Gemeente Rotterdam

Een (water)plein tegen hittestress, droogte én piekbuien

Onderzoeksrapport

Van

R. Breevoort

Datum

18 juni 2020

Colofon

Titel	Een (water)plein tegen hittestress, droogte én piekbuien
Ondertitel	Onderzoeksrapport
Auteur:	Remco Breevoort
Contact:	
Instantie:	Hogeschool Rotterdam
Opleiding:	Watermanagement G.J. de Jonghweg 4 – 6 3015 GG Rotterdam
Stagebedrijf:	Gemeente Rotterdam
Afdeling:	Stadsontwikkeling Wilhelminakade 179 3004 BC Rotterdam
Docent begeleider:	Bart van Eck
Stagebegeleiders:	Joep van Leeuwen Bert de Doelder
Stageperiode:	10 februari 2020 – 18 juni 2020
Plaats en datum:	Rotterdam, 18 juni 2020

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie “Een (water)plein tegen hittestress, droogte piekbuien.” Deze scriptie is geschreven in opdracht van de gemeente Rotterdam en in het kader van mijn afstuderen van de opleiding Watermanagement aan de Hogeschool Rotterdam. De onderzoeksperiode is van begin februari 2020 tot eind juni 2020.

De afgelopen maanden heb ik een interessant, maar complex onderzoek uitgevoerd, waarbij ik nieuwe kennis heb opgedaan omtrent het ontwerpen en bedenken van een (water)plein. Ik hoop dat mijn onderzoek de gemeente Rotterdam verder kan helpen bij het behalen van hun ambities en doelen.

Bij deze wil ik graag de gelegenheid gebruiken om mijn begeleiders binnen de gemeente Rotterdam te bedanken, Joep van Leeuwen en Bert de Doelder. Zonder hun fijne begeleiding en kritische feedback had ik dit onderzoek nooit kunnen voltooien. Ook wil ik mijn docentbegeleider Bart van Eck binnen de Hogeschool Rotterdam bedanken voor de overlegmomenten en zijn ondersteuning. Tot slot bedank ik iedereen die mij op welke manier dan ook geholpen heeft bij mijn onderzoek.

Ik wens u veel plezier met het lezen van deze scriptie.

Remco Breevoort

Rotterdam, 18 juni 2020

Samenvatting

In Nederland, met name in steden krijgen we steeds vaker te maken met de effecten van de klimaatverandering. Er worden hogere temperaturen gemeten, er zijn langere periodes van droogte en er komen meer hevigere buien met een hoge neerslagintensiteit voor. Dit leidt tot hittestress, grondwaterspiegeldaling en wateroverlast.

Hierdoor bestaat binnen de gemeente Rotterdam de urgentie om adaptieve maatregelen toe te passen. Inmiddels zijn waterpleinen bekend, maar deze vorm biedt alleen een oplossing voor piekbuien. Het probleem is dat er nog weinig maatregelen betreffende hitte en droogte zijn ontworpen. Om deze reden is er gekeken naar de mogelijkheden voor het stedelijk gebied in Rotterdam, waaruit bleek dat zogeheten Stepwells uit India een mogelijke oplossing kunnen zijn. Stepwells hebben namelijk effect op alle drie de bovenstaande klimaateffecten en kunnen ingericht worden als een soort waterplein. Het is de bedoeling dat dit (water)plein de klimaateffecten vermindert of helemaal oplost. Het is echter nog onbekend of dit de meeste optimale inrichting van een plein/buitenruimte is om de klimaateffecten op te lossen en of Stepwells toe te passen zijn in Rotterdam. Daarom is gekozen om onderzoek te doen naar de mogelijkheden van Stepwells, maar ook naar andere pleinen, waaronder het Waterplein en een Groenplein. Er is gekeken hoe deze varianten kunnen worden aangepast om een systeem te creëren dat bedoeld is om de klimaatproblemen op te lossen. Aan de hand van deze pleinen wordt uiteindelijk antwoord gegeven op de volgende vraag:

“Hoe ziet het optimale ontwerp eruit voor pleinen/buitenruimte in Rotterdam om de gevolgen van hitte, droogte en de wateropgave te verminderen?”

Het doel van dit onderzoek is om enerzijds een afwegingskader te ontwikkelen voor het ontwerpen van optimaal klimaat adaptief (water)plein voor in het stedelijk gebied. Anderzijds om een ontwerprichtlijn op te stellen, waarmee de gemeente Rotterdam een referentiekader heeft voor een multifunctioneel (water)plein. Beide zijn beroepsproducten voor de opdrachtgever, de gemeente Rotterdam.

Aan de hand van literatuurstudie en interviews is onderzocht en bepaald welke kaders belangrijk zijn voor het ontwerpen van een optimaal plein/buitenruimte. Als eerste is er gekeken naar de problemen van de huidige en toekomstige klimaatverandering in Rotterdam omtrent hitte, droogte en de wateropgave. Ten tweede is er onderzoek gedaan naar verschillende alternatieve inrichtingen van pleinen/buitenruimte. Vervolgens is er een programma van eisen en wensen opgesteld voor het ontwerpen van een (water)plein, die gebruikt wordt om te bepalen aan welke eisen en wensen het ontwerp moeten voldoen. Hierop volgend is een selectie van potentiele maatregelen gemaakt, waaruit de ontwerper van het (water)plein gebruik kan maken.

Uiteindelijk zijn er drie varianten ontworpen o.b.v. de alternatieve inrichtingen: Stepwells, Waterplein en Groenplein. Middels een Multi-Criteria-Analyse (MCA) zijn de varianten getoetst op de volgende criteria: kosten, veiligheid en gezondheid, schaalbaarheid, recreatie en impuls buitenruimte en het effect op de klimaatopgaven. Uit deze MCA is gebleken dat variant Groenplein de meest ideale variant is. Dit plein bestaat voornamelijk uit onverhard oppervlak met bomen ter verkoeling, met twee bergingen voor de wateropgave, een natuurlijke zuiveringstap en de mogelijkheid om het water te herwinnen voor droge periodes. Geconcludeerd kan worden dat een Groenplein ideaal is als oplossing voor de klimaatopgaven in het stedelijk gebied.

Begrippenlijst

RAS:	Rotterdam Adaptatie Strategie
MCA:	Multi-Criteria-Analyse
KNMI:	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
UWB:	Urban Waterbuffer

(Water)plein:	Met (water)plein wordt bedoeld een plein/buitenruimte ontworpen met een systeem om de klimaateffecten van hitte, droogte, maar ook de wateropgave te verminderen.
Hotspot:	Een gebied met een hoge gevoelstemperatuur.
Symbiose:	Bij symbiose leven twee organismen van verschillende soorten langdurig samen. Dit is dan voor minstens een van de twee gunstig of zelfs noodzakelijk.
PET-kaart:	Mee een PET-kaart (Physiological Equivalent Temperature) kan de gevoelstemperatuur en in relatie met de gezondheidsrisico en verblijfcomfort in kaart worden gebracht.

Inhoud

Voorwoord **3**

Samenvatting **4**

Begrippenlijst **5**

1 Inleiding **9**
1.1 Context en aanleiding 9
1.2 Probleemstelling 10
1.2.1 Klimaatopgave: Hitte 10
1.2.2 Klimaatopgave: Droogte 12
1.2.3 Klimaatopgave: Wateropgave 14
1.3 Het kennishiaat 16
1.4 Beroepsproduct en doelstelling van het onderzoek 18
1.5 Onderzoeksopzet 18
1.5.1 Onderzoeksmethoden 18
1.5.2 De onderzoeksvragen 19
1.5.3 Afbakening 19
1.6 Leeswijzer 20

2 Alternatieve inrichtingen voor een (water)plein **21**
2.1 Stepwells 21
2.1.1 De effecten op hitte, droogte en de wateropgave 22
2.1.2 Voorbeeld (verbeterde variant) Stepwells: Khel Kunds 22
2.2 Het Waterplein 23
2.2.1 De effecten op hitte, droogte en de wateropgave 23
2.2.2 Voorbeeld Waterplein: het Benthemplein 24
2.3 Een Groenplein 25
2.3.1 De effecten op hitte, droogte en de wateropgave 25
2.3.2 Voorbeeld Groenplein: het Staringplein 25
2.4 Samenvatting effect op klimaatopgaven 26

3 Programma van eisen en wensen **27**
3.1 Het programma van eisen en wensen 27
3.1.1 Algemene beschrijving 27

4	**Maatregelen voor het (water)plein**	**29**
4.1	De maatregelen	29
4.1.1	Maatregelen betreft water	30
4.1.2	Wateraanvoer vanuit de bodem	31
4.1.3	Maatregelen betreft schaduwvorming	32
4.1.4	Maatregelen betreft wind	32
4.1.5	Maatregelen betreft groen	33
4.2	De standaard maatregelen	33
4.3	Waterkwaliteit en de maatregelen	33
5	**Multi-Criteria-Analyse voor een optimaal (water)plein**	**34**
5.1	De varianten	34
5.1.1	Variant Stepwells	34
5.1.2	Variant Waterplein	36
5.1.3	Variant Groenplein	38
5.2	De Multi-Criteria-Analyse	40
5.3	Conclusie Multi-Criteria-Analyse	41
5.3.1	Gevoeligheidsanalyse Multi-Criteria-Analyse	41
5.4	Resultaten Casus Driehoeksplein	42
6	**Conclusie en aanbevelingen**	**43**
6.1	Aanbevelingen	44
7	**Discussie en reflectie**	**45**
8	**Bijlage 1: Verwachting aantal zomerse dagen**	**46**
9	**Bijlage 2: Gevoelstemperatuur in relatie tot gezondheidsrisico en verblijfcomfort**	**47**
10	**Bijlage 3: Droogte in Rotterdam**	**48**
11	**Bijlage 4: Neerslag in Rotterdam**	**49**
12	**Bijlage 5: Verwachting schade door klimaatverandering**	**50**
13	**Bijlage 6: Verschillende buien**	**52**
14	**Bijlage 7: Het programma van eisen en wensen**	**53**

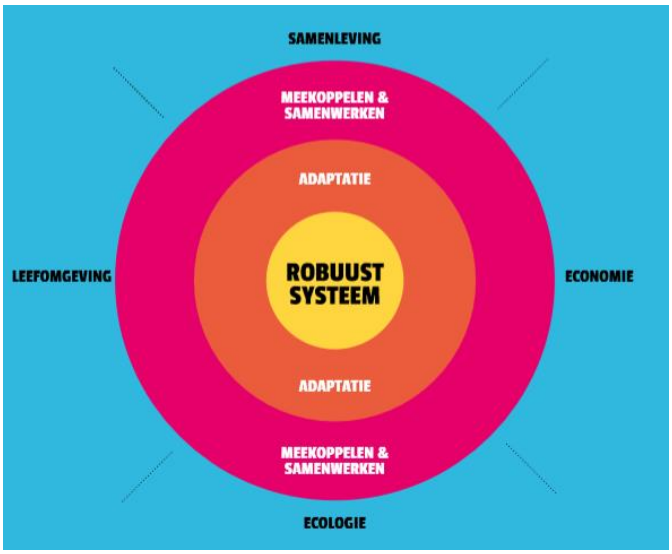
15	**Bijlage 8: Waterkwaliteit en ziekteverwekkers**	**59**
16	**Bijlage 9: De maatregelen**	**63**
17	**Bijlage 10: SediSubstrator L**	**73**
18	**Bijlage 11: Doorsnede UWB Sparta stadion**	**75**
19	**Bijlage 12: Berekeningen varianten**	**76**
20	**Bijlage 13: Beheer en onderhoud**	**79**
21	**Bijlage 14: Terugkoppeling programma van eisen en wensen**	**80**
22	**Bijlage 15: Kosten varianten**	**88**
23	**Bijlage 16: Criteria en toelichting puntenverdeling**	**89**
24	**Bijlage 17: Het Driehoeksplein**	**93**
Bibliografie		**95**

1 Inleiding

Voor u ligt het rapport aangaande het afstudeeronderzoek naar een optimaal klimaat adaptief (water)plein. In dit hoofdstuk worden de volgende onderdelen beschreven: de context en aanleiding, de probleemstelling, het kennishiaat, het beroepsproduct en doelstellingen en de onderzoeksmethoden. Vervolgens wordt dit hoofdstuk afgesloten met een leeswijzer.

1.1 Context en aanleiding

De aanleiding van dit onderzoek is tweedelig. In de eerste plaats wordt klimaatverandering een steeds groter probleem. Rotterdam krijgt in de toekomst nog meer last van enerzijds extreme neerslag en wateroverlast en anderzijds droogte en hittestress. Om Rotterdam hierop voor te bereiden zet de gemeente Rotterdam zich hier al jaren voor in om deze effecten van klimaatverandering te verminderen en heeft hiervoor een aantal ambitiedocumenten voor op gesteld. In 2013 is RAS (Rotterdam Adaptatie Strategie) gelanceerd met als kern een robuust watersysteem in Rotterdam. De riolering, gemalen en oppervlaktewateren zijn essentieel voor een klimaatbestendige stad, maar dat is niet genoeg, bij extreme weersomstandigheden kan zelfs dat robuuste systeem het niet aan. Het aanpassen van de stedelijke inrichting is nodig en Rotterdam moet zich adapteren aan het klimaat (Gemeente Rotterdam, 2019).



Figuur 1. Het principe van het Rotterdamse adaptatie strategie (Gemeente Rotterdam, 2019).

Naast RAS heeft de gemeente de afgelopen jaren een aantal andere ambitiedocumenten opgesteld, waaronder de meest recente het Rotterdams WeerWoord (2019), maar ook Waterplan 2 (2007 en de herijking 2013), Stadvisie 2030 (2007) en Rotterdam Resilience Strategy (2016).

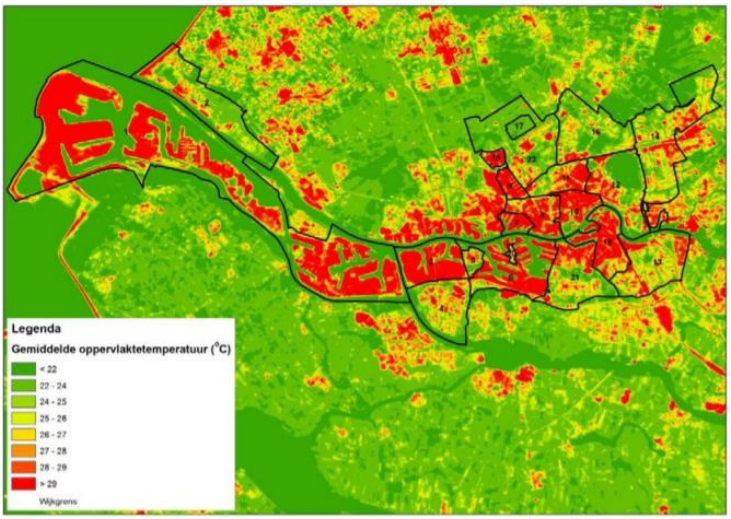
Ten tweede zijn er mondiaal een aantal voorbeelden uit voormalige culturen in (semi)aride gebieden die zijn gebruikt om steden af te koelen of mensen verkoeling te bieden. Een voorbeeld hiervan zijn zogeheten Stepwells uit India. Een maatregel voor verkoeling en waterberging uit India. Deze Stepwells zijn bij een uitwisseling met collega's uit Surat ter sprake gekomen. Er is op dit moment nog weinig bekend over maatregelen tegen hittestress en droogte. Daarom zal in dit onderzoek worden gekeken welke mogelijke oplossing (waaronder de Stepwell) de opgave van hittestress en droogte vermindert. Daarnaast is het belangrijk dat het (water)plein ook effect heeft op de wateropgave.

