br><b>omvang:</b> op buurtniveau                                                                                   |                                                                                                                                                                                                | De maatregel heeft een matig effect op de reductie van wateroverlast of op de bestendigheid tegen verdroging<br><b>omvang:</b> op buurtniveau                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                   | De maatregel heeft een matig effect op het urban heat island effect nog verder uitwerken                                                                                               |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| klein<br>(-0,1)                                                                                                      | het aantal doelsoorten van flora of fauna neemt beperkt toe<br><b>omvang:</b> op straatniveau                                                                                |                                                                                                                                                                                                | De maatregel heeft een klein effect op de reductie van wateroverlast of op de bestendigheid tegen verdroging<br><b>omvang:</b> op straatniveau                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                   | De maatregel heeft een klein effect op het urban heat island effect nog verder uitwerken                                                                                               |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| zeer klein/<br>niet meetbaar/<br>nvt<br>(-0,01)                                                                      | het aantal doelsoorten van flora of fauna neemt zeer beperkt of niet meetbaar toe<br><b>omvang:</b> cluster van enkele woningen                                              |                                                                                                                                                                                                | De maatregel heeft een nauwelijks tot geen effect op de reductie van wateroverlast of op de bestendigheid tegen verdroging<br><b>omvang:</b> cluster van enkele woningen                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                   | De maatregel heeft een nauwelijks tot geen effect op het urban heat island effect nog verder uitwerken                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| indicatoren per ambitie/doelstelling                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>- verbetering bodem, lucht, of waterkwaliteit</li><li>- omvang en mate waarin dit optreedt</li><li>- termijn van verbetering</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- toename van aantal doelsoorten flora</li><li>- toename van het aantal doelsoorten fauna</li><li>- omvang gebied waar dit betrekking op heeft</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- toename % duurzame energieopwekking</li><li>- toename % duurzame woningvoorraad</li><li>- verbetering % energielabel (en verdeling)</li><li>- duurzame mobiliteit; verandering modal split</li><li>- groene economie ??</li><li>- circulaire economie ??</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- afname van wateroverlast</li><li>- toename van bestendigheid tegen verdroging t.g.v. hetere zomers</li><li>- omvang van het gebied waar het betrekking op heeft</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- afname gebruik eindige grondstoffen</li><li>- omvang inzet recyclebare stoffen</li><li>- vermindering CO2 uitstoot bij productieprcs</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- beperking temperatuurstijging t.g.v. 'heat island effect'</li><li>- omvang gebied</li><li>- relatieve afname</li><li>- omvang maatregelen met effect</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- hoogte waarderingscijfer</li><li>- toename waarde onroerend goed</li><li>- verbetering volksgezondheid</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- omvang en aard partnerschap</li><li>- omvang burger initiatieven</li><li>- draagvlak bewoners en ondernemers</li><li>- representativiteit</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- toename aantal arbeidsplaatsen</li><li>- toename soort arbeidsplaatsen</li><li>- ontwikkeling kennisniveau bedrijven en overheid</li><li>- omvang investeringen</li><li>- bruto stedelijk- en regionaal product</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- verbetering bereikbaarheid</li><li>- passend aanbod</li><li>- bedrijfsterreinen, woningen, voorzieningen</li><li>- bruisende binnenstad</li><li>- gemeentelijk dienstverlening voor kavelverkoop, bestemmen, vergunningverlening etc.</li><li>- aantrekkelijkheid vestigen</li><li>- aantrekkelijkheid te blijven</li></ul> |

*Figuur 38 – Ambitiematrix gemeente Enschede (in ontwikkeling)*

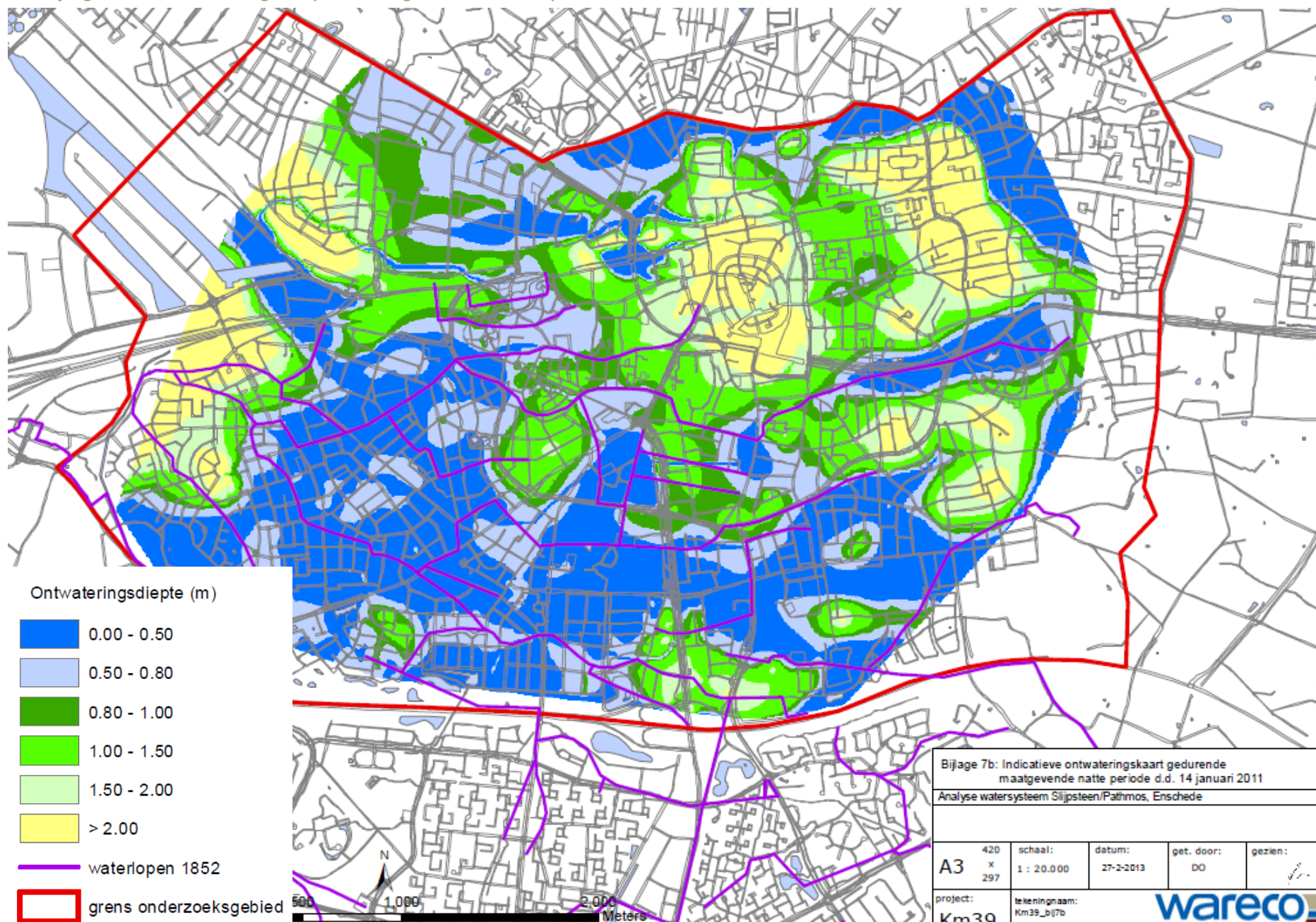
## Bijlage C – Overzichtskaart waterproblematiek



Figuur 39 – Overzichtskaart waterproblematiek (Tauw bv, 2015)



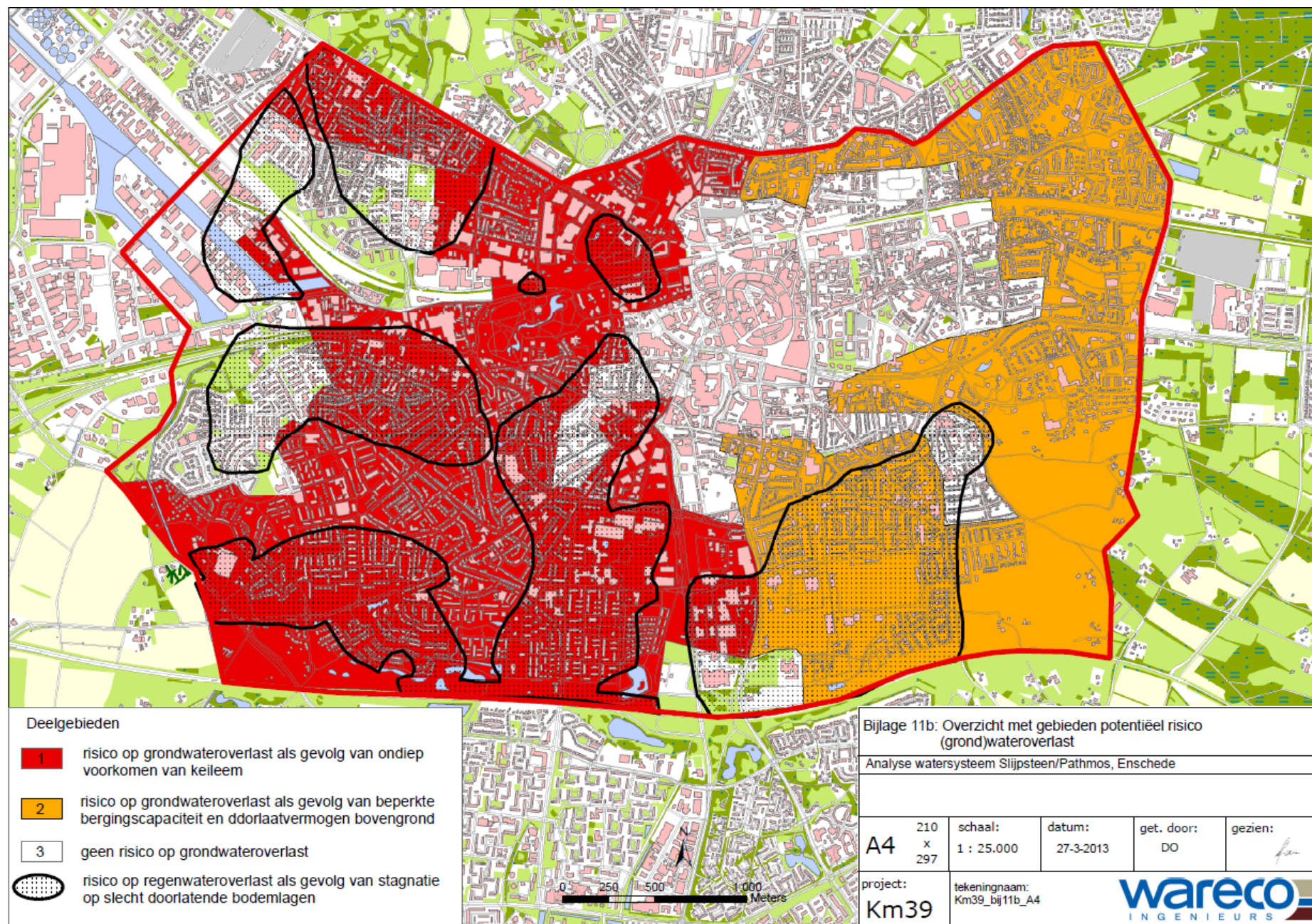
# Bijlage D - Ontwateringsdiepte maatgevende natte periode



Figuur 40 – Ontwateringsdiepte maatgevende natte periode (Wareco, 2013b)