1.2 Probleemstelling

Klimaatverandering is onvermijdelijk en zal een grote rol spelen in de toekomst. Volgens het KNMI zullen er in 2050 meer periodes van zomerse temperaturen en onregelmatige extreme neerslag voorkomen (KNMI, 2014). Dit kan voor grote problemen zorgen voor steden zoals Rotterdam. Het is zeker dat het klimaat komende jaren zal gaan veranderen, waarbij de focus van dit onderzoek zit voornamelijk in de veranderingen van temperatuur, droogte en neerslag.

1.2.1 Klimaatopgave: Hitte

Hitte oftewel hittestress (zoals de mens het ervaart) komt steeds vaker voor door klimaatverandering. Voornamelijk in steden en dus ook in Rotterdam zal steeds vaker hittestress voorkomen. Dit komt door het typisch stedelijk land -en materiaalgebruik van veel wegen en gebouwen met weinig groen en water. Het oppervlak en het stedelijk water warmt snel op en de temperatuur blijft door gebrek aan verkoeling langer hangen en naleveren. Dit effect wordt ook wel het hitte-eiland effect genoemd en is duidelijk te zien op de kaart hiernaast. Voornamelijk in het hoog stedelijk gebied is het gemiddeld oppervlaktetemperatuur het hoogst (Gemeente Rotterdam, 2011).



Figuur 2. Gemiddelde oppervlaktetemperaturen gemeten tussen periode 1984 en 2007 (Gemeente Rotterdam, 2011).

Huidige situatie hitte

Door klimaatverandering krijgen we steeds vaker te maken met warme zomerse -en tropische dagen. Een zomerse dag wordt beschouwd als een dag met 25 °C of hoger en een tropische dag is een dag met 30 °C of hoger. Indien er minimaal 5 zomerse dagen, waarvan 3 tropisch zijn spreken we van een hittegolf. Aan de hand van metingen van het KNMI is gebleken dat er steeds vaker hittegolven voorkomen. In totaal zijn er 28 hittegolven gemeten in Nederland tussen de periode 1911 en 2019 (zie tabel hiernaast). Duidelijk is te zien dat een hittegolf in de 20^{e} eeuw uniek was, maar naarmate de jaren steeds vaker voor kwam *(KNMI, 2019)*. Een hittegolf kan veel effect hebben op kwetsbare groepen zoals ouderen en kinderen. Hierover volgt meer in paragraaf: effecten hitte op de gezondheid.

Van	tot en met	Duur in dagen	Aantal tropische dagen	Hoogste temperatuur °C	Datum hoogste temperatuur
08 aug 1911	14 aug 1911	7	5	33.0	10 aug 1911
21 mei 1922	25 mei 1922	5	3	32.8	24 mei 1922
05 jul 1923	14 jul 1923	10	5	33.1	11 jul 1923
20 jun 1941	26 jun 1941	7	3	32.0	23 jun 1941
06 jul 1941	13 jul 1941	8	6	32.2	12 jul 1941
14 aug 1947	21 aug 1947	8	3	32.2	16 aug 1947
26 jul 1948	30 jul 1948	5	4	31.3	28 jul 1948
29 jul 1975	15 aug 1975	18	6	32.9	08 aug 1975
23 jun 1976	09 jul 1976	17	10	34.9	03 jul 1976
29 jul 1982	04 aug 1982	7	4	31.9	02 aug 1982
04 jul 1983	12 jul 1983	9	3	33.0	11 jul 1983
26 jul 1990	04 aug 1990	10	3	35.3	04 aug 1990
19 jul 1994	31 jul 1994	13	5	34.1	24 jul 1994
29 jul 1995	03 aug 1995	6	3	32.3	31 jul 1995
05 aug 1997	13 aug 1997	9	5	32.1	13 aug 1997
28 jul 1999	04 aug 1999	8	3	31.4	01 aug 1999
22 aug 2001	26 aug 2001	5	3	31.1	25 aug 2001
31 jul 2003	13 aug 2003	14	7	35.0	07 aug 2003
02 aug 2004	11 aug 2004	10	3	32.5	09 aug 2004
18 jun 2005	24 jun 2005	7	3	32.8	20 jun 2005
30 jun 2006	06 jul 2006	7	3	32.0	04 jul 2006
15 jul 2006	30 jul 2006	16	8	35.7	19 jul 2006
21 jul 2013	27 jul 2013	7	3	32.6	22 jul 2013
30 jun 2015	05 jul 2015	6	3	33.1	01 jul 2015
15 jul 2018	27 jul 2018	13	4	35.7	26 jul 2018
29 jul 2018	07 aug 2018	10	4	33.9	07 aug 2018
22 jul 2019	27 jul 2019	6	4	37.5	25 jul 2019
23 aug 2019	28 aug 2019	6	3	32.8	27 aug 2019

Tabel 1. Gemeten hittegolven in de periode 1901 tot 2019 (KNMI, 2019).

Toekomstige situatie hitte

Het aantal hittegolven geeft een goede indicatie van de effecten klimaatverandering. In tabel 2 zijn de voorspellingen voor 2050 volgens de klimaatscenario's van het KNMI te zien. Hierin is te zien dat de zomerse dagen van 21 dagen met 70% kunnen toenemen tot 36 zomerse dagen (KNMI, 2014). In bijlage 1 is de grafiek te vinden over de verwachting van het aantal zomerse dagen tot 2100. Met de gegevens van het KNMI kan dus vastgesteld worden dat we vaker te maken krijgen met hittegolven en dus ook meer met het hitte-eilandeffect in de toekomst.

Seizoen	Variabele	Indicator	Klimaat 1981-2010 =referentieperiode	Scenario verandering voor het klimaat rond 2050 (2036-2065)			
				G_L	G_H	W_L	W_H
Wereldwijde temperatuurstijging:				+1 °C	+1 °C	+2 °C	+2 °C
Verandering van luchtstroompatroon:				Lage waarde	Hoge waarde	Lage waarde	Hoge waarde
Jaar	Temperatuur	Gemiddelde	10.1 °C	+1 °C	+1.4 °C	+2 °C	+2.3 °C
Winter	Temperatuur	Gemiddelde	3,4 °C	+1.1 °C	+1.6 °C	+2.1 °C	+2.7 °C
		Koudste winterdag per jaar	-5.9 °C	+2 °C	+3.6 °C	+3.9 °C	+5.1 °C
		Zachtste winterdag per jaar	11.1 °C	+0.6 °C	+0.9 °C	+1.7 °C	+1.7 °C
Lente	Temperatuur	Gemiddelde	9.5 °C	+0.9 °C	+1.1 °C	+1.8 °C	+2.1 °C
Zomer	Temperatuur	Gemiddelde	17 °C	+1 °C	+1.4 °C	+1.7 °C	+2.3 °C
		Koelste zomerdag per jaar	11.1 °C	+0.9 °C	+1.4 °C	+1.5 °C	+2.3 °C
		Warmste zomerdag per jaar	24.7 °C	+1.4 °C	+1.9 °C	+2.3 °C	+3.3 °C
		Aantal zomerse dagen (max temp ≥ 20 °C)	21 dagen	22%	+35%	40%	70%
		aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)	0,1 dagen	+0,5%	+0.6%	+1.4%	+2.2%
Herfst	Temperatuur	Gemiddelde	10.6 °C	+1,1 °C	+1,3 °C	+2.2 °C	+2.3 °C

Tabel 2. Kerncijfers van de klimaatscenario's rond 2050 (KNMI, 2014).

Effecten hitte op gezondheid

Hitte kan op veel manieren voor problemen zorgen in de maatschappij, waarbij gezondheidsproblemen de belangrijkste zijn. Deze gezondheidsproblemen ontstaan doordat het lichaam bij hittestress lichaamswarmte kwijt wil raken. Als het lichaam dan niet voldoende kan afkoelen kunnen er gezondheidsproblemen ontstaan (Heusinkveld, 2017).

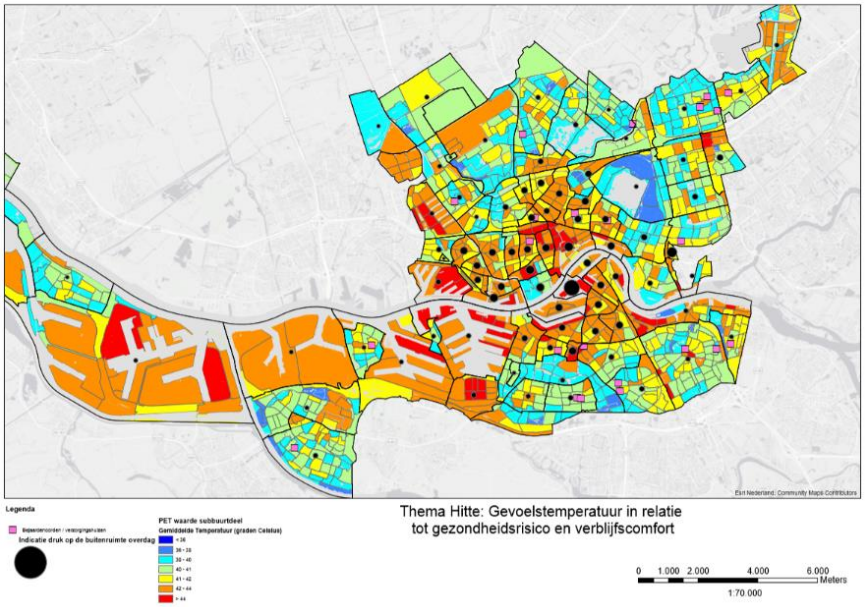
Voornamelijk kwetsbare groepen zoals ouderen en kleine kinderen hebben het grootste risico op gezondheidsproblemen door hitte. Daarnaast zijn andere kwetsbare groepen:

- Mensen met een zwakke gezondheid of chronische ziekten
- Patiënten van verpleeg- of verzorgingstehuizen
- Mensen met hart-, vaat- of longaandoeningen
- Diabetespatiënten
- Dak- en thuislozenmensen met overgewicht
- Mensen in een sociaal isolement
- Sporters
- Deelnemers aan evenementen

De gevolgen kunnen warmteziekten, zoals warmte-uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte zijn. Dit kan leiden tot extra druk op de gezondheidzorg, meer ziekenhuisopnames, maar ook meer sterftegevallen. Door een hittegolf kan het sterftecijfer met 12 procent toenemen. Wat neerkomt op ongeveer 40 extra sterfgevallen per dag in tegenstelling tot een koudere periode in Nederland (Heusinkveld, 2017).

Volgens de kerncijfers van de GGD heeft 27% van de ouderen (boven 65 jaar) last van hart -en vaatziekten in Rotterdam. Daarnaast heeft ongeveer 32% van de inwoners van Rotterdam tussen de 19 en 65 jaar minstens 1 jaar een aandoening of ziekte gehad en bij ouderen is dit zelfs 58% (GGD, 2016). Gezien het toekomstbeeld van hitte is het belangrijk om tijdig te voorkomen dat deze problemen nog groter worden voor Rotterdam.

De gezondheidsproblemen kunnen herleid worden door te kijken naar de gevoelstemperatuur in de stad, echter zit er tussen hitte en gevoelstemperatuur wel een verschil. De gevoelstemperatuur kan namelijk hoger of lager liggen dan de daadwerkelijke temperatuur. Hittestress (en ook koudestress) ontstaat als er een onbalans is in aan- en afvoer van warmte vanuit het menselijk lichaam (Heusinkveld, 2017). Met een PET-kaart (Physiological Equivalent Temperature) zoals in figuur 3 (bijlage 2 in groot) te zien is kan de gevoelstemperatuur en relatie met de gezondheidsrisico en verblijfcomfort in kaart worden gebracht. Dit geeft een overzicht van de knelpunten in Rotterdam. Om te zorgen dat er minder gezondheidsproblemen door hitte wordt veroorzaakt, zal de gemeente Rotterdam in de toekomst moeten zorgen dat de gevoelstemperatuur omlaaggaat.



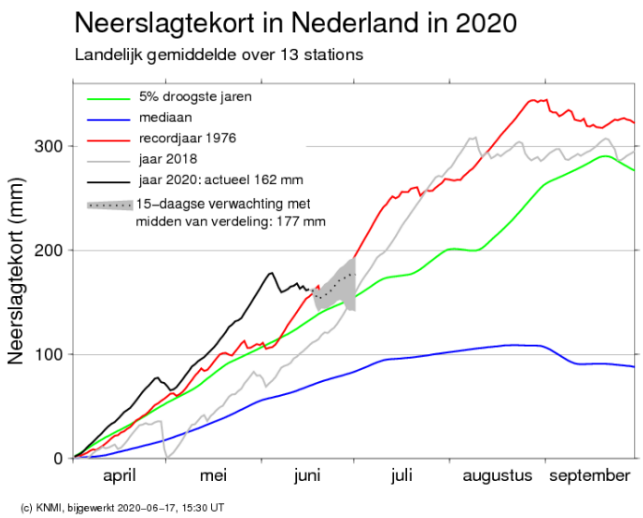
Figuur 3. Gevoelstemperatuur in relatie tot gezondheidsrisico en verblijfcomfort (Gemeente Rotterdam , 2020).

1.2.2 Klimaatopgave: Droogte

Warme periodes komen vaak in combinatie met periodes van droogte. In dit geval is sprake van een neerslagtekort (meer verdamping dan neerslag). Neerslagtekort kan voor grote problemen zorgen, zowel boven als onder de grond en in het oppervlaktewater. De grondwaterstand zal zakken en door blootstelling aan zuurstof kan er paalrot ontstaan. Het gevolg van paalrot is het verzakken en beschadigen van panden. Rotterdam telt ongeveer 20.000 panden op houten palen, waardoor het belangrijk is dat de grondwaterstand niet te laag mag komen te staan. Naast paalrot kan neerslagtekort ook zorgen voor een verslechterde waterkwaliteit, schade aan vegetatie (boomsterfte), schade aan veendijken en zorgen voor bodemdaling (Brolsma, Buma, van Meerten, Dionisio, & Elbers, 2012).

Huidige situatie neerslagtekort

In de grafiek hiernaast is het neerslagtekort van 2020 te zien (zwarte lijn). Deze grafiek geeft een indicatie van de droogte en is gebaseerd op het verschil van de verdamping en neerslag. Het valt op dat eigenlijk vanaf het begin de lijn al boven het recordjaar van 1976 zit, terwijl de droge maanden nog moeten komen. Het andere wat opvalt is dat 2018 een erg droog jaar was met de droogste zomer sinds 1906. In deze zomer viel er gemiddeld 105 mm regen, terwijl het langjarige gemiddelde 225 mm is (KNMI, s.d.). Gezien de grafiek hiernaast is te verwachten dat 2020 nog droger wordt dan 2018 en misschien droger dan 1976. Dit hangt veel af hoe droog de zomer wordt.

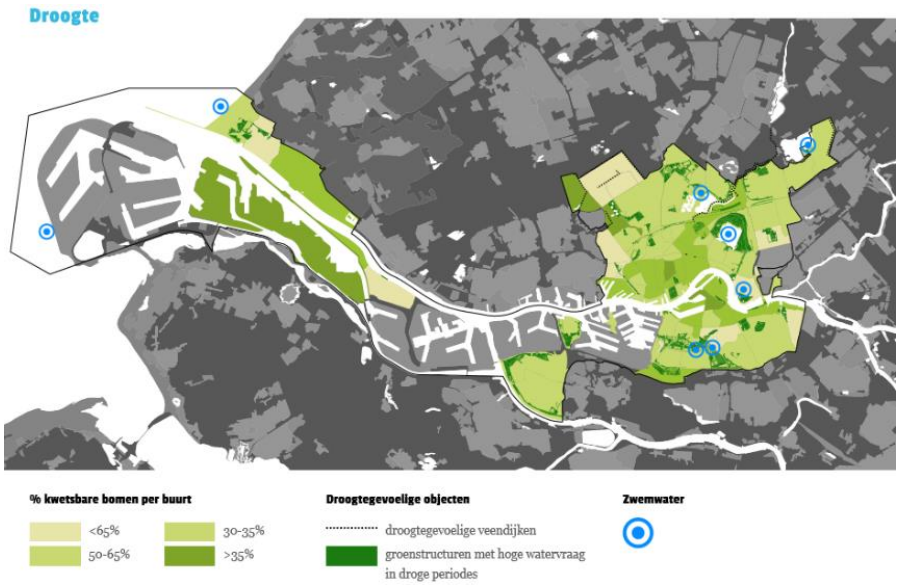


Figuur 4. Neerslagtekort in Nederland op 26-5-20 (KNMI, 2020).