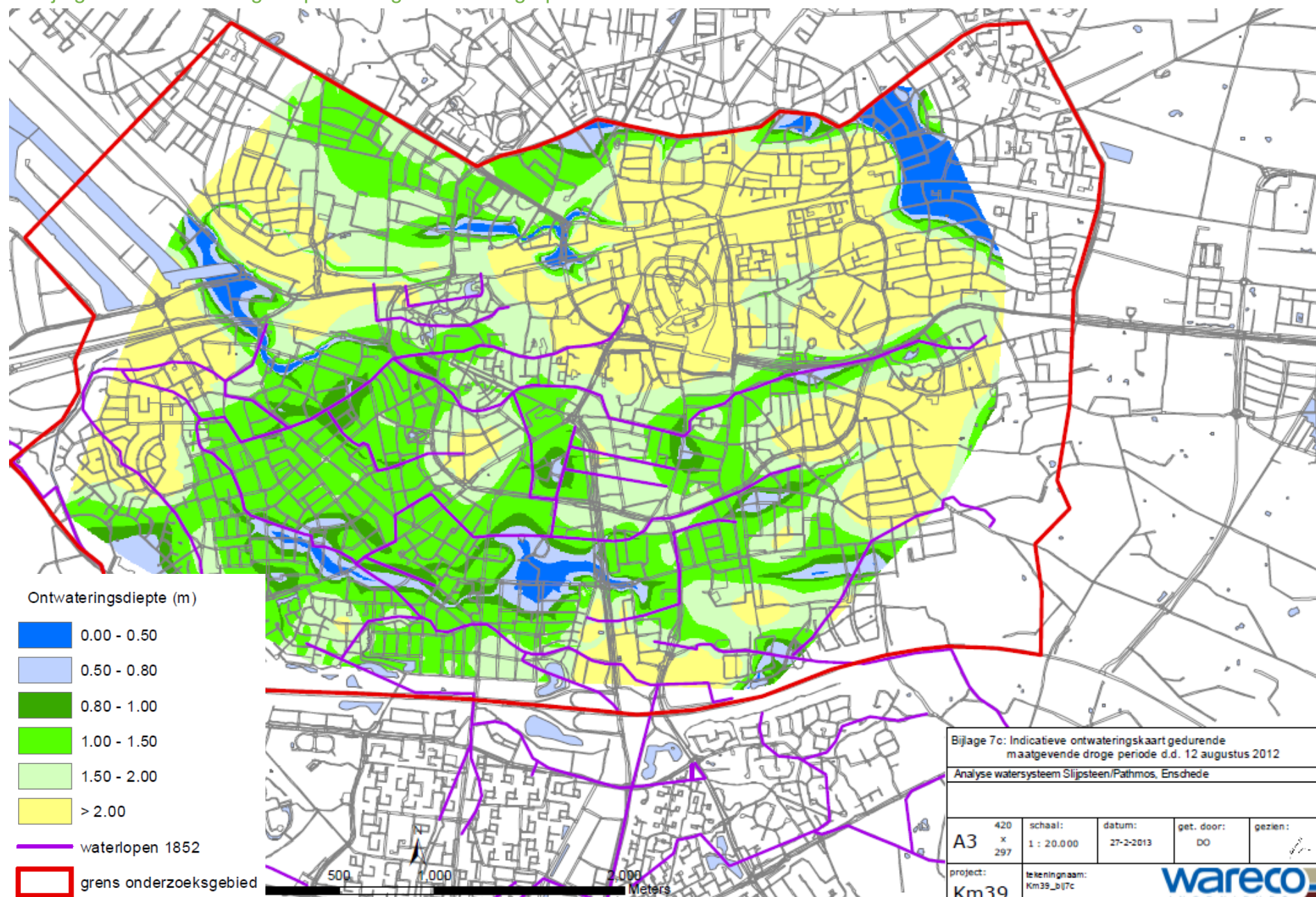
## Bijlage E – Overzicht gebieden risico wateroverlast op basis van bodemtype



Figuur 41 – Risicogebieden wateroverlast (Wareco, 2013b)



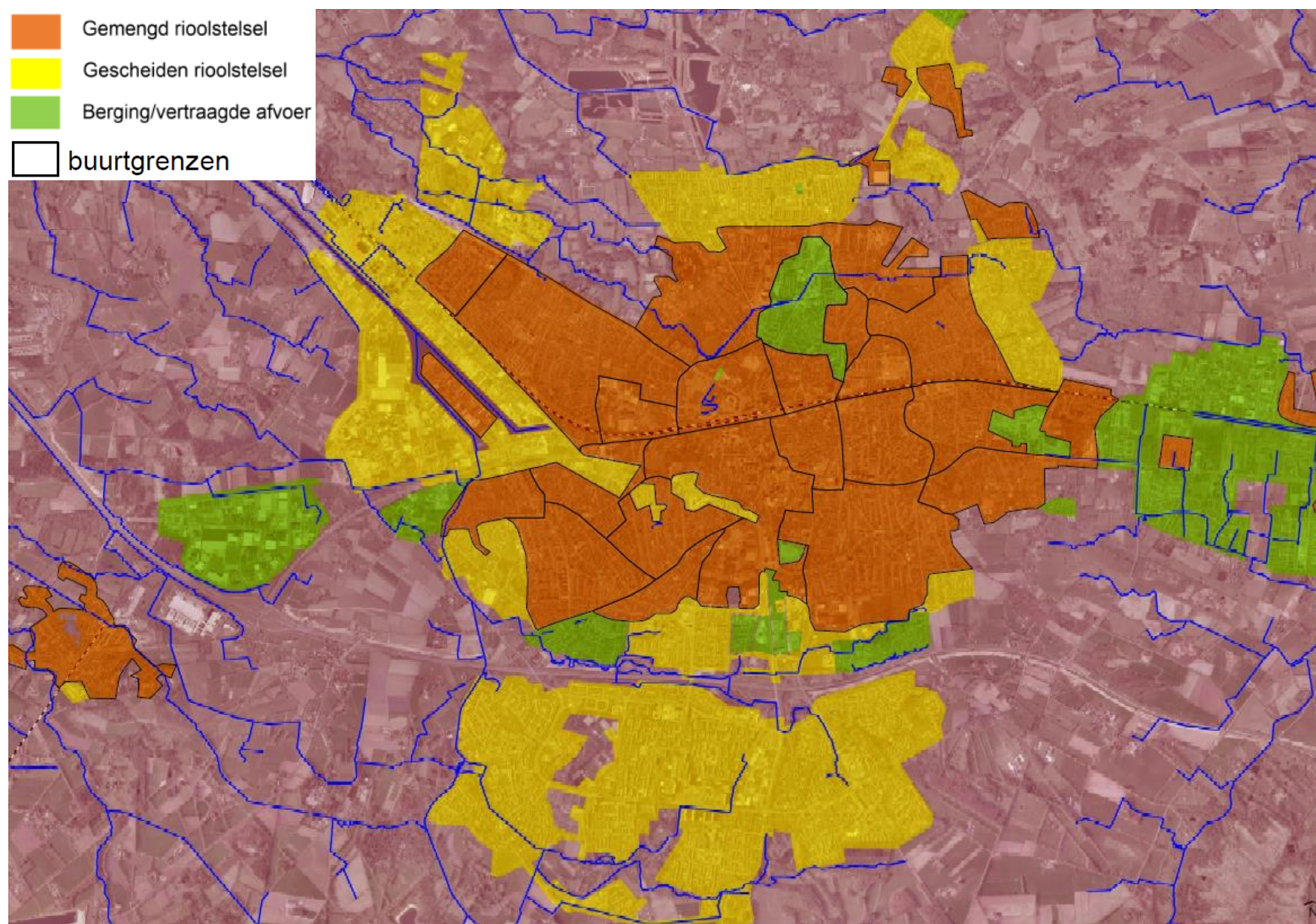
## Bijlage F – Ontwateringsdiepte maatgevende droge periode



Figuur 42 – Ontwateringsdiepte maatgevende droge periode (Wareco, 2013b)



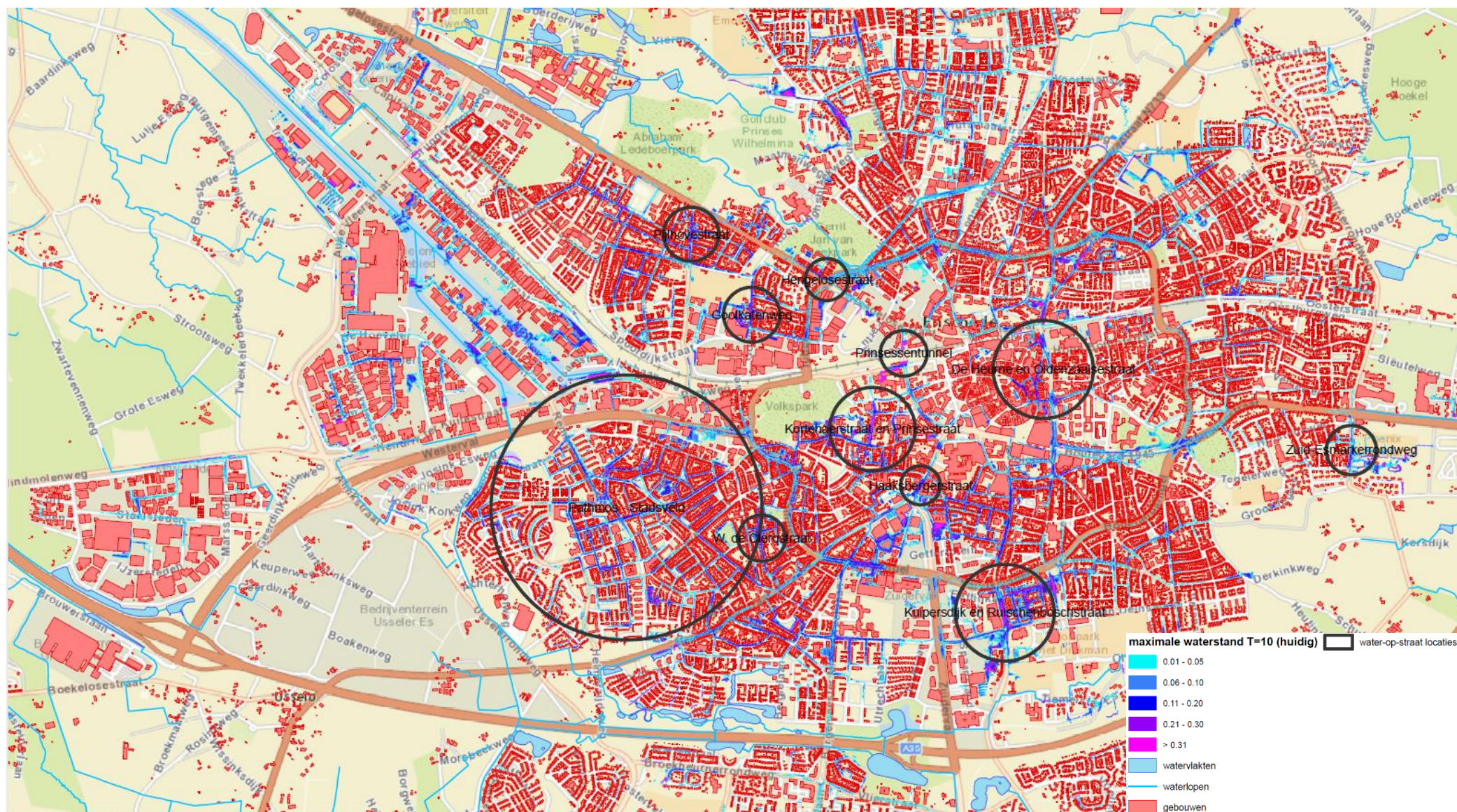
## Bijlage G – Overzicht rioolstelsel Enschede



Figuur 43 – Overzicht rioolstelsel Enschede (Tauw bv, 2015)



## Bijlage H – Water op straat bij bui T = 10



Figuur 44 - Water op straat bij T = 10 in huidige situatie (Witteveen+Bos, 2017a)



## Bijlage I – Tabellen invloed afkoppelvoorzieningen op waterkwaliteit

Tabel 16 – Waterkwaliteitseffect van afkoppelvoorzieningen op afstromend hemelwater (CIRIA, 2015)

| Indicative SuDS mitigation indices for discharges to surface waters |                                 |        |              |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------|--------------|
| Type of SuDS component                                              | Mitigation indices <sup>1</sup> |        |              |
|                                                                     | TSS                             | Metals | Hydrocarbons |
| Filter strip                                                        | 0.4                             | 0.4    | 0.5          |
| Filter drain                                                        | 0.4 <sup>2</sup>                | 0.4    | 0.4          |
| Swale                                                               | 0.5                             | 0.6    | 0.6          |
| Bioretention system                                                 | 0.8                             | 0.8    | 0.8          |
| Permeable pavement                                                  | 0.7                             | 0.6    | 0.7          |
| Detention basin                                                     | 0.5                             | 0.5    | 0.6          |
| Pond <sup>4</sup>                                                   | 0.7 <sup>3</sup>                | 0.7    | 0.5          |
| Wetland                                                             | 0.8 <sup>3</sup>                | 0.8    | 0.8          |

Tabel 17 – Waterkwaliteitseffect van afkoppelvoorzieningen op infiltrerend hemelwater naar grondwater (CIRIA, 2015)

| Indicative SuDS mitigation indices for discharges to groundwater                                                                                                                                                                                                                                                                            |                  |        |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|--------------|
| Characteristics of the material overlying the proposed infiltration surface, through which the runoff percolates <sup>1</sup>                                                                                                                                                                                                               | TSS              | Metals | Hydrocarbons |
| A layer of dense vegetation underlain by a soil with good contaminant attenuation potential <sup>2</sup> of at least 300 mm in depth <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                           | 0.6 <sup>4</sup> | 0.5    | 0.6          |
| A soil with good contaminant attenuation potential <sup>2</sup> of at least 300 mm in depth <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                    | 0.4 <sup>4</sup> | 0.3    | 0.3          |
| Infiltration trench (where a suitable depth of filtration material is included that provides treatment, ie graded gravel with sufficient smaller particles but not single size coarse aggregate such as 20 mm gravel) underlain by a soil with good contaminant attenuation potential <sup>2</sup> of at least 300 mm in depth <sup>3</sup> | 0.4 <sup>4</sup> | 0.4    | 0.4          |
| Constructed permeable pavement (where a suitable filtration layer is included that provides treatment, and including a geotextile at the base separating the foundation from the subgrade) underlain by a soil with good contaminant attenuation potential <sup>2</sup> of at least 300 mm in depth <sup>3</sup>                            | 0.7              | 0.6    | 0.7          |
| Bioretention underlain by a soil with good contaminant attenuation potential <sup>2</sup> of at least 300 mm in depth <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                          | 0.8 <sup>4</sup> | 0.8    | 0.8          |

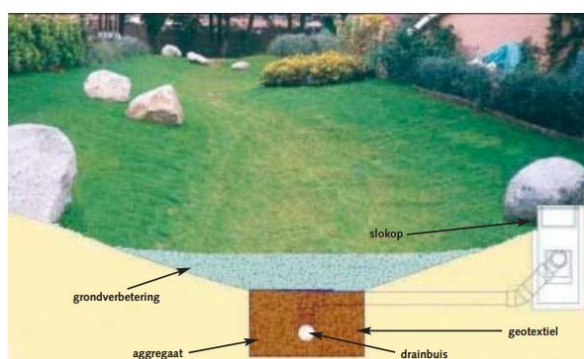
Tabel 18 – Waterkwaliteitseffect van beplante wadi's/watersystemen (CIRIA, 2015)

| Pollution removal for bioretention systems designed to FAWB guidelines (after FAWB, 2009) |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Pollutant                                                                                 | Typical removal efficiency |
| TSS                                                                                       | > 90%                      |
| Total phosphorous                                                                         | > 80%                      |
| Nitrogen                                                                                  | 50% on average             |
| Metals (zinc, lead, cadmium)                                                              | > 90%                      |
| Metals (copper)                                                                           | up to 60%                  |

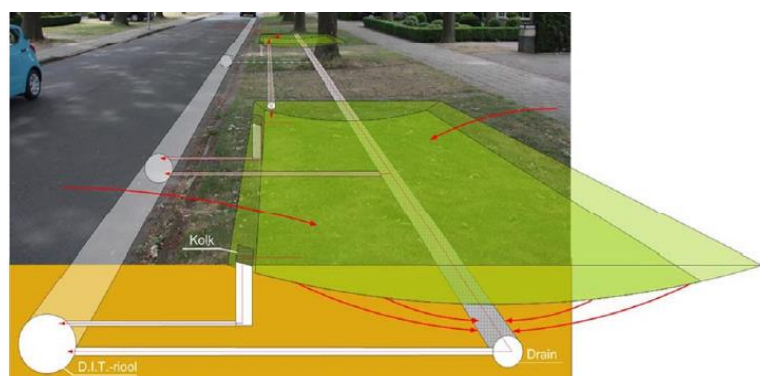
## Bijlage J – Ambitievervulling verschillende afkoppelvoorzieningen

### Wadi

Een wadi is een verlaging in het maaiveld die dient als bufferings- en infiltratievoorziening, zoals zichtbaar in Figuur 45 (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006). Het hemelwater wordt via gootjes vanaf daken en straten naar de wadi afgevoerd. In de wadi kan het water infiltreren in de grond, gefaciliteerd door een grondverbetering onder de wadi. Wanneer het water in de wadi te hoog komt, zal het via de slokop naar de infiltratievoorziening onder de wadi gebracht worden. In de infiltratievoorziening zit geotextiel en een bepaald soort aggregaat wat zorgt voor een zuiverende werking voordat het water infiltreert in de bodem of in de drainbuis terecht komt. Daarnaast dient dit ook als extra berging. Deze drainbuis zorgt er daarnaast ook voor dat hemelwater wordt verdeeld over de voorziening, wanneer bijvoorbeeld delen van de wadi niet goed gelegeerd kunnen worden.



Figuur 45 – Dwarsdoorsnede wadi (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006)

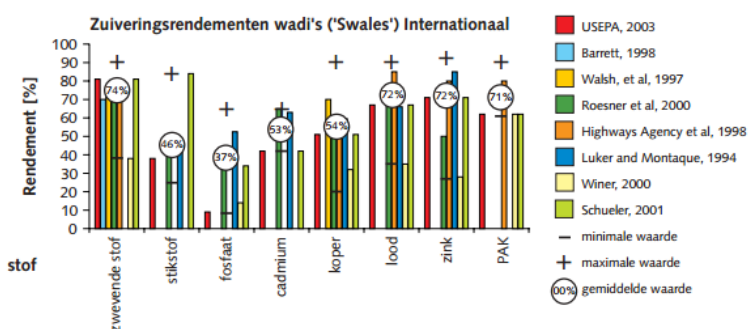


Figuur 46 – Grondwater regulatie systeem (Tauw bv, 2015)

Meestal wordt een wadi als een hemelwatervoorziening beschouwd. In 'Afkoppelstrategie Enschede' wordt voor Enschede een voorziening geadviseerd waarbij een soort wadi wordt gebruikt voor zowel hemel- als grondwater (Tauw bv, 2015). Door dit systeem aan te sluiten op een netwerk van drainage- en infiltratieriolen, kan water in gebieden met hoge waterstanden gedraineerd worden naar gebieden waar ruimte voor infiltratie mogelijk is. Hierdoor zou in Enschede het grondwater gereguleerd kunnen worden. Enkele voorbeelden van het gebruik van drainage-infiltratieriolen zijn te vinden in het rapport 'Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied' (Wareco, Fugro & Deltares, 2017). In dit onderzoek wordt gesteld dat het grondwater reguleren met drainage-infiltratieriolen zeker mogelijk is, ook in combinatie met berging.

Door de bodemopbouw in Enschede zoals vermeld in *Hoofdstuk 4.1*, is er niet altijd ruimte voor infiltratie. Daarentegen zijn er ook gebieden die wel ruimte hebben voor infiltratie, vooral in de zomer, waardoor een drainage-infiltratieriool van goede toepassing zou zijn. Zo blijkt uit onderzoek bij de wadi's in de wijk Ruwenbos te Enschede dat deze ook goed functioneren met een matig doorlatende bodem en hoge grondwaterstanden, 99% van het hemelwater wordt geïnfiltreerd in de bodem

terwijl het grondwater slechts 2 cm gestegen is in de directe omgeving bij het verwerken van deze infiltratie (Boogaard F., 2015). Uit dit onderzoek blijkt ook dat, 8 van de 12 onderzochte wadi's binnen 48 uur leeg zijn bij een maximaal volume water, zelfs bij situaties met hoog grondwater, matige



Figuur 47 – Zuiverende werking normale wadi's ('Swales') Internationaal (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006)



bodemdoorlatendheid en geen onderhoud (Boogaard F. , 2015). Daarnaast hebben wadi's ook een grote bijdrage aan het zuiveren van het hemelwater, zie Figuur 47. Hierbij moet vooral gekeken worden naar koper, zink, fosfaat en stikstof. Gekeken naar de relevante ambities benoemd in *Hoofdstuk 4.2 - Ambities Enschede*, zou dit systeem een geschikte voorziening zijn, zie Tabel 19. Op alle vijf relevante ambities kan deze voorziening een significante bijdrage leveren.

Een groot probleem met het toepassen van een wadi of een grondwater regulatie systeem zoals afgebeeld, is het ruimtebeslag. Het is in een stad als Enschede moeilijk in te passen in het straatprofiel door het ontbreken van openbaar groen en ruime straatprofielen. Mogelijk zou een compactere vorm in te passen zijn, afhankelijk van de benodigde berging. Een ander probleem voor de situatie Enschede is het ontbreken van oppervlaktewater waarop het systeem aangesloten kan worden. Aan de andere kant biedt dit systeem kansen voor meerdere ambities door een combinatie van groen met water en daarbij een zuiverende werking.