Huidige situatie droogte in Rotterdam

Rotterdam ondervindt al vele problemen door droogte, waarbij de daling van grondwaterstand zorgt voor bodemdaling. Aangezien de grondwaterstand in Rotterdam gemiddeld tussen de 1 en 1.5 meter onder maaiveld zit, is er weinig spelling voor het grondwater om te zakken (de Doelder, 2020).

Vervolgens zorgt droogte ook voor een verslechterde waterkwaliteit. Voornamelijk tijdens warme droge periodes tussen de 20-30 graden, is er een grotere kans dat bacteriën zoals blauwalg sneller groeien in het oppervlaktewater. De waterkwaliteit en de ecologie, wordt hierdoor verslechtert, waardoor het zwemwater niet meer geschikt is voor recreanten (Wolfstein & Roukema, 2002). Zie zwemlocaties in het stedelijk gebied in figuur 5 (bijlage 3 in het groot).



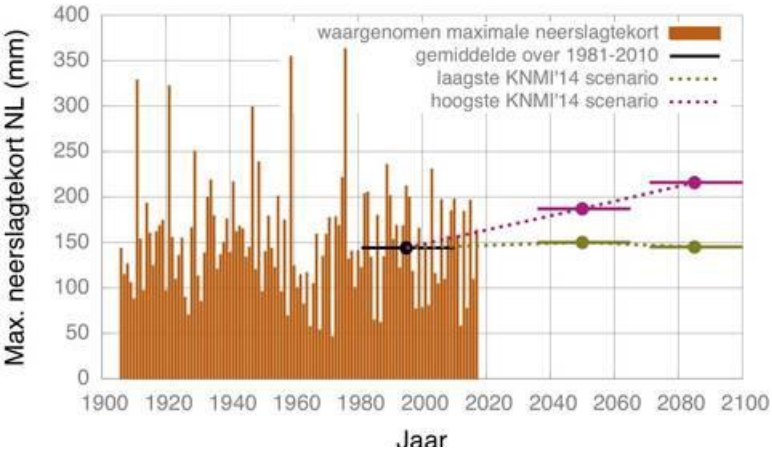
Figuur 5. Effecten droogte op huidige situatie (Gemeente Rotterdam, 2019).

Schade vegetatie

Tot slot zorgt droogte ook voor schade aan vegetatie. In figuur 5 is te zien op welke plekken Rotterdam gevoelig is voor droogte. Op sommige plekken is zelfs meer dan 35% kwetsbaar voor droogte. Voornamelijk bomen kunnen doodgaan door een te lage grondwaterstand (Gemeente Rotterdam, 2019).

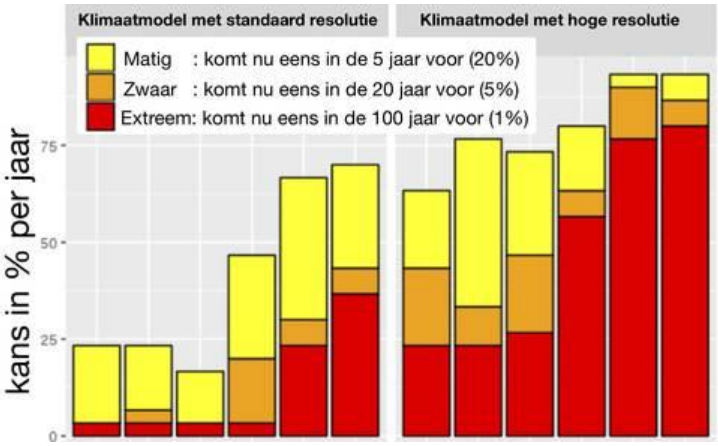
Toekomstige situatie droogte in Rotterdam

Als we kijken naar de klimaatscenario's uit 2014 van het KNMI wordt het volgens twee van de vier scenario's droger in de toekomst, waarbij de andere twee scenario's nauwelijks verschil zal zijn (zie figuur 6). Het is zeker dat Noord-Europa natter wordt en Zuid-Europa droger. Nederland zit hiertussen, maar de verwachting is dat het eerder droger wordt dan natter. De toenemende hitte in Zuid-Europa zal ervoor zorgen dat er meer droge oostenwind onze kant opkomt. Op deze manier krijgen we een continentaal klimaat en wordt het droger (KNMI, 2020).



Figuur 6. Verwachte verandering in neerslagtekort tot 2100 (van der Linden & Selten, 2018).

Het wordt droger en het blijkt dat de verandering van het luchtdrukpatroon in het voorjaar een belangrijke oorzaak is. Volgens metingen is over de afgelopen jaren een hogere luchtdruk gemeten in Nederland. Een hogedrukgebied zorgt voor meer zon en hogere temperaturen, wat resulteert in meer verdamping. Daarnaast is er ook gemeten dan er minder neerslag valt, wat samen zorgt voor een neerslagtekort en een droger klimaat. Ook gezien de voorspellingen in figuur 7 voor 2100 is te zien dat de kans van extreme droogte hoger is. Hierbij is gebruik gemaakt van en klitmaatmodel met standaard resolutie (links) en met een fijnmaziger versie hiervan (rechts). Voor beide geldt een structureel neerslagtekort en grotere kans op droogte (van der Linden & Selten, 2018).



Figuur 7. Verwachting toenemende kans op droogte tot 2100 (van der Linden & Selten, 2018).

Kortom op basis van deze informatie kunnen we vaststellen dat de verwachting is dat het in. In bijlage 5 is de verwachte schade te zien volgens het onderzoek van de Klimaatschadeschatter. Voor dit onderzoek is er gekeken naar het meest extreme klimaatscenario W_h van het KNMI in de periode van 2018-2050.

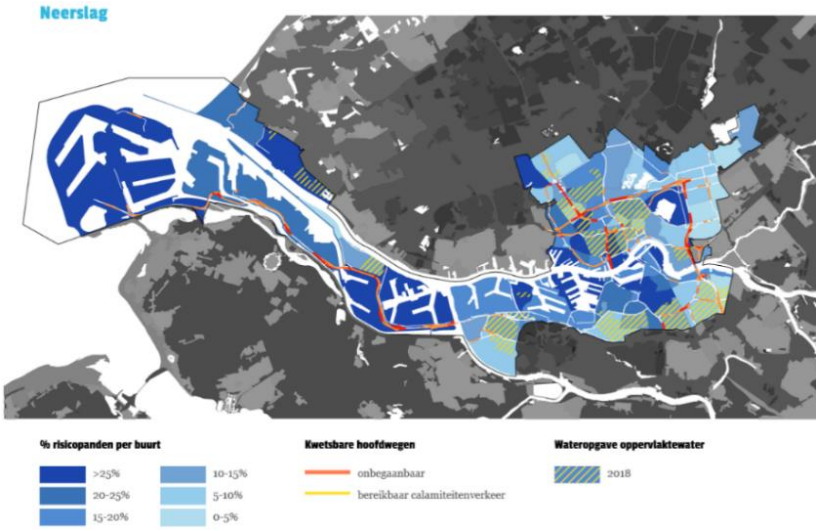
1.2.3 Klimaatopgave: Wateropgave

Klimaatverandering zorgt dat de wateropgave steeds groter wordt en voor Rotterdam in het speciaal. Het water komt namelijk van vier kanten: vanuit de zee, de rivieren, de lucht en uit de grond. De gemeente Rotterdam wil daarom Rotterdam robuuster maken voor de toekomst. Om deze reden is het Rotterdam WeerWoord opgesteld, waarin beschreven wordt hoe de gemeente zich samen met de bewoners wil inzetten voor een klimaat adaptief Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2019).

Huidige situatie wateropgave in Rotterdam

De gevolgen van de klimaatveranderingen zijn al zichtbaar en de heftige regenbuien in de afgelopen jaren (en maanden) tonen aan dat het watersysteem aan zijn grenzen zit. Er is vaker sprake van een hoge rivierstand waardoor het Noordereiland zal overstromen, kelders die als gevolg van hevige regenbuien onderlopen en problemen met grondwaterstanden zijn aan de orde van de dag (Gemeente Rotterdam , 2013).

In figuur 8 (bijlage 4 in het groot) is een kaart zien die is gemaakt aan de hand van een (model)berekening. Hierdoor is te zien in welke wijken een wateropgave is. Voor de (model)berekening is een bui van 70 mm in één uur gebruikt. Deze kaart geeft aan waar extreme neerslag problemen kan veroorzaken aan risicopanden, kwetsbare hoofdwegen en bij oppervlaktewater (Gemeente Rotterdam, 2019).



Figuur 8. Wateroverlast in Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2019).

Toekomstige situatie wateropgave in Rotterdam

Gezien de verwachtingen van het KNMI wordt de wateropgave door de klimaatverandering alleen maar groter wordt. In de tabel hieronder zijn de kerngetallen te zien, waarbij in elk scenario de gemiddelde jaarlijkse neerslag zal toenemen (KNMI, 2014). Volgens deze tabel zal gemiddelde neerslag per jaar van 851 mm tot 900 mm stijgen. De verwachting is dat er drogere zomers komen (tot -10%) en nattere winters (tot +17%). Het maximum uur neerslag per jaar neemt veel toe en kan oplopen tot 19 mm/uur (KNMI, 2014). Naar verwachting zal er dus een grotere druk op het watersysteem en voornamelijk de waterketen komen te staan. In bijlage 5 zijn de resultaten van het onderzoek van de Klimaatschadeschatter te vinden. Hierin wordt een schatting gemaakt van de schade voor de gemeente Rotterdam door wateroverlast voor de periode 2018-2050.

Seizoen	Variabele	Indicator	Klimaat 1981-2010 =referentieperiode	Scenario verandering voor het klimaat rond 2050 (2036-2065)			
				G_L	G_H	W_L	W_H
Wereldwijde temperatuurstijging:				+1 °C	+1 °C	+2 °C	+2 °C
Verandering van luchtstroompatroon:				Lage waarde	Hoge waarde	Lage waarde	Hoge waarde
Jaar	Neerslag	Gemiddelde	851 mm	+4%	+2.5%	+5.5%	+5%
Winter	Neerslag	Gemiddelde	211 mm	+3%	+8%	+8%	+17%
		Aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	55 dagen	-0.3%	+1.4%	-0.4%	+2.4%
		Aantal dagen ≥ 10 mm	5.3 dagen	+9.5%	+19%	+20%	+35%
Lente	Neerslag	Gemiddelde	173 mm	+4.5%	+2.3%	+11%	+9%
Zomer	Neerslag	Gemiddelde	224 mm	+1.2%	-8%	+1.4%	-13%
		Maximum uur neerslag per jaar	15.1 mm/uur	+5.5 tot +11%	+7 tot +14%	+12 tot +23%	+13 tot +25%
		Aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	43 dagen	+0.5%	-5.5%	+0.7%	-10%
		Aantal dagen ≥ 20 mm	1.7 dagen	+4.5 tot 18%	-4.5 tot +10%	+6 tot +30%	-8.5 tot +14%
Herfst	Neerslag	Gemiddelde	245 mm	+7%	+8%	+3%	+7.5%

Tabel 3. Kerncijfers van de klimaatscenario's rond 2050 (KNMI, 2014).

Weinig maatregelen tegen hitte en droogte
Voor de wateroverlast zijn al veel innovatieve oplossingen, zoals infiltratiekratten en waterpleinen, bedacht en toegepast. Vooralsnog zijn nog weinig maatregelen ontwikkeld om de effecten van hitte en droogte te verminderen. De huidige waterpleinen zijn primair ontworpen (gezien de klimaatopgave) om wateroverlast te verminderen, waarbij het systeem water kan opvangen, bergen en afvoeren. Ze zijn niet ontworpen om het water te kunnen hergebruiken voor droge periodes of voor verkoeling. Een waterplein is een voorbeeld hiervan, maar er zijn nog meer van dit soort concepten, waaronder de Stepwells. Dit is een eeuwen oud concept uit India, gebouwd om grondwater beschikbaar te maken, een waterberging te creëren en voor verkoeling te zorgen. Om de effecten van de klimaatopgaven van de voorgaande paragrafen op te lossen/te verminderen kunnen concepten zoals het waterplein en de Stepwells een goede oplossing zijn.

1.3 Het kennishiaat

Op dit moment is het nog onbekend wat de meeste doelmatige of efficiëntste manier is om in hoog stedelijk gebied met hitte en droogte om te gaan. Het is de vraag of waterpleinen en in het bijzonder Stepwells een oplossing zijn tegen deze problematiek. Het ontwikkelen van de nieuwe maatregel tegen hitte en droogte zal iets nieuws zijn binnen stedelijk waterbeheer. Het is daarom belangrijk om niet alleen rekening te houden met de voordelen, maar ook potentiele nadelen zoals: de veiligheid, kosten en de gezondheidsrisico's.

Het kennishiaat zit hierbij voornamelijk rondom het vereiste van de waterkwaliteit. Verontreinigd water kan namelijk voor grote problemen zorgen op de gezondheid van de gebruiker. Veel van de nieuwe concepten hebben nog geen wet- of regelgeving voor de waterkwaliteit, terwijl de gemeente wel verplicht is om op grond van de Wet publieke gezondheid zoveel mogelijk risico's dienen te voorkomen. Bij het ontwerpen van een nieuwe maatregel moet dit duidelijk in beeld worden gebracht (Schets, de Man, van Leuken, & de Roda Husman, 2017).

Probleemrelaties
In de tabel hieronder een overzicht van de verhouding van de problemen tegenover de thema's techniek, design en governance.