Tabel 19 - Ambities Enschede bij wadi en stedelijke infiltratiestrook

| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Score |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Het systeem heeft een zuiverende werking zoals zichtbaar in Figuur 47 en <i>Bijlage R</i> wat ten goede komt aan de waterkwaliteit van ontvangende watersystemen ten opzichte van een 'eenvoudig' gescheiden stelsel zonder zuiverende voorzieningen. Daarbij zijn vooral koper en zink belangrijk, omdat deze de MAC-normen ruim overschrijden (zie Tabel 4). Daarnaast zijn ook foutieve aansluitingen beter vindbaar door de zichtbaarheid. |       |
| Biodiversiteit        | Met het toepassen van dit systeem is het mogelijk om een grote bijdrage te leveren aan de biodiversiteit in de stad door het maken van een groenblauw netwerk, hierbij zal wel aandacht naar de beplanting uit moeten gaan.                                                                                                                                                                                                                    |       |
| Klimaatadaptie        | Hevige neerslag kan opgevangen worden in dit systeem, daarnaast kan dit systeem een bijdrage leveren aan de reductie van verdroging door de infiltrerende werking hiervan.                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |
| Hittestress           | De combinatie van groen en water heeft een significante bijdrage aan het reduceren van hittestress in gebieden met veel verharding.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |
| Leefbaarheid/beleving | Uit ervaring met de wadi's in de wijk Ruwenbos (Enschede) blijkt dat er een hoge waardering wordt gegeven aan de aanwezigheid van wadi's (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006). Daarnaast heeft het ervoor gezorgd dat er minder hemel- en grondwateroverlast voorkomt wat ten goede komt van de volksgezondheid.                                                                                                                                |       |

### Stedelijke infiltratiestroken

Stedelijke infiltratiestroken kunnen gebruikt worden voor berging, infiltratie en eventueel drainage. Dit systeem zou mogelijk een vergelijkbare functie als een grondwater regulatie systeem kunnen hebben met een drain en een drainage-infiltratie riool, hiermee zijn nog geen ervaringen. Hiermee zouden vergelijkbare ambities behaald kunnen worden als bij een wadi (zie Tabel 19) met minder ruimtegebruik, wat veel van toepassing zou kunnen zijn in Enschede.



Figuur 48 - Voorbeeld stedelijke infiltratiestrook Portland (Environmental services - City of Portland, 2012)



Figuur 49 - Voorbeeld stedelijke infiltratiestrook Amsterdam (Amsterdam Rainproof, 2016)

Voor zowel de wadi als de stedelijke infiltratiestrook geldt dat de beplanting positieve invloed kan hebben op de mate van vervulling van de verschillende ambities. Zo blijkt uit onderzoek dat beplanting verschillende voordelen heeft ten opzichte van ‘gewoon’ gras. De beplanting kan zorgen voor een aantrekkelijker straatbeeld, betere opname van verontreinigingen, zorgen voor meer biodiversiteit en betere bestendigheid tegen wisselende waterstanden (Boogaard, Jeurink, & Gels, 2003; CIRIA, 2015). Er is op dit moment onderzoek gaande naar wat voor beplanting hiervoor geschikt is, blijkt uit een gesprek met een expert (zie *Bijlage A – Expertmeetings*).

### Infiltratiekratten

Infiltratiekratten zijn bergings- en infiltratievoorzieningen die ondergronds aangebracht kunnen worden. Hierbij wordt vaak geotextiel toegepast om geen zand in de kratten te krijgen en daarbij de voorzuiverende werking ervan. Meestal worden infiltratiekratten onder wegen of parkeerplekken toegepast zodat er geen bovengrondse ruimte opgegeven hoeft te worden (Boogaard & Rombout, 2008). De bedoeling van deze kratten zijn het bergen en daarna infiltreren in de bodem, hierdoor is dit systeem niet altijd toepasbaar in Enschede (Tauw bv, 2015). Het systeem ligt dieper dan een wadi of waterpasserende verharding met berging, waardoor in Enschede het systeem moeilijk boven de grondwaterstand aan te brengen is. Hierdoor zal dit systeem over een heel jaar gezien weinig functie hebben door de opbouw van de grond en grondwaterstanden in Enschede (Tauw bv, 2015). Andere problemen zijn het moeilijke onderhoud en het lastige toezicht op de ondergrondse voorziening. (Boogaard & Rombout, 2008; Tauw bv, 2015).

Uit Tabel 20 blijkt dat infiltratiekratten mogelijk aan een paar ambities van de gemeente Enschede bij kan dragen. Hierbij is de toepasbaarheid in Enschede niet groot, door de bodemopbouw en grondwaterstanden. Daarbij zijn er ook veel klachten in Enschede door het niet goed functioneren ervan, veroorzaakt door ijzerhoudend grondwater en het moeilijke onderhoud (Tauw bv, 2015). Er wordt hierbij voorkeur gegeven aan hoger gelegen voorzieningen zoals wadi's en waterdoorlatende verharding.

Tabel 20 – Ambities Enschede bij infiltratiekratten

| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Score |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Het systeem kan een zuiverende werking hebben door de zuiverende werking van de ondergrond ( <i>Bijlage R</i> ). Hierbij is vooral de bovenste laag van de bodem en beplanting effectief in het verwijderen van deeltjes, waardoor infiltratiekratten iets minder zuiveren dan bovengrondse voorzieningen zoals een wadi (Boogaard & Rombout, 2008).                            |       |
| Biodiversiteit        | Geen bijdrage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |
| Klimaatadaptie        | Neerslag kan opgevangen worden in dit systeem, daarnaast kan dit systeem een grote bijdrage leveren aan de reductie van verdroging door de infiltrerende werking hiervan. Echter ontbreekt hierbij bovengrondse opslag. Score is afhankelijk van capaciteit van voorziening die het hemelwater in de infiltratiekratten brengt. Dichtslibben zorgt voor verminderde capaciteit. |       |
| Hittestress           | Geen bijdrage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |
| Leefbaarheid/beleving | Infiltratiekratten kunnen zorgen voor minder hemelwateroverlast. Geen bijdrage aan grondwateroverlast. Geen toegevoegde waarde op het gebied van beleving.                                                                                                                                                                                                                      |       |

### Waterpasserende verharding

Waterdoorlatende of waterpasserende verharding is een bepaald type verharding waardoor water kan infiltreren in de ondergrond. Onder deze laag is een funderingslaag aanwezig waarin water kan bergen en infiltreren of eventueel bij een slecht doorlatende bodem, vertraagd afvoeren naar oppervlaktewater (Stichting RIONED, 2017b). Uit ervaringen in Enschede blijkt dat er veel problemen

zijn met waterdoorlatende verharding doordat de verharding dichtslibt of verstopt raakt (Tauw bv, 2015). Het is daarentegen wel makkelijk toepasbaar in gebieden waar geen ruimte is voor bijvoorbeeld wadi's of andere bovengrondse voorzieningen, zoals vaak voorkomt in Enschede. Daarnaast blijkt uit onderzoek dat waterdoorlatende verharding inderdaad een verminderde doorlatendheid heeft na een aantal jaren, echter voldoen ze vaak na 7 jaar zonder onderhoud nog steeds aan de minimale doorlatendheid eisen (Boogaard F. , 2015). Eventueel zou een kolk naast de waterpasserende verharding een oplossing kunnen bieden aan dit probleem.

Uit Tabel 21 blijkt dat waterpasserende verharding een kleine bijdrage kan leveren aan de ambities van de gemeente Enschede. Bij de toepassing en onderhoud ervan zijn er problemen ervaren in Enschede (Tauw bv, 2015). Het kan echter wel goed toegepast worden in gebieden waar weinig ruimte is voor het afkoppelen van hemelwater, zoals de situatie in Enschede is. Mogelijk kunnen ontwikkelingen of andere varianten van deze voorziening wel leiden tot het succesvol inpassen van waterdoorlatende verharding zonder onderhoudsproblematiek.

*Tabel 21 - Ambities Enschede bij waterdoorlatende/waterpasserende verharding*

| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                                                                                                                                                               | Score |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Het systeem heeft een zuiverende werking, afhankelijk van de gebruikte toplaag, vergelijkbaar met een wadi (Stichting RIONED, 2017b)(Bijlage R). Hierdoor kan de waterdoorlatende verharding wel verstopt raken.                                                                                     |       |
| Biodiversiteit        | Geen tot zeer kleine bijdrage.                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |
| Klimaatadaptie        | Neerslag kan opgevangen worden in dit systeem, daarnaast kan dit systeem een bijdrage leveren aan de reductie van verdroging door de infiltrerende werking hiervan. Geen bovengrondse opslag. De voorziening slibt na een aantal jaar dicht (Boogaard F. , 2015). Werking afhankelijk van onderhoud. |       |
| Hittestress           | Door het verminderen van verhard oppervlak, afhankelijk van gebruikte waterdoorlatende verharding, mogelijk een bijdrage aan de reductie van hittestress. Hierbij moet gedacht worden aan halfverharding. Waterpasserende verharding zal geen effect hebben.                                         |       |
| Leefbaarheid/beleving | Waterdoorlatende verharding kan zorgen voor minder hemelwateroverlast. Geen bijdrage aan grondwateroverlast. Geen tot zeer kleine bijdrage aan beleving door kleine toename groen.                                                                                                                   |       |

## Groene daken

Groene daken zijn daken waarbij vegetatie is toegepast, deze kunnen een bijdrage leveren aan het bergen van hemelwater en andere doeleinden. De groene daken zijn er in verschillende vormen en maten, waarbij in bestaande gebieden meestal daken tot 150 mm toegepast worden omdat de bestaande constructie dit maximaal kan dragen (Hommes, Franssen, Dirven, & Mastop, 2016). De groene daken met deze afmetingen zijn vaak weinig effectief voor de tijdelijke opslag van extreme regenval (Hommes, Franssen, Dirven, & Mastop, 2016). Er zijn wel andere daken die meer op water gericht zijn die wel een bijdrage kunnen leveren, echter is hierbij een versterkte draagconstructie voor nodig wat moeilijk toepasbaar is in bestaand gebied. In Enschede zijn al enkele ervaringen opgedaan met groene daken, de ervaringen hiermee zijn nog niet duidelijk in kaart gebracht (Tauw bv, 2015).

Groene daken kunnen een bijdrage leveren aan de ambities van de gemeente Enschede, zoals zichtbaar in Tabel 22. Echter is hiervan het effect op straatniveau niet altijd groot of onzeker, bijvoorbeeld bij de onderwerpen verdroging, hittestress en belevingswaarde. De bijdrage aan het watersysteem is afhankelijk van de opbouw van het groene dak (Hommes, Franssen, Dirven, & Mastop, 2016). Dit systeem zou een oplossing kunnen bieden in straten waarbij geen andere mogelijkheden voor afkoppelvoorzieningen zijn of als aanvulling.

Tabel 22 - Ambities bij groene daken

| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Score |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Effect op waterkwaliteit afhankelijk van route naar riool. Hemelwater van wegoppervlak wordt niet gezuiverd.                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |
| Biodiversiteit        | Afhankelijk van soort begroeiing kan er een bijdrage aan de biodiversiteit plaatsvinden.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |
| Klimaatadaptie        | Neerslag kan opgevangen worden in dit systeem als berging afhankelijk van samenstelling groen dak. Effectiviteit hiervan nog niet duidelijk in beeld, bij extreme neerslag kleine bijdrage (Hommes, Franssen, Dirven, & Mastop, 2016). Voor verdroging op het niveau maaiveld, geen bijdrage.                                                                                   |       |
| Hittestress           | Door het verminderen van verhard oppervlak en de toepassing van verschillende soorten groen zal het dakoppervlakte duidelijk minder heet zijn (Hommes, Franssen, Dirven, & Mastop, 2016). Echter is dit op dak niveau, de effectiviteit hiervan is minder groot op de leefomgeving op straatniveau dan bij maatregelen op maaiveldhoogte (Gunawardena, Wells, & Kershaw, 2017). |       |
| Leefbaarheid/beleving | Groene daken kunnen een kleine bijdrage leveren aan het verminderen van hemelwateroverlast door berging van een beperkte hoeveelheid water. Geen bijdrage aan grondwateroverlast. Belevingswaarde kan wel verhogen door aanwezigheid van groen in straatbeeld bij schuine daken.                                                                                                |       |

### IT/DT-riool

Infiltratie (IT) en drainage (DT) transportbuizen zijn systemen die gebruikt worden voor bergen, infiltreren en draineren. Het zijn in principe dezelfde systemen, buizen met kleine gaten waarbij geotextiel of een ander materiaal om de buis is toegepast. Daardoor worden ze soms ook als drainage-infiltratieriolen ingezet (DIT). Vaak worden deze buizen toegepast in combinatie met andere voorzieningen zoals een grindkoffer onder bijvoorbeeld een wadi. Een veelvoorkomend probleem met IT-riolen in Enschede is de verstopping met ijzervlokken veroorzaakt door oxidatie wanneer deze buizen zich wisselend onder en boven de grondwaterstanden bevinden (Tauw bv, 2015). Hierdoor is het nodig om de IT/DT-riolen onder grondwaterstand toe te passen (Wareco, Fugro & Deltares, 2017). De bijdrage aan de ambities van de gemeente Enschede zijn afhankelijk van de toepassing van dit systeem in samenwerking met andere systemen en zullen hierdoor niet worden uitgewerkt.

### Hemelwaterriool

Bij een gescheiden rioolstelsel met hemelwaterriool (RWA) worden de straatkolken en dakgoten aangesloten op een hemelwaterriool. Dit systeem wordt gebruikt voor het vervoeren van hemelwater naar oppervlaktewater. In sommige gevallen wordt er aan het eind van het systeem nog een pomp geïnstalleerd naar de RWZI om verontreinigingen van het oppervlaktewater te voorkomen (VGS) (zie *Hoofdstuk 3.1 Waterkwaliteit*). Hiervan is de effectiviteit nog niet duidelijk. In Enschede is dit systeem al veel toegepast, soms in samenwerking met andere voorzieningen. Zoals zichtbaar in Tabel 23 in heeft het alleen toepassen van een hemelwaterriool weinig bijdrage aan het vervullen van ambities. Er wordt gezorgd voor een grotere capaciteit maar daarnaast wordt er geen bijdrage aan andere ambities geleverd



Tabel 23 – Ambities Enschede bij hemelwaterriool

| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                                       | Score |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Geen bijdrage aan zuivering afstromend hemelwater (Afhankelijk van aangekoppelde systemen). Kan wel bijdragen aan minder gemengde overstorten afhankelijk van dimensionering |       |
| Biodiversiteit        | Geen bijdrage                                                                                                                                                                |       |
| Klimaatadaptie        | Bij grotere capaciteit kan er meer hemelwater afgevoerd worden waardoor er minder wateroverlast zal plaatsvinden. Geen bijdrage aan verdroging.                              |       |
| Hittestress           | Geen bijdrage                                                                                                                                                                |       |
| Leefbaarheid/beleving | Geen bijdrage aan belevingswaarde. Minder water overlast kan wel zorgen voor een hogere leefbaarheid. Geen bijdrage aan grondwateroverlast.                                  |       |

### Bergingsbassin

Een bergingsbassin is een randvoorziening voor het vergroten van de capaciteit van het riool. In de meeste gevallen is het een grote betonnen bak die ondergronds aangebracht wordt. Dit zou aangebracht kunnen worden in combinatie met een hemelwaterriool. Door het aanbrengen van dit systeem zal er minder water overstorten tijdens hevige neerslag. In de bak kan het vuil in het water bezinken naar de bodem. Dit systeem levert naast het reduceren van wateroverlast en gemengde overstorten geen bijdrage aan de ambities van de gemeente Enschede, zoals zichtbaar in Tabel 24. De ervaringen met dit systeem in Enschede zijn goed, al wordt de oplossing vaak wel als duur gezien (Taufel, 2015).

Tabel 24 - Ambities bij bergingsbassin

| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                 | Score |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Kan bijdragen aan minder gemengde overstorten afhankelijk van dimensionering                                                                           |       |
| Biodiversiteit        | Geen bijdrage.                                                                                                                                         |       |
| Klimaatadaptie        | Door grotere capaciteit riool kan er meer hemelwater afgevoerd worden waardoor er minder wateroverlast zal plaatsvinden. Geen bijdrage aan verdroging. |       |
| Hittestress           | Geen bijdrage.                                                                                                                                         |       |
| Leefbaarheid/beleving | Geen bijdrage aan belevingswaarde. Minder water overlast kan wel zorgen voor een hogere leefbaarheid. Geen bijdrage aan grondwateroverlast.            |       |

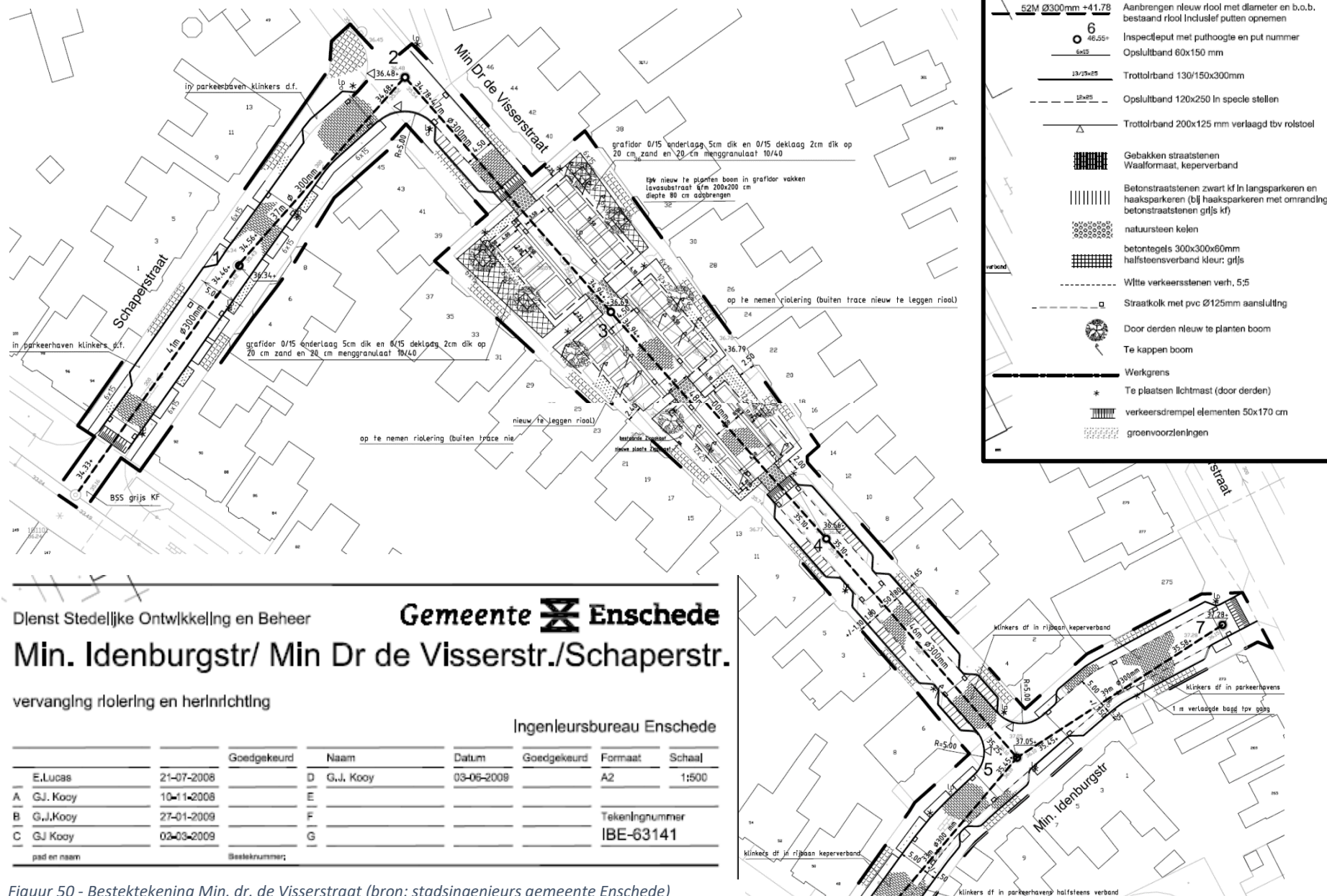
### Waterbergend straatprofiel

In plaats van het bergen of afvoeren van hemelwater naar andere gebieden buiten de wegen, kan er ook voor gekozen worden om het straatprofiel aan te passen. Hiermee kan ervoor gezorgd worden dat hemelwater niet de woningen instroomt maar op de gewenste plekken op straat blijft staan, of naar een bepaalde plek toestroomt. Eventueel zou dit gebruikt kunnen worden in combinatie met bijvoorbeeld infiltratiekratten of waterpasserende verharding. Zoals zichtbaar in Tabel 25, heeft het aanpassen van het straatprofiel weinig bijdrage aan het vervullen van ambities. Echter kan dit in combinatie met andere voorzieningen voor een andere beoordeling zorgen. In dichtbebouwd gebied, zoals veel voorkomt in Enschede, is dit mogelijk een snelle en goedkope oplossing om hemelwateroverlast in woningen te voorkomen.

Tabel 25 - Ambities bij aanpassing straatprofiel

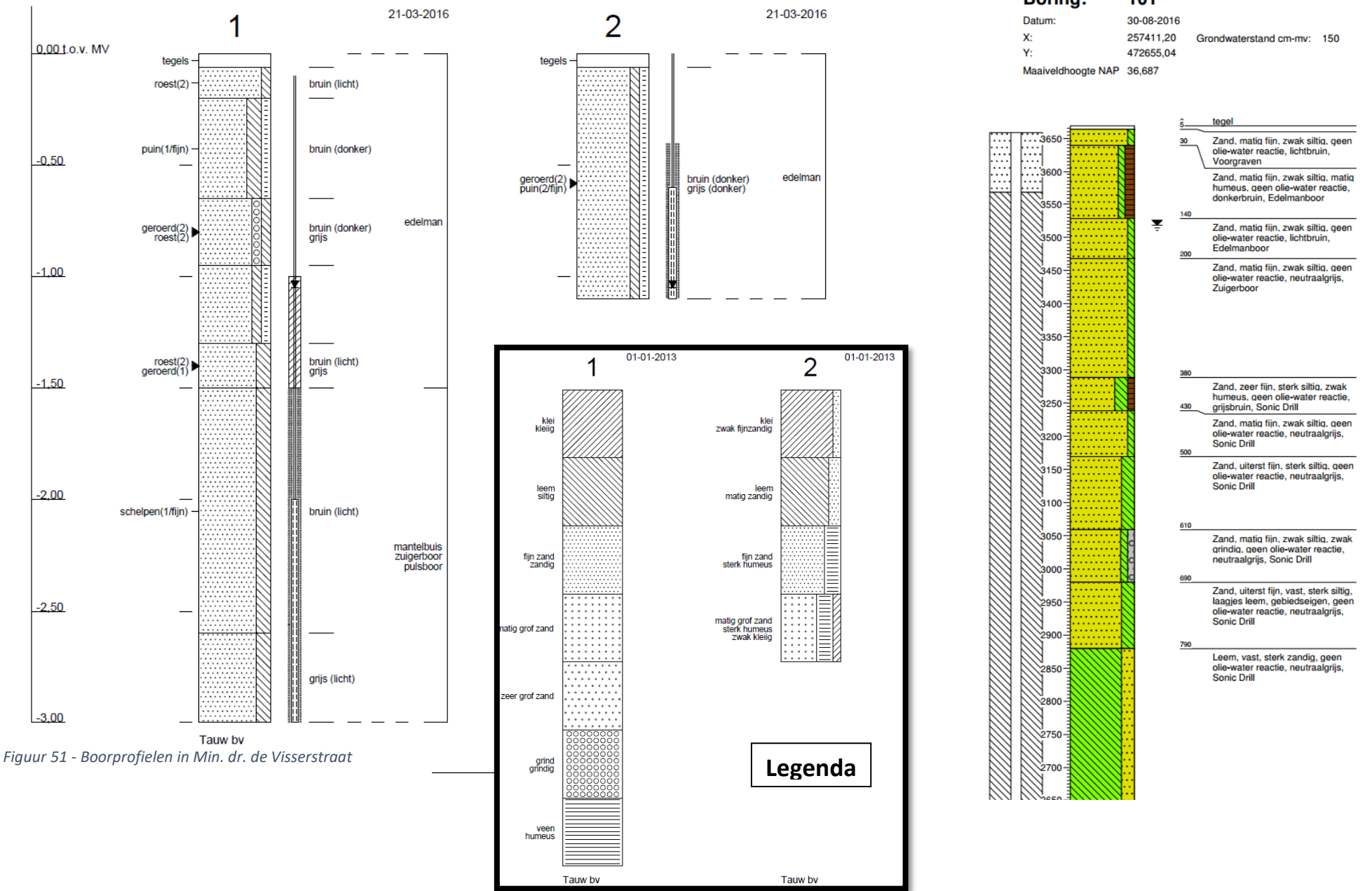
| Ambities:             | Uitwerking voorziening                                                                                                                                                                                                                                                 | Score |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Milieu                | Kan bijdragen aan reduceren piekbelasting riool, afhankelijk van dimensionering                                                                                                                                                                                        |       |
| Biodiversiteit        | Geen bijdrage.                                                                                                                                                                                                                                                         |       |
| Klimaatadaptie        | Door grotere capaciteit riool en aanpassing straatprofiel kan er meer hemelwater afgevoerd of geborgen worden, waardoor er minder wateroverlast in de woningen zal plaatsvinden. Geen bijdrage of mogelijke bijdrage afhankelijk van infiltratiecapaciteit van de weg. |       |
| Hittestress           | Geen bijdrage.                                                                                                                                                                                                                                                         |       |
| Leefbaarheid/beleving | Geen bijdrage aan belevingswaarde. Mogelijk zelfs negatieve bijdrage doordat water op straat niet geaccepteerd wordt. Minder wateroverlast in de woning kan wel zorgen voor een hogere leefbaarheid. Geen bijdrage aan grondwateroverlast.                             |       |