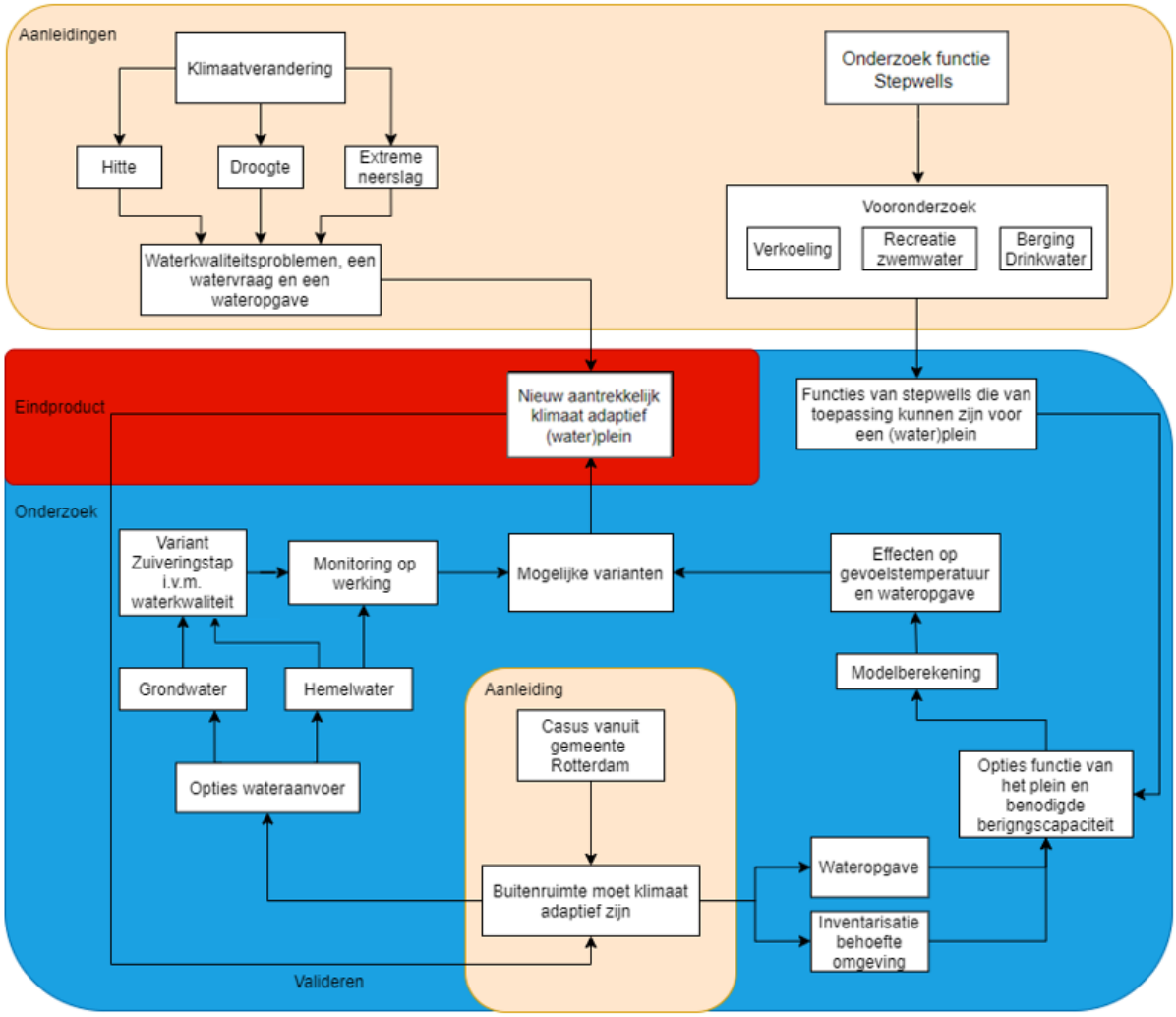
Probleem	Techniek	Design	Governance
Weinig maatregelen tegen klimaatopgave hitte en droogte	Het is onbekend of een soortgelijk systeem zoals een waterplein naast de wateropgave ook de klimaatopgave hitte en droogte oplossen of verminderen.	Het is onbekend hoe een nieuwe maatregel ontworpen kan worden tegen de klimaatopgave hitte en droogte.	Het is onbekend wat de waterkwaliteitsnormen van nieuwe maatregelen zijn.
Kennishiaat t.a.v. werking en effecten van Stepwells m.b.t. hitte, droogte en de wateropgave.	Het is onbekend welke effecten de Stepwells op de klimaatverandering, maar ook of ze toepasbaar kunnen zijn in Rotterdam.	Het is onbekend hoe de Stepwells verwerkt kunnen worden in de stedelijke omgeving van Rotterdam.	Er gelden binnen de gemeente Rotterdam meerdere beleidsmatige kwesties omtrent het toepassen van grondwater.

Afwegingskader voor een optimaal ontwerp van een klimaat adaptief waterplein bedoeld voor droogte, hitte en de wateropgave.	Het is onbekend welke kwantitatieve gegevens benodigd zijn om te bepalen hoe een waterplein optimaal ontworpen kan worden t.a.v. de hitte, droogte en de wateropgave.	Het is onbekend hoe een optimaal klimaat adaptief (water)plein ontworpen kan worden.	Het is onbekend welke wet en regelgeving gelden voor het ontwerpen van een (water)plein.

Tabel 4. Probleemrelaties in verhouding met de thema's techniek, design en governance.

Het conceptueel model

In het conceptuele model is een visuele weergave van de verwachte oorzaak-gevolgrelatie in het onderzoek. Hierbij zijn er drie starten punten: Klimaatverandering, onderzoek functie stepwells en casus/locatie vanuit de gemeente Rotterdam. Het resultaat is een nieuw concept van een aantrekkelijk adaptief (water)plein. Het resultaat zal uiteindelijk worden toegepast op de casus Driehoeksplein.



Figuur 9. Conceptueel model, beige = aanleiding, blauw = onderzoek en rood = eindproduct.

1.4 Beroepsproduct en doelstelling van het onderzoek

De gemeente Rotterdam wil een ontwerprichtlijn inclusief afwegingskader voor een multifunctionele adaptief (water)plein. Dit product kan worden beschreven als een blauwdruk voor het ontwerpen van klimaat adaptieve pleinen/buitenruimte en kan in de toekomst gebruikt worden bij planvorming voor diverse locaties. Hierbij is het doel van het onderzoek om vast stellen hoe de buitenruimte optimaal gebruikt kan worden om de effecten van piekbuien, droogte én hittestress integraal te verminderen.

Daarnaast is de doelstelling van het onderzoek om het afwegingskader te ontwikkelen om te bepalen hoe een plein/buitenruimte optimaal ontworpen kan worden om de klimaateffecten gedeeltelijk of helemaal te kunnen oplossen. Er zal onderzocht worden hoeveel effect Stepwells heeft op de (gevoels)temperatuur, de droogte en op de wateropgave, maar vooral of het geschikt is voor gebruik in Rotterdam. Van de Stepwells en twee andere alternatieve inrichtingen van pleinen zullen varianten worden gemaakt die aangepast zullen worden aan de stedelijke omgeving van Rotterdam. Uiteindelijk zal worden gekeken welk systeem het meest geschikt is als maatregel tegen hittestress, droogte en de wateropgave. De ontwerprandvoorwaarden voor het systeem zullen voortkomen uit het onderzoek en daarbij kan gedacht worden aan de waterkwaliteit en kosten.

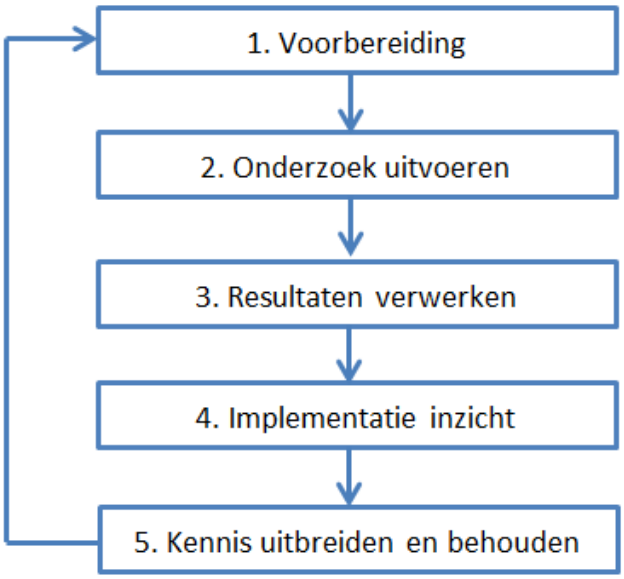
Tot slot zal het resultaat gebruikt worden voor de casus van het Driehoeksplein. Het Driehoeksplein is in het vooronderzoek uitgekozen, omdat het op zomerse dagen een hoge gevoelstemperatuur heeft en in april 2020 planvorming over herinrichting gestart is. Op deze manier kan bepaald worden wat de effecten zijn op de hittestress, droogte en de wateropgave. Als het blijkt dat he systeem goed werkt heeft hierdoor een betere potentie om toegepast te worden op meerdere locaties in Rotterdam.

1.5 Onderzoeksopzet

Aan de hand van de probleemstelling en het kennishiaat is het beroepsproduct bepaald. In deze paragraaf wordt opeenvolgend de onderzoeksmethodes gedefinieerd, onderzoeksvragen benoemd en de afbakening beschreven.

1.5.1 Onderzoeksmethoden

Voor dit onderzoek is aan de hand van literatuurstudie, presentaties en interviews, voorspellend en ontwerpend onderzoek gedaan naar een klimaat adaptief (water)plein. De voorspellende factor heeft te maken met de onzekerheden van het ontwerpen van een nieuwe maatregel tegen hittestress, droogte en de wateropgave. Met behulp van de beschikbare literatuur, referentieprojecten, kennis van specialisten binnen de gemeente Rotterdam en kennis vanuit de opleiding Watermanagement zijn om deze redenen voor bepaalde onderdelen aannames en voorspellingen worden gedaan. Uit het vooronderzoek zijn de hoofd -en deelvragen afgeleid.



Figuur 10. Volgorde van het onderzoek (Valkenburg, 2016).

1.5.2 De onderzoeksvragen

Aan de hand van de doelstellingen en ambities van de gemeente Rotterdam, de problemen en het kennishiaat zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld.

Hoofdvraag:
Hoe ziet het optimale ontwerp eruit voor pleinen/buitenruimte in Rotterdam om de gevolgen van hitte, droogte én wateroverlast te verminderen?

Deelvragen:
1. Welke alternatieven inrichtingen van (water)pleinen zijn er om de opgaven van klimaatverandering in Rotterdam te verminderen?
2. Welk programma van eisen en wensen is belangrijk om rekening mee te houden bij het ontwerpen van een (water)plein in Rotterdam?
3. Welke maatregelen kunnen toegepast worden bij het ontwerpen van een adaptief (water)plein?
4. Wat is de optimale variant om een plein/buitenruimte in Rotterdam op een innovatieve multifunctionele manier klimaat adaptief in te richten?

Aan de hand van deze vragen zal een antwoord gegeven worden op de gestelde hoofdvraag en zullen er aanbevelingen gedaan worden.

1.5.3 Afbakening

Om te bepalen wat het optimale ontwerp voor een klimaat adaptieve buitenruimte is, worden de varianten beoordeeld op de criteria: kosten, veiligheid en gezondheid, beheer en onderhoud, schaalbaarheid, recreatie/impuls buitenruimte en het effect op klimaatopgaven. Deze criteria bepalen de score van het ontwerp en geven een indicatie hoe goed het systeem kan werken in de praktijk.

Het succes van het ontwerp in de praktijk hangt sterk af van deze criteria. Om te zorgen dat deze criteria goed onderbouwd kunnen worden en het onderzoek uitvoerbaar te houden, zijn er voor twee onderdelen versimpelde berekeningen gemaakt. Dit geldt voor de kosten en de effecten op hitte en droogte. Voor de kosten is een kostenraming gemaakt, waarbij het mogelijk is dat niet alle kosten overheen komen met de praktijk. Er is binnen het tijdbestek van dit onderzoek een optimale kostenraming gemaakt in samenwerking met Martin van Loenen (constructeur bij de gemeente Rotterdam). Daarnaast zijn de effecten op de klimaatopgave: hitte en droogte berekend a.d.h.v. literatuur. Idealiter was er praktijkonderzoek uitgevoerd van soortgelijke situaties, waarbij de nauwkeurigheid van de effecten beter onderbouwd hadden kunnen worden. Door het COVID-19 virus zijn deze practicums helaas niet uitgevoerd.

Ook zijn er voor dit onderzoek geen stakeholders betrokken. Het succes van het optimaal ontwerp kan in de praktijk afhangen van het draagvlak van stakeholders. Wegens het COVID-19 virus was het niet uitvoerbaar om interviews of enquêtes af te nemen.

Daarnaast worden er bij de maatregelen van het ontwerp geen rekening gehouden met levensduur van de maatregelen, omdat dit voorbeelden zijn die nu gebruikt kunnen worden en wellicht zijn er in de toekomst betere opties beschikbaar.

1.6 Leeswijzer

Aanvullend op dit inleidende hoofdstuk wordt in deze paragraaf het vervolg van deze scriptie beschreven. Hoofdstuk 2 worden verschillende alternatieven inrichtingen van pleinen beschreven. Per inrichting worden de effecten op de klimaatopgaven op een kwalitatieve manier beschreven en er wordt voorbeeld uit de praktijk benoemd. Het 3^{e} hoofdstuk gaat in op het programma van eisen en wensen omtrent het ontwerpen van een (water)plein. Vervolgens worden er in hoofdstuk 4 voorbeelden van maatregelen benoemd en beschreven. Uit deze selectie maatregelen kan een keuze worden gemaakt bij het ontwerpen van een (water)plein. Met deze maatregelen zijn er in hoofdstuk 5 varianten ontworpen die worden beoordeeld aan de hand van een Multi-Criteria-Analyse (MCA). De variant met de hoogste score wordt toegepast op de casus Driehoeksplein om te bepalen wat de effecten kunnen zijn in de praktijk. Vervolgens zijn in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen beschreven. Er wordt afgesloten met een discussie en reflectie in hoofdstuk 7.

2 Alternatieve inrichtingen voor een (water)plein

Pleinen kunnen op veel verschillende manieren worden ingericht. Er bestaan over de wereld een aantal voorbeelden die zijn gebruikt om steden af te koelen of mensen verkoeling te bieden, waaronder de Stepwells uit India. Voor deze deelvraag is gekeken naar 3 verschillende soorten pleinen: een verdiept plein, een verhard plein en een onverhard plein. Het gaat hierom de Stepwells, het waterplein en een groenplein. Per alternatieve inrichting wordt een algemene beschrijving gegeven, de effecten op de opgaven van klimaatverandering en een voorbeeld uit de praktijk.

Deelvraag: Welke alternatieven inrichtingen van (water)pleinen zijn er om de opgaven van klimaatverandering in Rotterdam te verminderen?

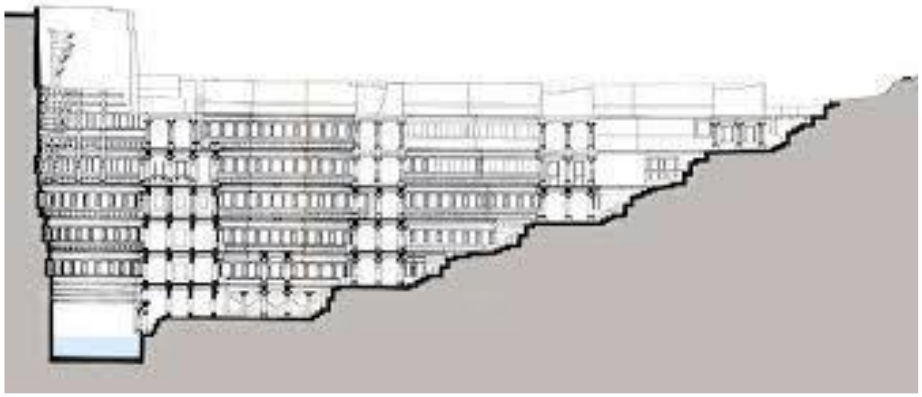
2.1 Stepwells

Stepwells is een concept, dat al eeuwen gebruikt wordt in India voor verkoeling, drinkwater en waterberging in het regenseizoen, oftewel hitte, droogte en piekbuien. Sommige Stepwells worden ook gebruikt als een plek om goden te eren. Er zijn vele benamingen voor een Stepwells, maar over het algemeen wordt er naast Stepwells ook Boari, Baoli, Kunds of Vav gebruikt. Het principe van Stepwells is dat de temperatuur van het water en de optredende verdamping voor verkoeling zorgt, waarbij het waterniveau fluctueert door de aanvoer van hemelwater en grondwater. De trappen van de Stepwells zorgen ervoor dat men elk waterniveau kan bereiken (Black, s.d.). Stepwells zijn rechthoekig, cirkelvorming of L-vormig ontworpen en vaak gebouwd van metselwerk, baksteen of puin. Het ontwerp van de Stepwells hangt veel af van de ontwerper, maar geen enkele Stepwell is identiek aan een andere Stepwell (Lautman, 2014).

Stepwells zijn in oppervlak en diepte erg verschillend in vergelijking met de waterpleinen in Rotterdam. Dit komt omdat in India het grondwater dieper onder het maaiveld ligt. De Stepwells zijn gebouwd om dit diepe grondwater te bereiken. Op deze manier is er altijd water beschikbaar en is er minder afhankelijkheid van het seizoen. Het nadeel van Stepwells is dat de waterkwaliteit erg slecht is. Dit komt voornamelijk door stilstaand water, waardoor er bacteriologische groei kan ontstaan (Shah, 2020).

Figuur 11. Surya Kund of de Modhera stepwell in India (Culture trip, 2020).