## Bijlage K – Bestektekening Min. dr. de Visserstraat



Figuur 50 - Bestektekening Min. dr. de Visserstraat (bron: stadsingenieurs gemeente Enschede)

Bijlage L – Minister dr. de Visserstraat bodemdata



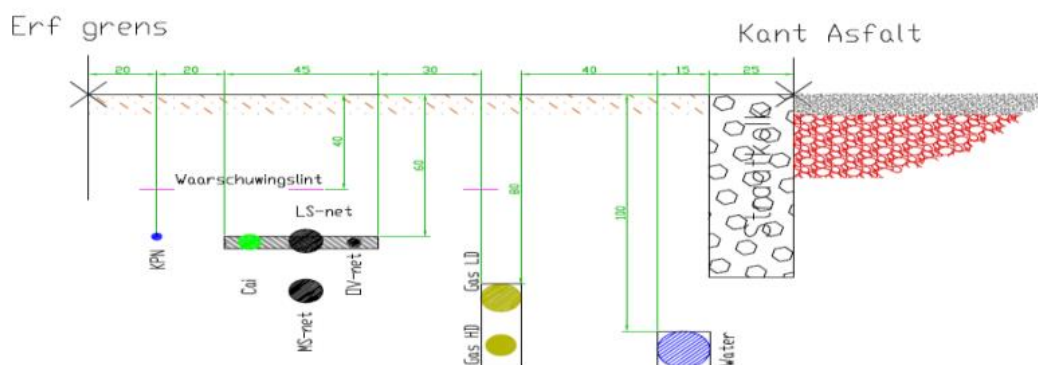




## Bijlage M – Aannames en voorwaarden casestudie

### Randvoorwaarden

- De rioolbuis in de Min. dr. de Visserstraat is vervangen in 2009, vervanging van deze buis is dus niet mogelijk (*Bijlage K – Bestektekening Min. dr. de Visserstraat*).
- Het aantal parkeerplaatsen blijft gelijk.
- Straatprofielen zijn weergegeven in *Bijlage O – Straatprofielen Min. dr. de Visserstraat*. Daarbij gelden de volgende relevante randvoorwaarden (Gemeente Enschede, 2017):
  - Trottoir minimaal 1,2 meter vrije doorgang. Optimaal 1,8 meter.
  - Diepte haaksparkeren vak, minimaal 4,50 meter, waarbij de wegbreedte minimaal 5 meter moet bedragen.
  - Wegbreedte woonstraat 1-richting minimaal 3,50 meter, optimaal 4,0 meter.
  - Wegbreedte woonstraat 2-richting minimaal 4,50 meter, optimaal 5 meter.
- Maatregelen worden getroffen in de openbare ruimte. Maatregelen op eigen percelen worden in deze casestudie niet meegenomen. Hierdoor valt de optie van het toepassen van een groen dak af.
- Infiltratievoorziening op minimaal 1 meter afstand van perceel om eventuele grondwateroverlast te voorkomen (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006)
- Er zal rekening gehouden moeten worden met de reeds aanwezige kabels en leidingen om grote kosten te voorkomen (*Bijlage N – Kabels en leidingen Min. dr. de Visserstraat*). Daarbij worden de dieptes aangehouden die zichtbaar zijn in Figuur 55. Uit deze informatie kan geconcludeerd worden dat de meeste kabels en leidingen onder het trottoir liggen. Er zal dus niet gekozen worden voor voorzieningen ter plaatse van het huidige trottoir. Echter zijn er ook een aantal gasleidingen en kabels, die de weg oversteken. Dit zal moeten worden meegenomen in de toepasbaarheid van de variant.



Figuur 55 – Minimale dekking kabels en leidingen in Enschede (Gemeente Enschede, 2017)

### Aannames

- Buiten de grenzen van de Min. dr. de Visserstraat is er oppervlaktewater of een hemelwaterafvoerstructuur aanwezig om het overtollige water uit de voorzieningen in de straat op te vangen. Dit zorgt voor een bepaalde mate van universaliteit van deze casestudie.
- Wanneer er een DIT-riool toegepast wordt, is er ruimte voor infiltratie om verdroging te voorkomen en het hemelwater kwijt te kunnen. Dit is gebaseerd op de aanbevelingen uit de afkoppelstrategie Enschede (Tauw bv, 2015). Uit enkele praktijkvoorbeelden met verschillende omstandigheden blijkt dat het grondwater reguleren mogelijk is met DIT-riolen en berging (Wareco, Fugro & Deltares, 2017). Wanneer er uit nader onderzoek blijkt dat dit niet effectief is, kunnen de voorzieningen als berging (waterdicht) worden toegepast met drainage ernaast waardoor er geen infiltratie kan plaatsvinden. Dit zal waarschijnlijk weinig effect hebben op de analyse van toepasbaarheid en kosten. Daarnaast is er ook nog geen lange tijdreeks met grondwaterstanden beschikbaar om hierover te oordelen.

- Drainage-infiltratiebuizen onder grondwaterstand aanbrengen om ijzervlokken te voorkomen (Wareco, Fugro & Deltares, 2017). Voor exacte afmetingen en diepte is nader onderzoek nodig.
- Voor de dimensionering van bepaalde varianten is het nodig om de benodigde ruimte voor een bepaalde hoeveelheid water te bepalen. Dit is bepaald in *Bijlage K*. Hieruit blijkt dat er, bij een bui die eenmaal in 25 jaar voorkomt, 120 m<sup>3</sup> waterberging voor de gehele straat nodig is. Bij een wadi wordt een bui van eenmaal in de 25 jaar aangehouden als maatgevend voor een volledig gevulde bergingsvoorziening (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006).
- In het kader van het onderzoek van Tauw (2017) naar de grondwateroverlast in dit gebied, is een pomp geplaatst om de effectiviteit hiervan op het grondwater te analyseren. De pomp is geplaatst bij de zwarte cirkel in Figuur 25. Uit de voorlopige waarnemingen blijkt dat het effect van de pomp op de ontwateringsdiepte met een grote zekerheid alleen zeer lokaal is (Tauw bv, 2017). Het effect van de pomp op de ontwateringsdiepte in de Minister dr. de Visserstraat is vrijwel verwaarloosbaar, is de voorlopige conclusie.
- De bepaling van de kosten zijn indicatief van aard. De risico's, winst, toezicht, inflatie, eenmalige aannemerskosten, voorbereiding, advies en andere overige kosten worden niet meegenomen. Het doel is om richting te geven aan de orde van grootte van de aanleg- en onderhoudskosten. Hierbij gaat het dus om de eenheidsprijzen. Doordat de afkoppelvarianten relatief nieuw zijn, is het niet bekend wanneer deze aan vervanging toe zijn.

#### Data

- Algemeen Hoogtebestand Nederland (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2017).
- Toetsingskader Openbare Ruimte 2017 Enschede (Gemeente Enschede, 2017).
- Kadaster KLIC voor kabels en leidingen (Opgevraagd op 09-05-2017) (*Bijlage N – Kabels en leidingen Min. dr. de Visserstraat*).
- Afmetingen binnen de straat (Bestektekening Min. dr. de Visserstraat, 06-06-2009, verkregen van Stadsingenieurs Enschede) (*Bijlage K – Bestektekening Min. dr. de Visserstraat*).
- De aanleg- en onderhoudskosten worden grotendeels gebaseerd op de kostenkengetallen van de Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b).

#### Beoordeling varianten in ambitiematrix

De varianten zullen voor de ambities worden beoordeeld aan de hand van de voorwaarden beschreven in *Hoofdstuk 4.2*. Er wordt voor de verschillende ambities een inschatting gemaakt op een schaal van 0 tot 5, waarbij score 5 het beste is. De aanleg- en onderhoudskosten worden beoordeeld aan de hand van Tabel 26, gebaseerd op een schaal van €0 tot de hoogste kosten in de casestudie. De aanleg- en onderhoudskosten worden apart van elkaar beoordeeld.

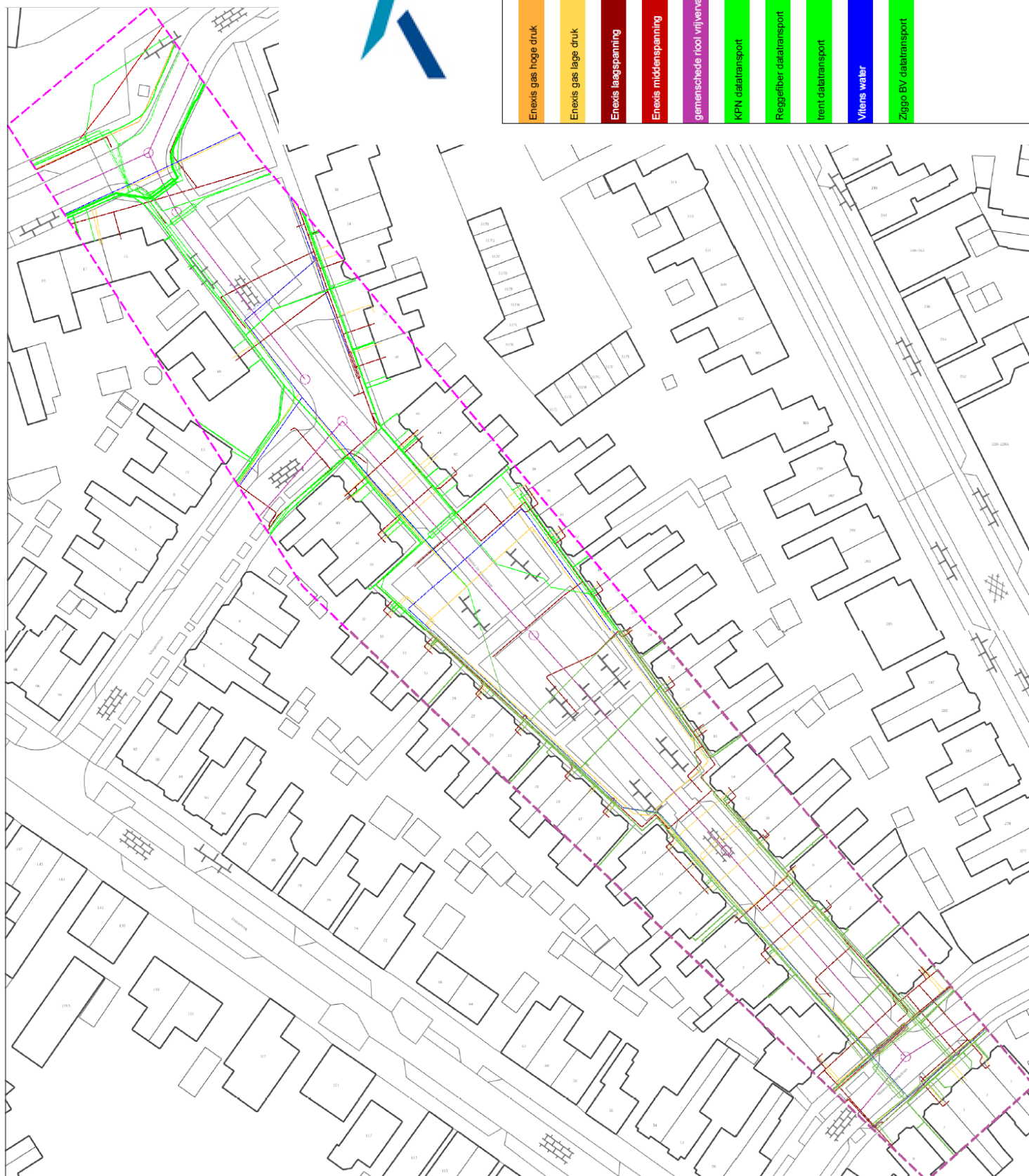
Tabel 26 - Indeling kosten op schaal 0 t/m 5. Deze schaal is gebaseerd op een verdeling van €0 tot het hoogste bedrag.

| Score | Totale<br>aanlegkosten | Totale<br>onderhoudskosten /jr. |
|-------|------------------------|---------------------------------|
| 5     | €0-15.000              | €0-200                          |
| 4     | €15.000-30.000         | €200-400                        |
| 3     | €30.000-45.000         | €400-600                        |
| 2     | €45.000-60.000         | €600-800                        |
| 1     | €60.000-75.000         | €800-1000                       |
| 0     | €75.000-90.000         | €1000-1200                      |

## Bijlage N – Kabels en leidingen Min. dr. de Visserstraat



|                                           |                           |
|-------------------------------------------|---------------------------|
| Klic-melding: 9807528402/10 17O031833 - 1 | Aanvraagdatum: 09-05-2017 |
| Verzamelkaart (alle thema's)              |                           |
| Enexis gas hoge druk                      | Enexis gas lage druk      |
| Enexis laagspanning                       | Enexis middenspanning     |
| gemeenschappelijke riool vrijwerv         | KPN datatransport         |
| Reggefiber datatransport                  | Trent datatransport       |
| Vliet water                               | Ziggo BV datatransport    |



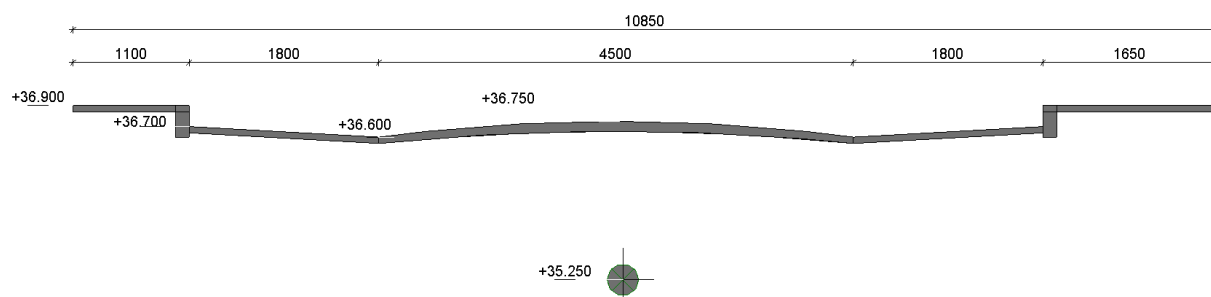
Figuur 56 - Overzichtkaart kabels en leidingen in Min. dr. de Visserstraat (bron: verkregen via stadsingenieurs gemeente Enschede)



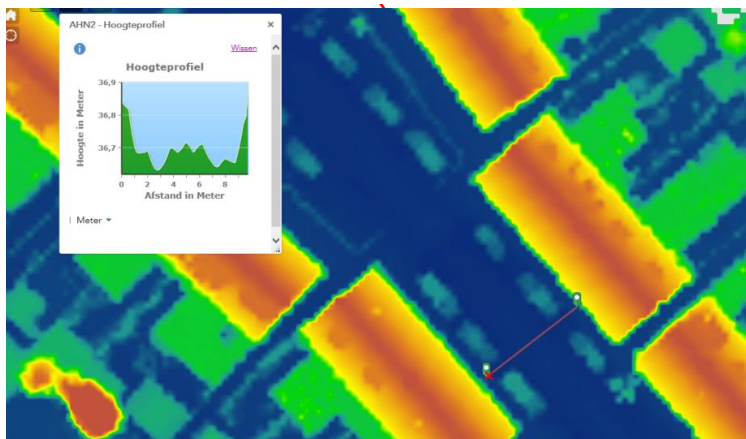
## Bijlage O – Straatprofielen Min. dr. de Visserstraat



Figuur 58 - Bovenaanzicht krappe deel Min. dr. de Visserstraat



Figuur 57 - Dwarsprofiel Min. dr. de Visserstraat t.h.v. rode streep



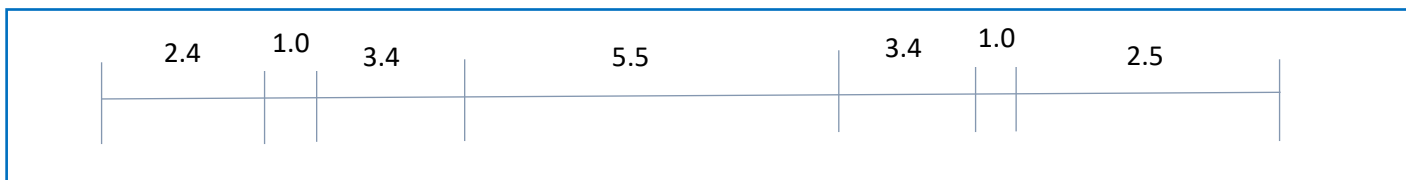
Figuur 60 - Hoogtekaart krappe deel Min. dr. de Visserstraat (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2017)



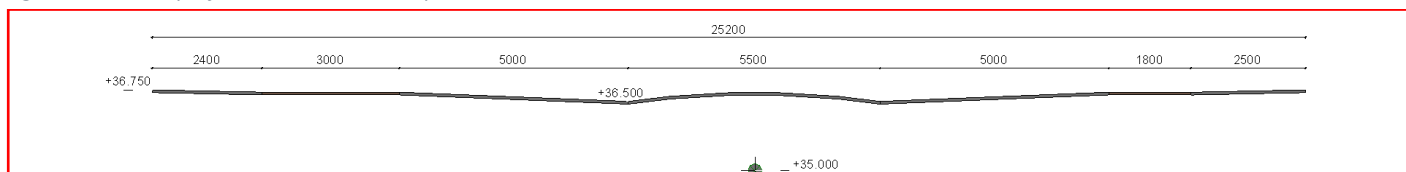
Figuur 59 - Straatbeeld krappe deel Min. dr. de Visserstraat (Google, 2017)



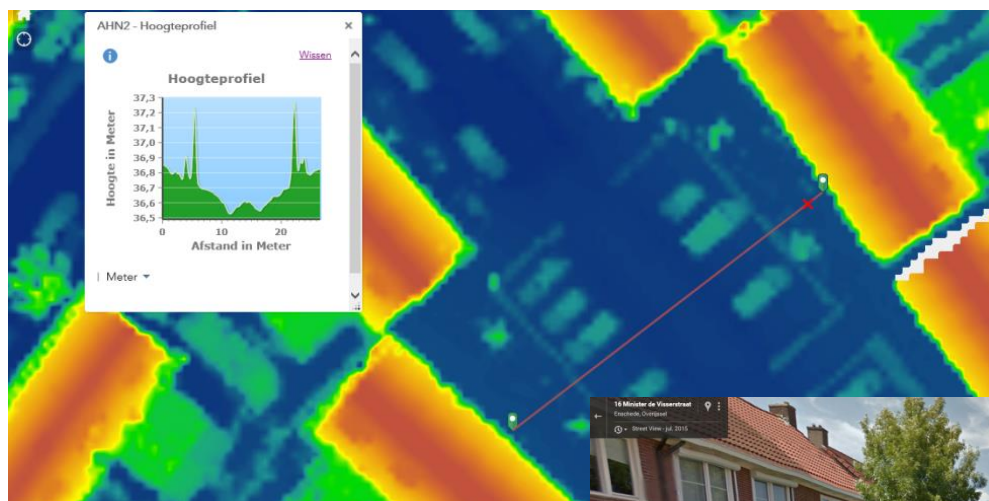
Figuur 61 – Bovenaanzicht ruime deel Min. dr. de Visserstraat



Figuur 65 - Dwarsprofiel t.h.v. blauwe streep



Figuur 64 - Dwarsprofiel t.h.v. rode streep

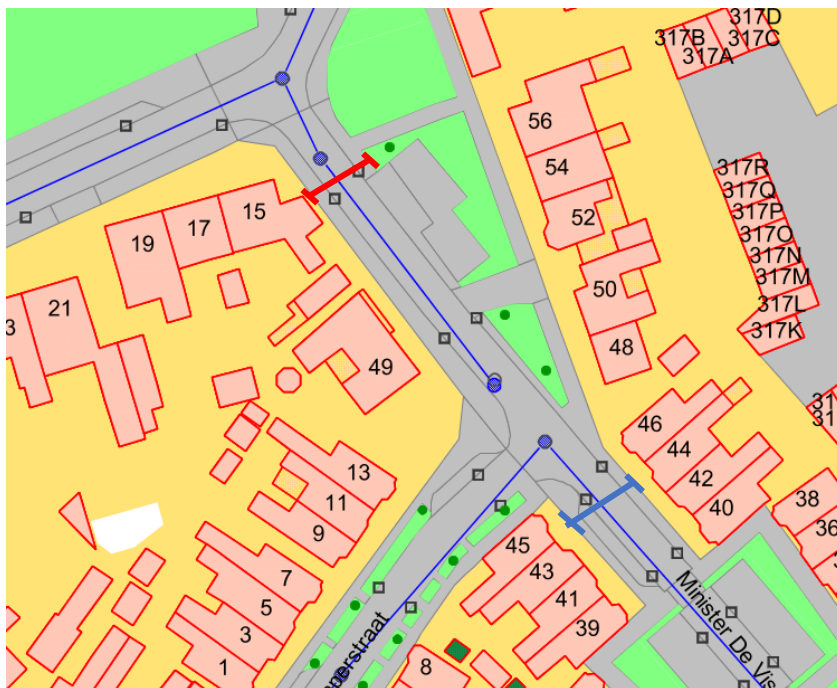


Figuur 63 - Hoogtekaart ruime deel Min. dr. de Visserstraat (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2017)