In de dwarsdoorsnede hieronder is een voorbeeld te zien van een Stepwell met een diepte van 20 meter en een lengte van 64 meter (Kamiya, 2015). Het water onderaan de dwarsdoorsnede staat precies op de freatische waterstand. Stepwells worden erg groot gedimensioneerd om te zorgen dat er voldoende waterberging beschikbaar is in het regenseizoen. De berging van de Stepwells kan oplopen tot duizenden m^3 (Shah, 2020).



Figuur 12. Doorsnede Queen's Stepwell (Ranki VAV) (Kamiya, 2015).

2.1.1 De effecten op hitte, droogte en de wateropgave

Stepwells is een concept, dat anticipeert op droogte, hitte én piekbuien. De verkoeling wordt voornamelijk gecreëerd door het koele grondwater en doordat het zich onder het maaiveld bevindt. De temperatuur van grondwater onderdaan de Stepwell is gemiddeld zo'n 10 á 15 graden. Hierdoor heeft de Stepwells een verkoelend effect op de gevoelstemperatuur. Ook wordt het water deels verdampt (mits er genoeg latente warmte is). Deze verdamping zorgt ervoor dat de gevoelstemperatuur afneemt en kan in totaal met zo'n 12 graden dalen. De Stepwells worden ook soms gebruikt als zwemwater. Dit gebeurt steeds minder vanwege de slechte waterkwaliteit en grote kans op besmetting (Shah, 2020).

Daarnaast functioneren Stepwells ook goed in droge periodes. Aangezien Stepwells gebouwd zijn om het grondwater te bereiken is er ook water beschikbaar in droge periodes. Dit is wel afhankelijk van de fluctuatie van de grondwaterspiegel. Als de grondwaterspiegel daalt moet de stepwells nog dieper gemaakt worden. Tot slot kunnen de Stepwells helemaal gevuld worden met hemelwater, waardoor dit concept ook voordelen heeft ten opzichte van de wateropgave.

2.1.2 Voorbeeld (verbeterde variant) Stepwells: Khel Kunds

In de afgelopen jaren is in India een nieuwe variant ontworpen genaamd Khel Kund. Deze variant is de verbeterde versie van de oorspronkelijke Stepwells, omdat het water niet blijft stilstaan is het beter voor de waterkwaliteit. Kunds betekent waterreservoir en Khel betekent recreatie/sport. Khel Kunds zijn ontworpen ter inspiratie aan de traditionele Stepwells (of Kunds). Een belangrijk doel van de Khel Kunds is dat deze waterlichamen worden gebruikt voor verschillende religieuze en sociaal-culturele activiteiten zoals onderdompeling, bloemenaanbod aan waterlichamen. Door de Khel Kunds hoeven deze activiteiten niet uitgevoerd te worden in rivieren, meren of vijvers, waardoor besmettingen voorkomen kunnen worden (Aangan Architects, Surat, 2020).

Daarnaast zal het nieuwe concept ook werken als waterreservoirs. Hierbij zal het water in de Khel Kunds langzaam infiltreren in de bodem, waardoor de grondwaterspiegel zal stijgen. Doordat de grondwaterspiegel erg diep onder het maaiveld ligt is er veel bergingsruimte voor het hemelwater. In het resterende drogere deel van het jaar worden de Khel Kunds gebruikt voor recreatie (zie voorbeelden hiernaast). Met festiviteiten kunnen de Kunds kunstmatig worden gevuld en als vijvers worden gebruikt. De waterdiepte zit hierbij tussen de 1.5 en 2.5 meter diep (Aangan Architects, Surat, 2020).

Figuur 13. Verschillende mogelijkheden voor Khel Kunds (Aangan Architects, Surat, 2020).

Belangrijkste voordelen van Khel Kunds in Surat City:

- Oplossing besmetting van natuurlijke waterlichamen
- Meer waterinfiltratie en dus hogere grondwaterstand
- Waterberging om wateroverlast te verminderen
- Minder kans op besmettingen dan originelen Stepwells
- Recreatiemogelijkheden

Belangrijkste nadelen van Khel Kunds in Surat City

- Het plein is verhard en daardoor gevoelig voor opwarming (ook ‘s nachts)
- Khel Kunds zijn niet ontworpen om het droogte probleem te verminderen
- Hemelwater kan niet direct infiltreren, waardoor Khel Kunds kunnen vollopen en voor wateroverlast kunnen zorgen
- Water wordt niet hergebruikt (lineair watersysteem)
- Waterdiepte kan voor verdrinkingsgevaar zorgen

2.2 Het Waterplein

Afgelopen jaren heeft de gemeente Rotterdam de focus gelegd op waterpleinen, omdat waterpleinen gezien worden als een maatregel om verschillende doelstellingen te behalen én waarde te creëren in de buitenruimte. De waterpleinen werden in Waterplan 2 (2007) genoemd als manier om water in de stad te bergen en de aantrekkelijkheid van de buitenruimte te verbeteren (Gemeente Rotterdam , 2013). Vervolgens werden er in 2012 en 2013 de eerste twee waterpleinen gerealiseerd. Dit betreft Bellamyplein in Spangen en Benthemplein in de Agniesebuurt, waarbij het Benthemplein het eerste grootschalige waterplein van de wereld werd. Daarna zijn er nog verschillende varianten ontworpen, waaronder het Fredriksplein, het Multatuliplein, het Staringplein en het Johan-Ida-plein (Doelder B. d., 2015).

2.2.1 De effecten op hitte, droogte en de wateropgave

Hoofdzakelijk zijn waterpleinen ontworpen om meer waterberging te creëren in de stad. Zoals al eerder werd genoemd heeft een waterplein alleen effect op de wateropgave, maar in praktijk kan het ook effect op de andere opgaven. Een waterplein creëert namelijk een berging van hemelwater, waarbij het water gecontroleerd kan worden afgevoerd. Op deze manier wordt er geen water verspild aan verdamping of afstroming, waardoor het indirect ook effect heeft op de droogte. Daarnaast kan het hemelwater op het waterplein ook voor verkoeling zorgen door verdamping (Pohl, Schenk, Rodenburg, Vergroesen, & Buijs, 2014).

2.2.2 Voorbeeld Waterplein: het Benthemplein

Het waterplein Benthemplein ligt in de Agniesebuurt en is het grootste waterplein in van Rotterdam. Rondom het plein zijn er scholen van het voortgezet onderwijs en een kerk. De daken van deze gebouwen zijn afgekoppeld op het waterplein, zodat het plein gevuld kan worden met hemelwater. Het plein bestaat uit twee ondiepe kleinere bassins en één diep bassin wat gebruikt kan worden als sportveld. In totaal heeft dit waterplein een waterberging van 1.485 m^3 (Doelder d. B., 2014).

Daarnaast wordt er bij het Benthemplein gebruik gemaakt van een systeem met gemalen. Elk bassin heeft zijn eigen gemaal en kan gebruikt worden om het hemelwater af te voeren naar het rioolstelsel. Het water kan ook o.b.v. vrij verval naar de infiltratiekratten worden afgevoerd. De infiltratiekratten hebben een totale berging van 130 m^3 en worden gebruikt om het hemelwater te infiltreren in het grondwater. Voordat het hemelwater wordt afgevoerd naar de infiltratiekratten is er een first flush, zodat er zo min mogelijk vuilwater in de kratten komt (Doelder d. B., 2014).

Figuur 14. Het Benthemplein met een berging van 1.700 m^3 (De Urbanisten , 2012).

Belangrijkste voordelen van een waterplein:

- Oplossing wateropgave in de stad
- Daken van omliggende gebouwen worden afgekoppeld, waardoor het riool gedeeltelijk wordt ontlast
- Recreatiemogelijkheden
- Hemelwater wordt bij hevige regenval geïnfiltreerd via infiltratiekratten in het grondwater

Belangrijkste nadelen van een waterplein:

- Het plein is verhard en daardoor gevoelig voor opwarming (ook ‘s nachts)
- Multifunctioneel gebruik maar monofunctioneel ontworpen voor klimaatopgaven
- Het plein is lastig om schoon te maken (beheer en onderhoud)
- Water wordt niet hergebruikt (lineair watersysteem)

2.3 Een Groenplein

Een andere inrichting is een Groenplein. De gemeente Rotterdam wil komende jaren werken aan de robuustheid van de stad. Door het verminderen van het verhard oppervlak en het aanbrengen van meer groen kan dit gerealiseerd worden (Gemeente Rotterdam, 2019). Een Groenplein kan hiervoor een oplossing zijn. Een Groenplein is eigenlijk een plein/buitenruimte omgevormd tot een klein park met extra waterberging. Een goed voorbeeld is het Staringplein, waarbij een combinatie is gemaakt met een waterplein en groen. Het groen heeft vele voordelen, zo heeft het effect op de luchtkwaliteit, de hittestress, wateropgave, de leefbaarheid en meerwaarde van de omgeving en het kan ook stress reducerend werken (Hiemstra, de Vries, & Spijker, s.d.).

2.3.1 De effecten op hitte, droogte en de wateropgave

Een Groenplein heeft effect op de hittestress en wateropgave, maar ook gedeeltelijk op de droogte. Groen koelt voornamelijk de omgeving af door schaduwvorming (bomen) en door verdamping van water. Uit onderzoek blijkt dat 10% meer groen kan zorgen voor een gemiddelde afnamen van 0,6 graden Lokaal kunnen gras en struiken zorgen voor een luchttemperatuur daling tussen de 0,9 en 1,2 graden, waarbij de gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 0,4 en 4,9 graden (Takebayashi & Moriyama, 2009). Bomen kunnen zelfs lokaal zorgen voor een luchttemperatuur daling tussen de 0,7 en 2,7 graden en een de gevoelstemperatuur daling tussen de 3,4 en 19 graden (Nouri Santos & Matzarakis, 2019). Voor gras en struiken geldt een mogelijke luchttemperatuur daling tussen de 0,9 en 1,2 graden en van de gevoelstemperatuur een daling tussen de 0,4 en 4,9 graden (Takebayashi & Moriyama, 2009).

Vervolgens heeft een groenplein effecten op de wateropgave en de droogte, omdat het zorgt dat het hemelwater kan infiltreren in de bodem, waardoor het water geborgen kan worden en de grondwaterspiegel zal stijgen. Daarnaast kan groen er ook voor zorgen dat de problemen van droogte groter worden, omdat het groen zelf ook een watervraag heeft (van Iersel, 2020).

2.3.2 Voorbeeld Groenplein: het Staringplein

Een voorbeeld van een Groenplein is het Staringplein in Delfshaven te Rotterdam. Dit plein is in 2019 heringericht met een krattenveld. In de omgeving is verhard oppervlak afgekoppeld en aangesloten op het plein. Op deze manier wordt de wateropgave uit de omgeving verminderd en kan het hemelwater infiltreren in de ondergrond. Daarnaast zorgt dit systeem voor een vertraging van de cyclus van het hemelwater en hierdoor wordt het riool ontlast. Dit heeft vervolgens ook nog een positief effect op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater, omdat het riool minder zal overstorten (Geitenbeek & van der Linden , 2020).

Figuur 15. Impressietekening van het Staringplein (de Doelder, Beheer en onderhoud, 2020).

Door het krattenveld heeft het Staringplein een totale berging van berging 143,5 m^3 en zal de berging gezien bijlage 6 eens in de 2 jaar vol zijn. Bij neerslag van meer dan 16 mm zal het water via een overstort naar het gemengde riool worden afgevoerd, dus het plein is niet gedimensioneerd op extreme buien (Geitenbeek & van der Linden , 2020).

Daarentegen zorgt het plein wel voor een verminderen van de wateroverlast voor ongeveer 11.000 m^2 en aangezien het plein zelf zo'n 800 m^2 groot is, heeft het enorm veel effect op de omgeving.

Belangrijkste voordelen van een Groenplein:

- Hittestress wordt verminderd
- Oplossing wateropgave in de stad
- Afgekoppeld oppervlak kan worden afgekoppeld, waardoor het riool gedeeltelijk wordt ontlast
- Waterkwaliteit van oppervlakte wordt verbeterd
- Recreatiemogelijkheden
- Verbeterd de leefbaarheid en meerwaarde van de omgeving

Figuur 16.Voorbeeld groenplein (Plan Mooi Markelo , 2017).

Belangrijkste nadelen van een Groenplein:

- Het plein is niet gedimensioneerd op extreme buien
- Beheer en onderhoud onder het plein is lastig
- Het droogteprobleem kan groter worden

2.4 Samenvatting effect op klimaatopgaven

Alle drie de pleinen hebben hun voor -en nadelen, waarbij de pleinen in sommige aspecten op elkaar lijken. Als er wordt gekeken naar de effecten op de klimaatopgaven kan het volgende overzicht worden gemaakt:

Plein	Hitte	Droogte	Water
Stepwells	Ja	Ja	Ja
Khel Kunds (nieuwe variant Stepwells)	Gering	Gering	Ja
Waterplein	Gering	Gering	Ja
Groenplein	Ja	Nee	Ja

Tabel 5.Overzicht op de klimaatopgaven.

Zoals te zien is in tabel 5 heeft alleen de originele Stepwells effect op alle klimaatopgave. Het nadeel van de Stepwells is dat een hele lage grondwaterspiegel nodig is, omdat de verkoeling voornamelijk ondergronds is. Rotterdam heeft hele hoge grondspiegel (zie paragraaf 1.2.2.), dus dit is niet mogelijk of het ontwerp moet aangepast worden. Daarnaast heeft een Groenplein effect op de hitte en de wateropgave, maar het kan ook een extra nadelig effect hebben op de droogte. Khel Kunds en het Waterplein zijn vergelijkbaar en hebben veel overeenkomsten, waarbij ze allebei met verdamping en infiltratie een klein aandeel hebben op de klimaatopgaven hitte en droogte.

3 Programma van eisen en wensen

In dit hoofdstuk wordt het programma van eisen en wensen omtrent het ontwerpen van een (water)plein beschreven. De eisen en wensen zijn afkomstig van gesprekken met specialisten binnen en buiten de gemeente Rotterdam, beleidsdocumenten, referentieprojecten, wetten en opgedane kennis binnen de bacheloropleiding Watermanagement.

Deelvraag: Welk programma van eisen en wensen is belangrijk om rekening mee te houden bij het ontwerpen van een (water)plein in Rotterdam?

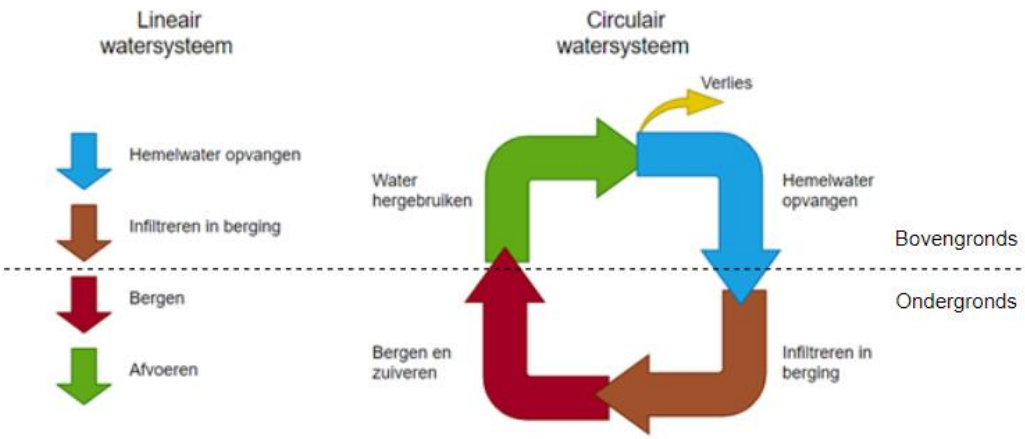
3.1 Het programma van eisen en wensen

De eisen en wensen van het (water)plein zijn gecategoriseerd per aspect. Alle eisen en wensen staan uitgeschreven in bijlage 7 en verdeeld in de volgende aspecten:

- Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte
- Sociale aspecten
- Gezondheid en veiligheid
- Recreatie op het (water)plein
- Beheer en onderhoud
- Kosten en duurzaamheid
- Technische aspecten
- Overige aspecten

3.1.1 Algemene beschrijving

Het programma van eisen en wensen in bijlage 7 geeft de randvoorwaarden en limieten van het ontwerpen van een (water)plein weer. Over het algemeen is het belangrijk om aan alle eisen en wensen te voldoen, maar sommige eisen en wensen zijn situatie gebonden. Een watersysteem kan ook lineair of circulair ontworpen worden (zie figuur 17). Bij een lineair watersysteem is er minder kans op blootstellingen van verontreinigd water, dus gelden er andere eisen. Aangezien ieder type water en ieder type vorm van afvoer, berging of infiltratie een eigen wet en regelgeving heeft omtrent waterkwaliteit. Binnen het programma van eisen en wensen zijn veel van dit soort gevallen. Het is daarom belangrijk om als ontwerper de volledige lijst goed toe te passen op de locatie specifieke situatie.



Figuur 17. Lineair en circulair watersysteem (Breevoort).

Daarnaast gelden er per aspect ook een aantal belangrijke focuspunten die altijd gelden. Dit zijn belangrijke eisen en wensen, omdat ze belangrijk zijn voor de realisatie, het doel het: klimaat adaptie representeren of doordat ze door de specialisten van de gemeente Rotterdam sterk zijn aanbevolen.

Een aantal van deze belangrijke eisen en wensen zijn hieronder per aspect opgesomd. Voor de overige eisen en wensen zijn te vinden in bijlage 7, waarin ook de bronnen terug te vinden zijn.

Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte

- Het (water)plein mag geen structurele nadelige gevolgen van een te lage of te hoge grondwaterstand veroorzaken (eis)
- Het (water)plein moet het overtollig regenwater inzamelen en verwerken naar oppervlaktewater, grondwater of naar het riool (eis)

Sociale aspecten

- Het (water)plein wordt een plek van ontmoeting, waarbij de wensen van de stakeholders t.a.v. functies en inrichting zoveel mogelijk meegenomen worden (wens)

Gezondheid en veiligheid

- Water dat gebruikt wordt tegen verdroging of verkoeling (regen- of grondwater) zoals besproeiing mag niet microbiologisch verontreinigd zijn (eis)
- Er mag niet langer dan 36 uur water op het plein staan (eis)
- De functies op het (water)plein mogen niet kwetsbaars zijn voor de bezoekers (eis)

Recreatie op het (water)plein

- Het (water)plein moet minsten één recreatieve functie hebben (eis)

Beheer en onderhoud

- Voor oplevering is er een goedgekeurd beheerplan waarin afspraken over beheer & onderhoud zijn vastgelegd (eis)
- Het (water)plein moet zodanig ontworpen worden dat het beheer en onderhoud op het plein machinaal schoon gemaakt kan worden (eis)
- Bij voorkeur wordt het beheer en onderhoud uitgevoerd door stakeholders uit de wijk (wens)

Kosten en duurzaamheid

- De realisatie van het (water)plein moet binnen het budget passen (eis)
- Bij voorkeur combineren met andere projecten om het budget en waarde te vergroten (wens)

Technische aspecten

- De maximale waterhoogte van het (water)plein is 20 centimeter en kan worden begrensd door een overstort naar het riool of oppervlaktewater (eis)
- Waterberging gedimensioneerd op 50 mm in 1 uur (t=100 bui) (eis)
- Binnen 48 uur moet de berging weer beschikbaar zijn voor de volgende bui (eis)

Overige aspecten

- Het (water)plein moet multifunctioneel zijn (eis)
- Het droogte probleem mag niet groter worden, dus het regenwater wat opgevangen wordt door het (water)plein moet minstens voldoen aan de watervraag (bijvoorbeeld voor vegetatie) voor het (water)plein zelf (eis)
- Het (water)plein ontwerpen met een circulair watersysteem, waarbij water geborgen wordt en kan worden hergebruikt (wens)

4 Maatregelen voor het (water)plein

In dit hoofdstuk worden maatregelen beschreven die mogelijk in het ontwerp van het (water)plein toegepast kunnen worden en aan de doelstellingen van dit onderzoekrapport voldoen. De maatregelen zijn geselecteerd op hun toepasbaarheid en kunnen helpen bij de klimaatopgaven hitte, droogte en water. De selectie maatregelen zijn voornamelijk samengesteld waarvan aangetoond is dat ze goed werken in de praktijk. Daarnaast zijn er ook maatregelen uitgekozen die nog in proeffase zitten, omdat de gemeente Rotterdam in de toekomst potentie ziet in deze maatregelen.

Er is een verdeling gemaakt tussen specifieke maatregelen en standaard maatregelen, waarbij de standaard maatregelen gelden voor alle ontwerpen van het (water)plein en uit de specifieke maatregelen kan een keuze gemaakt worden door de ontwerper. De volledige lijst van maatregelen met beschrijving plus het doel en status werking zijn terug te vinden in bijlage 9.

Deelvraag: Welke maatregelen kunnen toegepast worden bij het ontwerpen van een (water)plein?

4.1 De maatregelen

In deze paragraaf worden de keuzes van maatregelen gegeven en er volgt per maatregel een korte toelichting. In de tabel hieronder staan de maatregelen onderverdeeld in water, wateraanvoer vanuit de bodem, schaduwvorming, wind en groen. Uit deze selectie kan gekozen worden welke maatregelen toepassend kunnen zijn voor het ontwerp van het (water)plein. Met kleuren worden aangegeven wat effect op de hitte, droogte en de wateropgave is. Blauw = wateropgave, rood = hitte, geel = droogte, groen = wateropgaven en hitte, oranje = wateropgave en droogte en bruin = wateropgave, hitte en droogte.

Maatregelen betreft	*Water*	*Wateraanvoer vanuit de bodem*	*Schaduw-vorming*	*Wind*	*Groen*
	Bedriegertjes	Urban Waterbuffer	Een dak	Coolkuip[1]	Wadi
	Verneveling	Stijghoogte en diepgrondwater	Groen dak	Mega ventilator	Vegetatie[2]
	Waterspeeltuin of natuurspeeltuin		Blauw dak		
	Grindkoffer		Kantelbaar dak		
	Infiltratiekratten		Tarpen of parasols		
	Bufferblocks				
	Watershells				

Tabel 6. De selectie specifieke maatregelen.

[1] Coolkuip kan ook onderverdeel worden bij water
[2] Bomen vallen onder vegetatie, maar kunnen ook onderverdeeld worden bij schaduwvorming

4.1.1 Maatregelen betreft water

Bedriegertjes

Bedriegertjes zijn kleine fonteintjes die zorgen voor verkoeling, waterpret (recreatie) en kunnen zorgen voor een impuls aan de buitenomgeving. Het nadeel van bedriegertjes is dat in de huidige praktijk gebruik wordt gemaakt van drinkwater. Met het gevaar op inname kan de gezondheid van de bezoekers in gevaar komen, indien het water verontreinigd is (de Man-van der Vliet, 2014). Hierbij gebruiken bedriegertjes ook veel drinkwater, waardoor het droogte probleem nog groter kan worden.

Figuur 18. Bedriegertjes (Fonteinopmaat, 2014).

Verneveling

Deze maatregel kan verkoeling bieden en de bezoekers kunnen het ook als recreatie ervaren. Het aandachtspunt van verneveling is de waterkwaliteit. Verneveling zorgt voor een hoge concentratie vocht door kleine microdruppeltjes te besproeien en deze druppeltjes kunnen makkelijk in de longen komen van de bezoekers. Dit is voornamelijk een gevaar voor de bacteriologische infectie, Legionella (Borella, Guerrieri, Marchesi, Bondi, & Messi, 2005).

Waterspeeltuin of natuurspeeltuin

Een waterspeeltuin zorgt voor verkoeling, recreatie en waterberging. Er kan gekozen wordt om de waterspeeltuin als waterbak te gebruiken voor berging of als een wadi (extra groen en berging). Het voordeel van een waterspeeltuin is de mogelijkheid om het systeem circulair te maken met een zuiveringstap en berging. Het water van de waterspeeltuin kan namelijk opgepompt worden uit de berging en op deze manier kan het water (theoretisch gezien) vaker worden gebruikt.

Figuur 19. Waterspeeltuin (ENCI, s.d.).

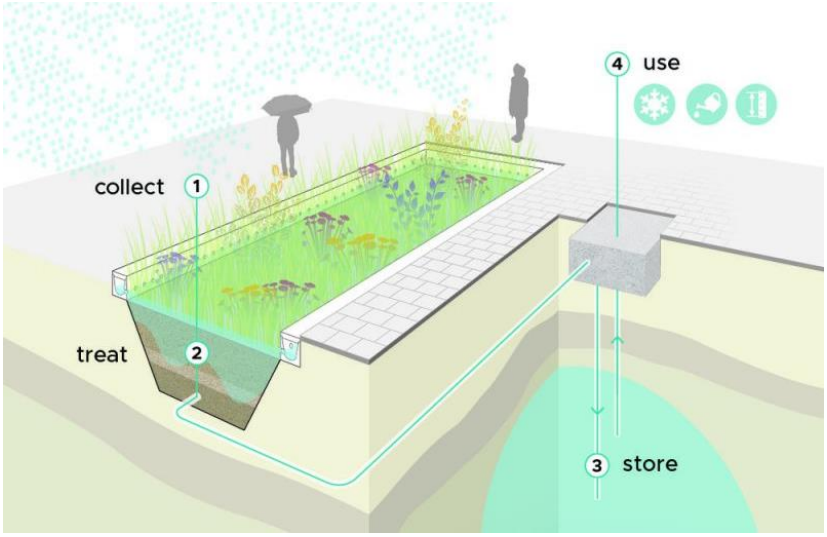
Grindkoffer
Een grindkoffer kan water bergen en infiltreert hemelwater in het grondwater. Daarnaast filtert het geotextiel rondom de grindkoffer slib en zand, waardoor het water nog zuiverder wordt. Hierdoor is de waterkwaliteit niet voldoende voor hergebruik als recreatie, want niet alle chemische stoffen en voornamelijk microbiologische bacteriën zullen verwijderd worden. Het voordeel van een grindkoffer is dat het eenvoudig op kleine schaal toe te passen (water)plein (van den Bogaard , 2020).

Infiltratiekratten
Infiltratiekratten kunnen net onder het maaiveld veel berging creëren en de wateropgave verminderen. Er wordt ook bij deze maatregel net als bij de grindkoffer geotextiel gebruikt om zand en slib tegen te houden (Beuker, s.d.). Het voordeel van deze maatregel is dat het goed te combineren val met zuiveringstechnieken van dezelfde fabrikant: Beuker en Fränkische. De infiltratiekratten van dit bedrijf worden al veel gebruikt door de gemeente Rotterdam en zijn ook goed bevonden.

Bufferblocks en Watershells
Bufferblocks en Watershells zijn ook ondergrondse bergingsmaatregelen. Het voordeel van deze maatregelen is dat ze makkelijk toepasbaar zijn, waarbij Bufferblocks gekozen moet worden als de grondwaterstand hoog is en Watershells als bovengronds vegetatie wordt geplaatst (geen bomen).

4.1.2 Wateraanvoer vanuit de bodem

De Urban Waterbuffer (UWB)
De Urban Waterbuffer is een circulair systeem heeft effect op de wateropgave, droogte en kan ook effect op de hitte. Het water wordt opgevangen, gezuiverd en geborgen voor drogere periodes (Field Factors, s.d.). Dit water kan bijvoorbeeld weer gebruikt worden voor directe verkoeling of voor groen wat uiteindelijk ook voor verkoeling zorgt.



Figuur 20. Werking Urban Waterbuffer (BTE Groeps, 2018).

Diepgrondwater gebruiken a.d.h.v. stijghoogte
Met deze oplossing kan in droge periodes eenvoudig water worden gewonnen, maar geen grote hoeveelheden. Het gewonnen grondwater water is van goede waterkwaliteit, maar wel zuurstofloos. Dit kan verholpen worden door bijvoorbeeld een bedriegertje te gebruiken, zodat het water kan beluchten. Het is goede oplossing voor gebieden waarbij de stijghoogte erg hoog is. Aangezien dit in Rotterdam niet overal het geval is kan deze maatregel niet optimaal werken zonder pomp (de Doelder, 2020)

4.1.3 Maatregelen betreft schaduwvorming

Een dak

Een dak zorgt direct voor verkoeling, maar kan ook voor extra berging en groen zorgen (groen en blauw dak). Het voordeel van een groen of blauw dak is dat het een zuiverende werking heeft en het snel herbruikbaar is (Broks & van Luijtelaar, 2015). Het dak kan ook kantelbaar worden gemaakt, waardoor het mogelijk is om onder het dak groen te plaatsen. Op deze manier kan bepaald worden op welke tijden zonlicht op het plein wordt toegelaten.

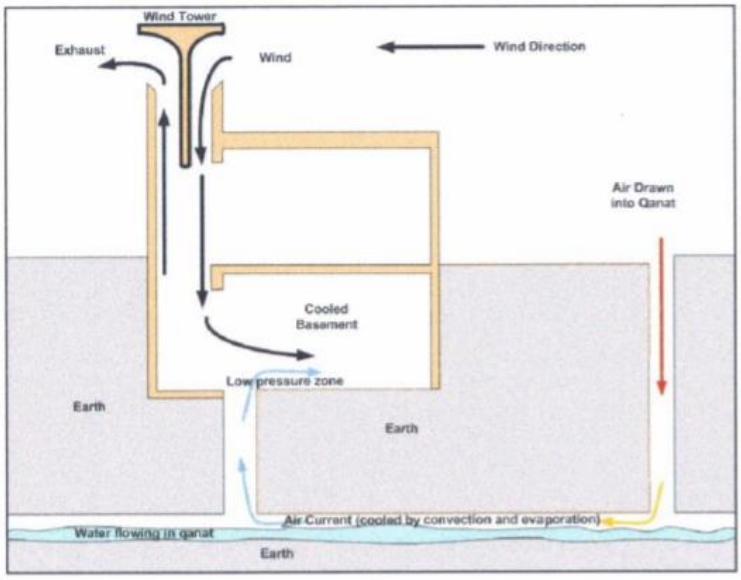
Tarpen of parasols

Tarpen en parasols zijn goede maatregelen om lokaal voor verkoeling te zorgen. Het voordeel is dat ze mobiel zijn en geplaatst kunnen worden wanneer het nodig is. Het nadeel van deze maatregelen is dat ze niet zo stevig en gevoelig voor vandalisme zijn.

4.1.4 Maatregelen betreft wind

De Coolkuip

Een Coolkuip zorgt voor verkoeling en vermindert de hittestress. Deze maatregel zit nog in de proeffase, maar de gemeente Rotterdam wil het in de toekomst gaan toepassen. Het voordeel van deze maatregel is dat het geen energie kost, er wordt geen afval gecreëerd en zijn er minimale gezondheidsrisico's (van Strijen , Coolkuip, 2020). Daarnaast is de Coolkuip goed te combineren met andere klimaat adaptieve maatregelen. In het figuur hieronder is een schematische werking te zien, waarbij het concept verwerkt is in een gebouw met een toren.



Figuur 21. Werking Coolkuip (van Strijen , Werking Coolkuip).

Mega ventilator

Een mega ventilator zorgt lokaal voor verkoeling. Deze ventilator kan tijdelijk geplaatst worden op extreem warme dagen om de hittestress te verminderen. Een nadeel van de ventilator is de elektriciteitsaansluiting en het verbruik (dit kan bijvoorbeeld wel in combinatie met zonnepanelen). Daarnaast moet de ventilator ook veilig zijn voor de gebruikers van het (water)plein en moet er bijvoorbeeld rekening worden gehouden met de afstand van de bezoekers tot de ventilator. Ook heeft de ventilator het nadeel dat het maar één kant kan opwaaien, waardoor het effect beperkt kan zijn.