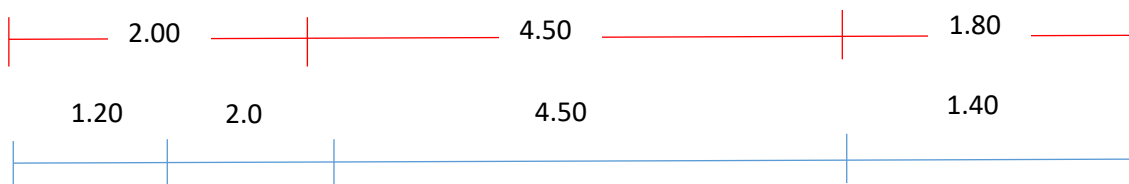


Figuur 62 - Straatbeeld ruime deel Min. dr. de Visserstraat (Google, 2017)





Figuur 66 - Bovenaanzicht noordwestelijk deel Min. dr. de Visserstraat



Figuur 67 - Dwarsprofielen



Figuur 68 - Straatbeeld noordwestelijk deel Min. dr. de Visserstraat (Google, 2017)

## Bijlage P – Bepaling benodigde afvoer/berging Min. dr. de Visserstraat



Figuur 69 - Bovenaanzicht Min. dr. de Visserstraat met categorisering (Witteveen+Bos, 2017a)

In het bovenstaande figuur is de Min dr. de Visserstraat met het verharde oppervlak zichtbaar.

Gemeten oppervlakte weg: 2000 m<sup>2</sup>

Gemeten oppervlakte daken: 2000 m<sup>2</sup>

Uitgaande van afkoppelen weg: 100%, daken: 50% (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006)-> 3000m<sup>2</sup> afkoppelen

$Q_{aan} = P * 10^{-3} * A_{aan} * \lambda$  (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006) waarbij,

$Q_{aan}$  = Aangevoerde hoeveelheid water [m<sup>3</sup>]

$P$  = neerslaghoeveelheid

$A_{aan}$  = Aangesloten verhard oppervlak [m<sup>2</sup>]

$\lambda$  = afvloeingscoëfficiënt [-]

Uitgaande van bui bij T=25 (levert 40 mm neerslag) en afvloeingscoëfficiënt van 1 (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006) levert:

$$Q_{aan} = 40 \text{ mm} * 10^{-3} * 3000 \text{ m}^2 * 1 = \mathbf{120 \text{ m}^3 \text{ water}}$$

Voor een wadi of vergelijkbare voorziening zal gelden:

$$\text{Benodigde berging (m}^3\text{/m}^2\text{)} = 120 \text{ m}^3 \text{ water / oppervlak wadi (m}^2\text{)}$$

Voor een ondergrondse berging zal rekening gehouden worden met kleikorrels waarbij 35% van het volume beschikbaar is voor berging (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006):

$$\text{Benodigde berging (m}^3\text{/m}^2\text{)} = (120 \text{ m}^3 \text{ water} / 0.35) / \text{oppervlak ondergrondse voorziening}$$



## Bijlage Q - Kostenanalyse casestudie

Tabel 27 - Kosten variant 1

| Beschrijving                                 | Eenheidsprijs (€)                              | Hoeveelheid             | Totaal          | Bron                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stedelijke infiltratiestrook incl. graafwerk | €85/m                                          | 200                     | €17.000         | Vergelijkbaar systeem als wadi. Kosten wadi per meter uit Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b). Hierin is uitgegaan van infiltratievoorziening van 2 meter breed, kosten dus mogelijk lager.                                                                                       |
| Drainage meeleggen                           | €86/m                                          | 200                     | €17.200         | Uitgaande van IT – riool van 315 mm, materiaal + grondwerk (Stichting RIONED, 2015b)                                                                                                                                                                                                       |
| Straat opbreken en opnieuw aanleggen         | €18/m <sup>2</sup>                             | 2000                    | €36.000         | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b) (Opbreken €2/m <sup>2</sup> , aanleg €16/m <sup>2</sup> ).                                                                                                                                                                                    |
|                                              |                                                | <b>Totaal aanleg</b>    | <b>€70.200</b>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Onderhoud drainage                           | €0,50/m/jr.                                    | 200                     | €100            | Afweging maatregelen Wareco (Wareco, 2013a). Bij eenmaal per twee jaar doorspuiten van drainages.                                                                                                                                                                                          |
| Onderhoud infiltratiestrook                  | €0,27/m <sup>2</sup> afgekoppeld oppervlak/jr. | 3000                    | €810            | De beheerkosten van traditionele wadi's worden geschat op 0,37 €/m <sup>2</sup> /jr. (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006), echter door te kiezen voor een natuurvriendelijke beplante wadi, worden de beheerkosten op 0.27 €/m <sup>2</sup> /jr. geschat (Boogaard, Jeurink, & Gels, 2003). |
|                                              |                                                | <b>Totaal onderhoud</b> | <b>€910/jr.</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Tabel 28 - Kosten variant 2

| Beschrijving                         | Eenheidsprijs (€)                              | Hoeveelheid             | Totaal          | Bron                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wadi incl. graafwerk                 | €85/m                                          | 100                     | €8.500          | Kosten wadi per meter uit Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b). Hierin is uitgegaan van infiltratievoorziening van 2 meter breed.                                                                                                                                                  |
| Drainage meeleggen                   | €86/m                                          | 200                     | €17.200         | Uitgaande van IT – riool van 315 mm, materiaal + grondwerk (Stichting RIONED, 2015b)                                                                                                                                                                                                       |
| Straat opbreken en opnieuw aanleggen | €18/m <sup>2</sup>                             | 800                     | €14.400         | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b) (Opbreken €2/m <sup>2</sup> , aanleg €16/m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                     |
|                                      |                                                | <b>Totaal aanleg</b>    | <b>€40.100</b>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Onderhoud drainage                   | €0,50/m/jr.                                    | 200                     | €100            | Afweging maatregelen Wareco (Wareco, 2013a). Bij eenmaal per twee jaar doorspuiten van drainages.                                                                                                                                                                                          |
| Onderhoud wadi                       | €0,27/m <sup>2</sup> afgekoppeld oppervlak/jr. | 3000                    | €810            | De beheerkosten van traditionele wadi's worden geschat op 0,37 €/m <sup>2</sup> /jr. (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006), echter door te kiezen voor een natuurvriendelijke beplante wadi, worden de beheerkosten op 0.27 €/m <sup>2</sup> /jr. geschat (Boogaard, Jeurink, & Gels, 2003). |
|                                      |                                                | <b>Totaal onderhoud</b> | <b>€910/jr.</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Tabel 29 - Kosten variant 3

| Beschrijving                                                   | Eenheidsprijs (€)         | Hoeveelheid             | Totaal            | Bron                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berging onder parkeerplaatsen incl. waterpasserende verharding | €50 per m <sup>2</sup>    | 650                     | €32.500           | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b)<br>Hierin staat, €42 per m <sup>2</sup> voor diepte 0,3 m. Voor 0,5 m afgerond naar 50 m <sup>2</sup> .                     |
| Straat opbreken en opnieuw aanleggen + grondwerk               | €30/m <sup>2</sup>        | 650                     | €19.500           | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b)<br>(Opbreken €2/m <sup>2</sup> , aanleg €16/m <sup>2</sup> ).<br>Grondwerk 12/m <sup>2</sup> (Calculator gemeente Enschede) |
| Drainage meeleggen                                             | €86/m                     | 200                     | €17.200           | Uitgaande van IT – riool van 315 mm, materiaal + grondwerk (Stichting RIONED, 2015b)                                                                                     |
|                                                                |                           | <b>Totaal aanleg</b>    | <b>€69.200</b>    |                                                                                                                                                                          |
| Onderhoud drainage                                             | €0,50/m/jr.               | 200                     | €100              | Afweging maatregelen Wareco (Wareco, 2013a). Bij eenmaal per twee jaar doorspuiten van drainages.                                                                        |
| Onderhoud waterpasserende verharding                           | €1.70/m <sup>2</sup> /jr. | 650                     | €1.10             | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b) (1 keer in de 7 jaar grote reiniging)                                                                                       |
|                                                                |                           | <b>Totaal onderhoud</b> | <b>€1.200/jr.</b> |                                                                                                                                                                          |

Tabel 30 - Kosten variant 4

| Beschrijving                                     | Eenheidsprijs (€)         | Hoeveelheid             | Totaal          | Bron                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berging onder weg                                | €140/m <sup>3</sup> water | 120                     | €16.800         | (Aquaflow, 2017c) (Onduidelijk of hierin kolk is meegenomen, daardoor hieronder ook kolk meegenomen)                                                                     |
| Kolk                                             | €230/st.                  | 20                      | €4.600          | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b) (1 kolk (€200) per 100 m <sup>2</sup> ). Correctie door calculator gemeente Enschede: +€30/st.                              |
| Drainage meeleggen                               | €86/m                     | 200                     | €17.200         | Uitgaande van IT – riool van 315 mm, materiaal + grondwerk (Stichting RIONED, 2015b)                                                                                     |
| Straat opbreken en opnieuw aanleggen + grondwerk | €30/m <sup>2</sup>        | 900                     | €27.000         | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b)<br>(Opbreken €2/m <sup>2</sup> , aanleg €16/m <sup>2</sup> ).<br>Grondwerk 12/m <sup>2</sup> (Calculator gemeente Enschede) |
|                                                  |                           | <b>Totaal aanleg</b>    | <b>€65.600</b>  |                                                                                                                                                                          |
| Onderhoud drainage                               | €0,50/m/jr.               | 200                     | €100            | Afweging maatregelen Wareco (Wareco, 2013a). Bij eenmaal per twee jaar doorspuiten van drainages.                                                                        |
|                                                  |                           | <b>Totaal onderhoud</b> | <b>€100/jr.</b> |                                                                                                                                                                          |

Tabel 31 - Kosten variant 5

| Beschrijving                  | Eenheidsprijs (€) | Hoeveelheid             | Totaal          | Bron                                                                                                                                                |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RWA als zelfstandig werk      | €175/m            | 200                     | €35.000         | Uitgaande van RWA van 300 mm. Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b)<br>Materiaalkosten relatief kleine bijdrage, exacte afmeting niet nodig. |
| Drainage als zelfstandig werk | €227/m            | 200                     | €45.400         | Uitgaande van IT – riool van 315 mm, materiaal + grondwerk + verharding (Stichting RIONED, 2015b)                                                   |
|                               |                   | <b>Totaal aanleg</b>    | <b>€80.400</b>  |                                                                                                                                                     |
| Onderhoud drainage            | €0,50/m/jr.       | 200                     | €100            | Afweging maatregelen Wareco (Wareco, 2013a). Bij eenmaal per twee jaar doorspuiten van drainages.                                                   |
| Onderhoud RWA                 | €1.70/m/jr.       | 200                     | €340            | Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2015b)                                                                                                        |
|                               |                   | <b>Totaal onderhoud</b> | <b>€440/jr.</b> |                                                                                                                                                     |