4.1.5 Maatregelen betreft groen

Wadi met gras of beplanting

Een wadi is een goede maatregel om de wateropgave te verminderen en voor verkoeling te zorgen. De drainagebuis in de wadi zorgt ervoor dat het hemelwater afgevoerd kan worden naar andere gebieden met meer infiltratiecapaciteit. Op deze manier kan er veel berging worden gecreëerd (Rainproof, s.d.).

Vegetatie

Vegetatie heeft effect op de wateropgave en de hittestress. Hierbij zijn voornamelijk bomen een uitstekende toevoeging om lokaal de buitenruimte klimaat robuust te maken (Gemeente Rotterdam, 2019). De nadelen van vegetatie is dat er ook veel water benodigd is en er wordt ruimte in de ondergrond ingenomen door wortels.

4.2 De standaard maatregelen

De standaard maatregelen in de tabel hieronder worden in elk ontwerp op een locatie specifieke wijze opgenomen. Hier gaat het om de volgende maatregelen: infiltratiemogelijkheden naar het grondwater, zuivering van het opgevangen hemelwater en afgekoppeld oppervlakte van daken, wegen of straten. In de tabel hieronder zijn de maatregelen gecategoriseerd en de beschrijvingen zijn terug te vinden in bijlage 9.

Infiltratiemogelijkheden	Zuiveringstap	Afgekoppeld oppervlakte
Water passerende stenen	Sedisubstrator L	Daken
Grasbetontegels	Urban Rainshells	Straten/wegen
Gietrubber		

Tabel 7. Standaard maatregelen.

4.3 Waterkwaliteit en de maatregelen

De water gerelateerde maatregelen kunnen afhankelijk zijn van de waterkwaliteit en daarom is in het overzicht hieronder bepaald voor welk type water de maatregelen geschikt zijn. Deze afwegingen zijn gemaakt a.d.h.v. bijlage 8, waarin de risico's van de verschillende type water worden beschreven.

Maatregelen	Hemelwater	Afstromend hemelwater	Grondwater	Drinkwater
Bedriegertjes	Nee	Nee	Nee	Ja
Verneveling	Nee	Nee	Nee	Ja
Waterspeeltuin of natuurspeeltuin	Ja	Ja[3]	Ja[3 + 4]	Ja
De Urban Waterbuffer (UWB)	Ja	Ja	Ja[3 + 4]	Ja

Tabel 8. Mogelijkheden wateraanvoer a.d.h.v. de waterkwaliteit.

[3] Indien het water geen microbiologische ziekteverwekkers bevat (bijlage 8).
[4] Indien het grondwater niet verontreinigd is.

5 Multi-Criteria-Analyse voor een optimaal (water)plein

Voor deze deelvraag worden alle resultaten uit de voorgaande deelvragen gebruikt om te bepalen welk ontwerp van een (water)plein optimaal is voor de buitenruimte in Rotterdam. De varianten zullen worden beoordeeld a.d.h.v. een multicriteria analyse die gebaseerd is op het programma van eisen en wensen. Uit de selectie maatregelen van hoofdstuk 4 zijn drie varianten gemaakt om tot drie werkende systemen te komen. De keuzes van maatregelen zijn per variant afgestemd op de inrichting van de drie pleinen uit hoofdstuk 2: Stepwells, Waterplein en Groenplein.

Voor Stepwells is gekozen om als een verlaagde koelput te fungeren met trappen onder het maaiveld. Het Waterplein wordt gezien als een stenen plein bedoeld voor waterberging met maatregelen tegen droogte en hitte. Variant Groenplein is een plein met veel groen voor verkoeling en waterberging, waarbij de waterberging in droge periodes gebruikt kan worden.

De drie varianten zijn ontworpen om de klimaatopgaven droogte, hitte en de wateropgave te verminderen. In paragraaf 5.2 is het resultaat van de Multi-Criteria-Analyse te vinden.

Deelvraag: Wat is de optimale variant om een plein/buitenruimte in Rotterdam op een innovatieve multifunctionele manier klimaat adaptief in te richten?

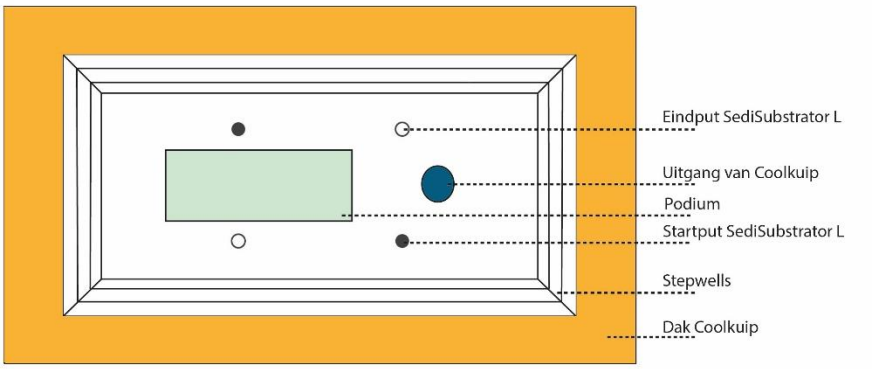
5.1 De varianten

Voor de varianten is gekozen voor (water)plein met een lengte van 30 meter en breedte van 20 meter, wat totaal neerkomt op een oppervlakte van 600 m^2. De berekeningen van de waterberging en de bakkenmodellen van alle drie de varianten zijn terug te vinden in bijlage 12. De criteria van Multi-Criteria-Analyse wordt per variant besproken, waarbij recreatie en impuls buitenomgeving gedeeltelijk verwerkt is bij het kopje werking van variant en beheer en onderhoud in bijlage 13. Vervolgens wordt er nog in bijlage 14 per variant teruggekoppeld op het programma van eisen en wensen.

5.1.1 Variant Stepwells

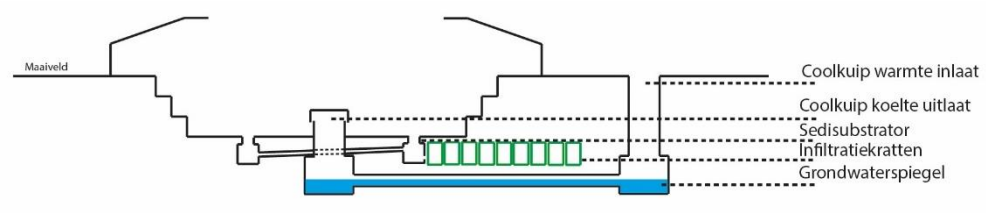
Deze variant heeft een lineair watersysteem en is geïnspireerd door de Stepwells uit India. In tegenstelling tot een normaal waterplein met als enige functie waterberging is deze variant ontworpen om ook voor verkoeling te zorgen en de effecten van droogte te verminderen. Daarnaast kan deze variant van Stepwells net als originele Stepwells gevuld worden met hemelwater.

Voor deze variant zijn de volgende maatregelen toegepast: de Coolkuip, infiltratiekratten en de Sedisubstrator L.



Figuur 22. Bovenaanzicht variant Stepwells (Breevoort).

Werking van variant
Het hemelwater gaat door vrij verval naar de zuiveringsinstallaties, de SediSubstrator L. Hier wordt het water gezuiverd en afgevoerd naar de infiltratiekratten (zie figuur 23). Het water wordt in de infiltratiekratten geborgen en kan infiltreren in het grondwater, zodat het grondwater aangevuld kan worden. Bij een grotere bui dan een t=100 bui zullen de infiltratiekratten vol zitten en wordt de Stepwell gevuld met hemelwater. Door een overlaat (naar het riool of oppervlaktewater) kan het water niet hoger komen dan de 1^{e} traptrede, wat neerkomt op de maximale waterhoogte-eis van 20 cm.



Figuur 23. Dwarsdoorsnede variant Stepwell met grondwaterstond ca. 1.5 meter (Breevoort).

Vervolgens werkt deze variant ook als Coolkuip. Hierbij wordt warme lucht op een andere locatie dichtbij het (water)plein ingelaten (door hogedruk verschil) en door de koelte van het water in de betonnen buizen afgekoeld. Het water in deze buizen ligt op de grondwaterspiegel en heeft dezelfde temperatuur als het grondwater van ongeveer 13 graden. De koude lucht komt er vervolgens weer bij de uitlaat van de Coolkuip uit. Door het dak en doordat het plein onder het maaiveld ligt kan de koude lucht blijven hangen.

Tot slot staat er een groot podium midden op het plein voor recreatiemogelijkheden zoals voorstellingen of presentaties. De bezoekers kunnen plaatst nemen op de trappen van de Stepwells.

Veiligheid en gezondheid
Deze variant heeft een lineair systeem, dus de kans op blootstelling van microbiologische ziekteverwekkers is niet groot. Het hemelwater wordt gezuiverd en vervolgens geïnfiltreerd in de bodem of in extreme gevallen afgevoerd naar het riool. De bezoekers kunnen wel met het water in aanraking komen als de Stepwells gevuld zijn.

Daarnaast moet er ook kritisch gekeken worden naar het hoogteverschil van de variant. Dit bedraagt van maaiveld tot de bodem 0,6 meter, wat voor een gevaar kan zorgen bij struikelen. Een waarschuwingsbord voor struikelgevaar is daarom verplicht.

Schaalbaarheid
De schaalbaarheid geeft aan in hoeverre de variant groter of juist kleiner kan worden gerealiseerd. Voor de variant Stepwells geldt dat het systeem op grotere schaal minder effectief wordt en dit heeft te maken met de capaciteit van de Coolkuip. Naarmate de ruimte groter wordt heeft de koele lucht van de Coolkuip niet genoeg tijd om het plein te vullen. Het effect wordt hierdoor grotendeels afgenomen (van Strijen). In hoeverre deze variant vergroot kan worden hangt dus af van de capaciteit van de Coolkuip.

Daarentegen kan deze variant nog wel verkleind worden. Hierbij zal het verkoelingseffect juist toenemen. Bij een verkleining kunnen er ook minder maatregelen worden toegepast, waaronder het zuiveringssysteem en de infiltratiekratten.

Kostenraming
Uit de kostenraming is berekend dat deze variant ca. 240.000 euro zal kosten (zie bijlage 15).

Effecten op de hitte
Variant Stepwells zorgt voor verkoeling door d.m.v. de Coolkuip. De exacte verkoeling van de Coolkuip is moeilijk te bepalen, omdat er nog veel duidelijkheid is over de effecten van deze maatregel. Door aan te nemen dat de luchttemperatuur afkoelt naar 13 graden is de verwachting dat de temperatuur in de Stepwells sterk kan afnemen. Uit onderzoek naar dit soort systemen is gebleken dat de temperatuur met 2 graden zal afnemen (Ahmed, Khan, Amanullah, Rasul, & Hassan, 2015). Daarnaast is ook de verwachting dat het systeem minder goed werkt naarmate de temperatuur buiten de Stepwells hoger wordt. Dit komt omdat de koude lucht in de Stepwells moet blijven “hangen” en door een overheersende warme temperatuur werkt dit niet.

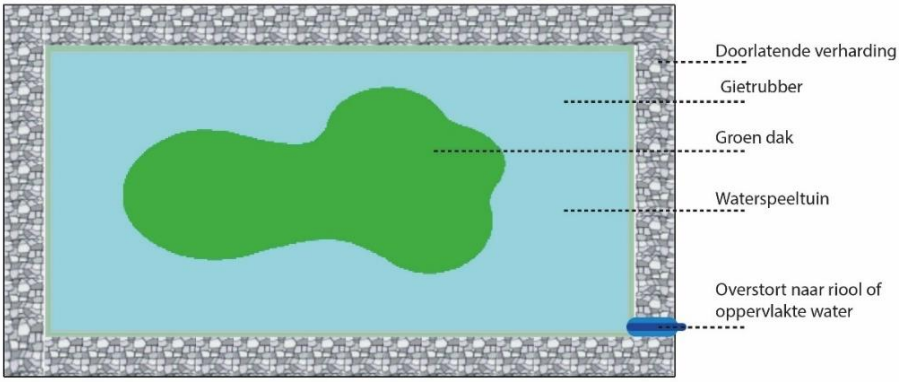
Effect op de droogte
Het hemelwater komt uiteindelijk via de SediSubstrator L in de infiltratiekratten, waarin het geborgen en vervolgens geïnfiltreerd wordt in het grondwater. Op deze manier wordt er geen water “verspilt” aan verdamping en kan het water gebufferd worden in de bodem. Dit helpt tegen de grondwaterdaling in de droge periodes.

Effect op de wateropgave
De eis uit het PVE is dat het plein een t=100 bui kan bergen, wat neerkomt op 50 mm in 1 uur. Er wordt vanuit gegaan dat het systeem alleen het hemelwater van het plein moet verwerken. Dit komt neer op 600 m^2 x 0,05 m = 30 m^3. Om een t=100 bui te kunnen opvangen zullen er 74 infiltratiekratten worden geplaatst, wat neerkomt op ongeveer 30 m^3 (zie berekening bijlage 12). Indien er een grotere bui valt dan een t=100 bui kan het water zich vullen in de Stepwells, waarbij het water tot de eerste traptrede komt. Dit zorgt voor een extra berging van zo’n 67 m^3, waardoor deze variant een totale berging van meer dan 97 m^3 heeft. Om deze reden is het mogelijk om extra afgekoppeld oppervlak van daken, wegen of straten toe te voegen aan het systeem.

In het systeem worden er twee zuiveringssystemen (SediSubstrator L) toegepast met een totale capaciteit van maximaal van 1.500 m^2 om aan te sluiten (Fränkische , 2018). Er kan dus voor deze variant maximaal 1.500 m^2 aan afgekoppeld oppervlak worden aangesloten. In bijlage 12 is een situatie met 1.500 m^2 afkoppelt oppervlak berekend m.b.v. een bakkenmodel, om het verschil te zien tussen een situatie met en zonder variant Stepwells.

5.1.2 Variant Waterplein

De variant Waterplein een circulair watersysteem, gebaseerd op originele Waterplein, maar dan met klimaat adaptieve maatregelen/toepassingen. Deze variant is ontworpen om waterberging te creëren, hittestress te verminderen en om water te hergebruiken in droge periodes. Vanuit het originele waterplein is de waterbergende functie meegenomen, waarbij het water tijdelijk op het kan plein staan.

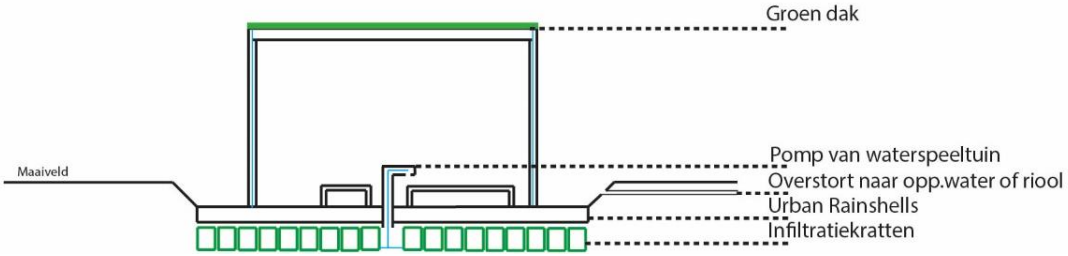


Figuur 24. Bovenaanzicht variant Waterplein (Breevoort).

Het plein bestaat uit een waterspeeltuin met op de bodem blauwwitte doorlatende gietrubber. Onder het plein ligt een laag Urban Rainshells met daaronder een infiltratiekratten. Om het plein ligt infiltrerende verharding om het hemelwater te kunnen infiltreren naar het grondwater. Op het plein is ook een overstort geplaatst die naar het oppervlaktewater of riool (afhankelijk van de locatie) wordt afgevoerd. Daarnaast is er nog een groen dak boven het Waterplein ter verkoeling.

Voor deze variant zijn de volgende maatregelen toegepast: een groen dak, Urban Rainshells, infiltratiekratten, doorlatende verharding en gietrubber.

Werking variant Waterplein
De bodem van gietrubber ligt 0,5 meter lager dan het maaiveld en daaromheen ligt infiltrerende verharding. Het hemelwater infiltreert naar de Urban Rainshells en wordt gezuiverd. Het gezuiverde water kan vervolgens geborgen worden in de infiltratiekratten (zie figuur 25). Om de infiltratiekratten zit PE folie om te voorkomen dat het water infiltreert in het grondwater. Indien de infiltratiekratten vol zitten en de Urban Rainshells zijn verzadigd zal het plein worden gevuld tot een maximum waterhoogte van 20 centimeter. Deze waterhoogte wordt begrensd met een overstort die afhankelijk van de locatie van het plein kan worden afgevoerd op het oppervlaktewater of het riool.



Figuur 25. Bovenaanzicht variant Waterplein (Breevoort).

Op het plein is een waterspeeltuin voor kinderen om met water te spelen. Het water uit de infiltratiekratten kan door de kinderen worden opgepompt om mee spelen in de waterbakken (zie dwarsdoorsnede hierboven). Het water in de waterbakken zal gedeeltelijk verdampen en gedeeltelijk weer terugkomen in het circulaire systeem.

Vervolgens staat boven de waterspeeltuin een groen dak voor schaduwvorming en berging. Op het dak ligt een grasmat die ervoor zorgt dat een gedeelte van het hemelwater kan infiltreren. Het overige water komt via een afvoerbuis op het gietrubber en infiltreert vervolgens weer in de Urban Rainshells en de infiltratiekratten.

Veiligheid en gezondheid
De veiligheid en gezondheid is van deze variant is erg afhankelijk van de Urban Rainshells. Deze variant heeft een circulair systeem, waarbij het water wordt hergebruikt. Het is belangrijk dat voornamelijk de microbiologische bacteriën worden gezuiverd. Het is echter nog niet duidelijk hoeveel effect deze zuivering heeft op de microbiologische bacteriën, maar ook niet wat het effect van de anaerobe situatie in de infiltratiekratten doet met de bacteriën. Voor het toepassen van deze variant is het belangrijk dat hier meer onderzoek naar wordt gedaan.

Daarnaast kan er bij een lange periode van veel neerslag de Urban Rainshells, de infiltratiekratten maar ook de bodem rondom het plein verzadigd raken. Hierdoor zal het waterplein gevuld worden en bestaat de kans dat het water op het plein blijft staan. Deze situatie zal zelden voorkomen vanwege de grote berging, maar het water moet dan weggepompt worden naar oppervlaktewater.

Schaalbaarheid
Voor de schaalbaarheid van variant Waterplein geldt dat deze variant zowel vergroot kan worden als verkleind. Het plein kan in elk opzicht vergroot worden. Een groter dak betekend meer verkoeling en meer infiltratiekratten en een groter plein zorgt voor meer berging.

Kosten
Uit de kostenraming is berekend dat deze variant ca. 310.000 euro zal kosten (zie bijlage 15).

Effect op de hitte
Deze variant zorgt op drie manieren voor verkoeling: groen dak, waterspeeltuin en (de lichte kleuren van) gietrubber. De schaduw van het dak zorgt voor een daling tussen de 0,5 en 1 graad van de luchttemperatuur ten opzichte van niet beschaduwde plekken, waarbij de gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 10 en 20 graden (Hogeschool van Amsterdam , 2017).

Het groen op het dak kan ook nog zorgen voor een temperatuurdaling van 0,8 graad (Santamouris, 2012). Vervolgens kunnen de bezoekers spelen in de waterspeeltuin, waarbij de daling van de luchttemperatuur tussen de 1 en 4,8 graad zal zitten. De gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 1 en 5 graden (Jacobs, 2020).

Tot slot hebben de lichte kleuren van het gietrubber ook een verkoelend effect, wat kan oplopen tot maximaal 1.9 graden daling van de luchttemperatuur (Santamouris, 2012). De schatting is dat deze variant over het algemeen op een warme dag voor ongeveer 5 á 7 graden daling van de luchttemperatuur kan zorgen en tussen de 9 en 14 graden van de gevoelstemperatuur.

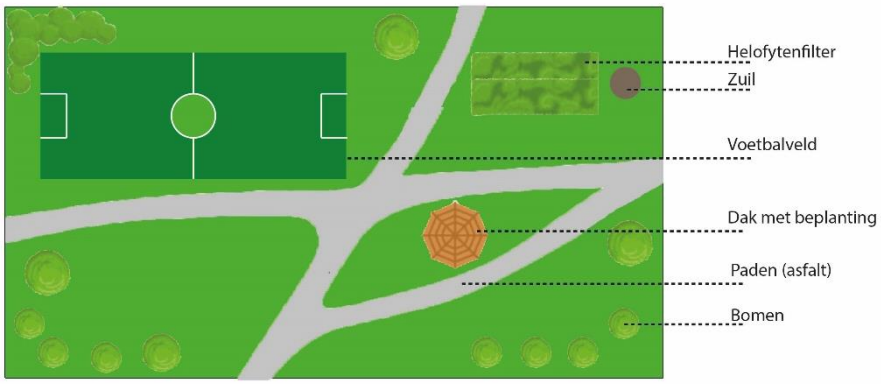
Effect op de droogte
De infiltratiekratten onder het maaiveld kunnen 30 m^3 water bergen om in droge periodes weer te gebruiken. Afhankelijk van de grondwaterspiegel zal er ook een gedeelte naar het grondwater worden geïnfiltreerd. Het water in de infiltratiekratten kan door de bezoekers worden opgepompt om mee te spelen in de waterspeeltuin. Door de grote berging is er (bijna) altijd water om op te pompen, maar deze berging kan opraken als er na een lange periode te weinig water valt, het water op het plein telkens verdampt en wegzakt naar het grondwater.

Effect op de wateropgave
Deze variant heeft drie functies om de wateropgave te verminderen. De eerste is het groene dak met een berging van 6 m^3. Het dak heeft een oppervlakte van 250 m^2 en bergingscapaciteit van 25 mm (Hendriks, 2016). Hierdoor zal het dak een T=100 bui niet aankunnen en stroomt het hemelwater af in de Urban Rainshells en de infiltratiekratten. De Urban Rainshells heeft met een oppervlak van 50 m^2 een berging van 22 m^3 (EWB designs, 2018). De 74 infiltratiekratten zorgen in totaal voor een berging van zo'n 30 m^3 (Fränkische, 2017).

Tot slot kan het plein zelf ook nog vollopen tot een waterhoogte van 20 centimeter. Dit komt neer op een extra berging van 121 m^3. In totaal heeft deze variant dus een berging van ca.190 m^3 (zie bijlage 12 voor berekening). Hierdoor is het een extreem robuust systeem en moet er nog extra afkoppelt oppervlak worden toe toegevoegd aan het systeem.

5.1.3 Variant Groenplein

De bedoeling van variant Groenplein is een circulair watersysteem met zoveel mogelijk vegetatie in het ontwerp. Deze variant zorgt voor verkoeling, verminderd wateropgave en m.b.v. de Urban Waterbuffer kan ook het geborgen water hergebruikt worden in droge periodes. Daarnaast is het plein bedoelt om te recreëren, relaxen en er kan gevoetbald worden op het voetbalveld.

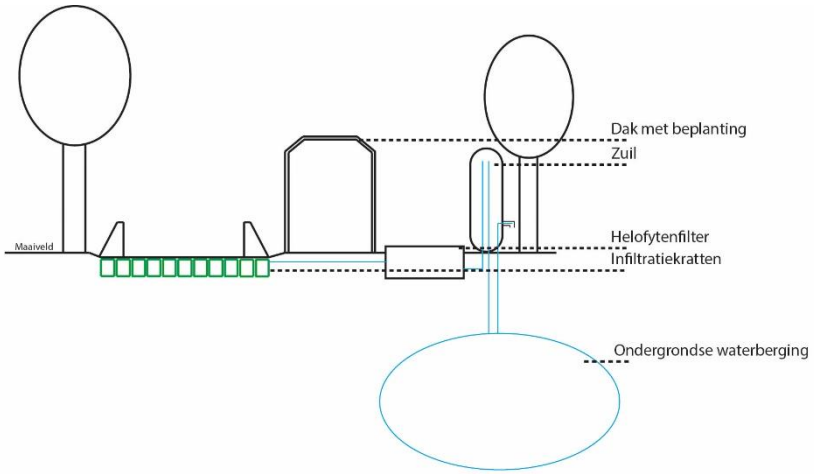


Figuur 26. Bovenaanzicht Groenplein (Breevoort).

Voor deze variant zijn de volgende maatregelen toegepast: de Urban Waterbuffer in combinatie met een voetbalveld, een dak met beplanting en vegetatie.

Werking variant Groenplein
Het plein bestaat uit gras met daarop struiken en bomen. De boomsoort die voor deze variant gebruikt worden is de gewone beuk. Deze boom is bolvormig met veel schaduwvorming en heeft gemiddeld een hoogte tussen de 15 en 30 meter en een breedte tussen de 10 en 20 meter (Wouters, 2019). Door het park lopen wandelpaden van asfalt, waarbij het hemelwater kan afstromen op het gras naast de paden.

Daarnaast is er nog een verlaagd voetbalveld, waarop grotendeels het hemelwater van deze variant zal afwateren. Het hemelwater infiltreert door het voetbalveld in de infiltratiekratten. Hier wordt het tijdelijk geborgen en vervolgens afgevoerd door een overstort naar de helofytenfilter. Bij overtollig regenwater kan het water via een overstort (in de infiltratiekratten) naar het riool of oppervlaktewater worden afgevoerd. Het helofytenfilter zorgt dat het water op een natuurlijke wijze gezuiverd wordt. Vanuit de helofytenfilter komt het water in een zuil terecht, waarin de druk van het water wordt opgebouwd voor de infiltratie onder vrij verval naar de ondergrond (Field Factors, s.d.). In de ondergrond wordt het water opgeslagen in een ondergrondse waterberging (zie dwarsdoorsnede hieronder). Na verblijftijd van minimaal 10 dagen kan het wat weer worden herwonnen en is het zuiver genoeg om te kunnen hergebruiken voor besproeiing van het plein. Ook is er nog een klein dakje met beplanting om meer schaduw te creëren



Figuur 27. Dwarsdoorsnede variant Groenplein (Breevoort).

Veiligheid en gezondheid
Voor de variant Groenplein wordt het systeem van de Urban Waterbuffer toegepast, wat uit ervaring gebleken een erg betrouwbaar systeem is. Hierbij is het belangrijk zoals het hierboven al genoemd is dat de verblijftijd van het hemelwater langer dan 10 bevat en hoe langer hoe beter. Hierdoor neemt de concentratie van de kenmerkende microbiologische bacteriën Enterococcen en E-coli aanzienlijk af, waardoor het water gebruikt kan worden voor besproeiing (Zuurbier & van Dooren, 2019).

Daarentegen moet er wel rekening gehouden worden dat het water meer organische stoffen bevat dan drinkwater. In combinatie met warme situaties kan de groei van Legionella worden bevorderd. Bezoekers kunnen Legionella oplopen via het inhaleren bij het besproeien van de vegetatie. De watertemperatuur heeft een belangrijke invloed op de groei. Het water in de zuil zal regelmatig gemonitord moeten worden om gezondheidsklachten te voorkomen (Zuurbier & van Dooren , 2019).

Schaalbaarheid
Gezien de capaciteit van de Urban Waterbuffer is het aannemelijk dat deze variant voornamelijk vergroot kan worden en niet (veel) verkleind. De ondergrondse waterberging van de Urban Waterbuffer is extreem groot en hierdoor zouden de kosten en baten niet tegen elkaar opwegen als deze kleiner zou worden ontworpen. Een grotere variant zou hoogstwaarschijnlijk meer baten opleveren. Dit hangt dan weer af van de inrichting van het plein en de watervraag.

Kosten
Uit de kostenraming is berekend dat deze variant ca.1.300.000 euro zal kosten (zie bijlage 15).

Effecten op de hitte
Deze variant heeft twee maatregelen/toepassingen om de effecten van hittestress te verminderen. De eerste is het creëren van schaduwvorming door de bomen en het dakje. Bomen kunnen lokaal zorgen voor een luchttemperatuur daling tussen de 0,7 en 2,7 graden, waarbij de gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 3,4 en 19 graden (Nouri Santos & Matzarakis, 2019).

Het dakje kan zorgen voor een daling tussen de 0,5 en 1 graad van de luchttemperatuur en een daling tussen de 10 en 20 graden van de gevoelstemperatuur (Hogeschool van Amsterdam , 2017).

Daarnaast zorgt deze variant ook verkoeling door groen: gras, struiken en de helofytenfilter. Lokaal kan gras en struiken zorgen voor een luchttemperatuurdaling tussen de 0,9 en 1,2 graden. De gevoelstemperatuur kan door het groen dalen tussen de 0,4 en 4,9 graden (Takebayashi & Moriyama, 2009). Voor de helofytenfilter kunnen dezelfde kerngetallen als gras en struiken worden aangenomen.

In totaal is de schatting dat de luchttemperatuur afneemt met 2 á 3 graden en de gevoelstemperatuur ongeveer tussen de 7 en 12 graden. Dit is grotendeels afhankelijk van de warmte van de dag.

Effecten op de droogte
De Urban Waterbuffer maakt gebruik van een ondergrondse waterberging, die in droge periodes gebruikt kan worden. Het terugwinnen van het water en het vervolgens gebruiken voor besproeiing zorgt dat deze variant het droogte probleem niet groter maakt en het lokaal op lost. Het systeem is onafhankelijk en kan zelf zorgen voor het onderhouden van het groen. Daarnaast kan de waterberging in de ondergrond wel opraken. In dit geval kan de gemeente of de stakeholders het plein besproeien met drinkwater.

Effecten op de Wateropgave
De totale effecten op de wateropgaven zijn voor deze variant lastig te bepalen. Voor de Urban Waterbuffer is de ruimte in de diepe ondergrond bijna onbeperkt, maar infiltratie kan met een beperkt debiet. Daarom hangt de berging van deze variant voornamelijk af van de infiltratiekratten. Waarbij gedimensioneerd is op de eis van de t=100 bui met 50 mm neerslag in 1 uur.

Om deze reden zullen er 74 infiltratiekratten onder het veld worden geplaatst met een oppervlakte van ongeveer 47 m^2. Het veld zelf is ongeveer 200 m^2, dus de kratten passen hier eenvoudig onder. Hiermee wordt er een extra waterberging van 30 m^3 gecreëerd. De totale hoeveelheid berging van deze variant is lastig te bepalen, maar groot genoeg om extra daken af te koppelen op het plein. Op deze manier wordt de wateropgave van de omgeving ook verminderd. In bijlage 12 is m.b.v. een bakkenmodel een situatie berekend, om het verschil tussen een situatie met en zonder variant Stepwells te zien.

5.2 De Multi-Criteria-Analyse

De deelvraag luidt: Wat is de optimale variant om een plein/buitenruimte in Rotterdam op een innovatieve multifunctionele manier klimaat adaptief in te richten? Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn de varianten tegen elkaar afgewogen in een Multi-Criteria-Analyse. De varianten worden op de volgende criteria beoordeeld: kosten, veiligheid en gezondheid, beheer en onderhoud, schaalbaarheid, recreatie en effect op klimaatopgaven.

Deze criteria zijn bepaald aan de hand van referentieprojecten, aanbevelingen van experts van de gemeente Rotterdam en de doelstelling van dit onderzoek. De weging hangt af van hoe belangrijk de criteria is voor een succesvol (water)plein. Toelichting van de criteria en wegingsfactoren zijn terug vinden in bijlage 16.

De verdeling is als volgt:

- Kosten: 20%
- Veiligheid en gezondheid: 20%
- Beheer en onderhoud: 10%
- Schaalbaarheid: 10%
- Recreatie/impuls buitenruimte: 15%
- Effect op klimaatopgaven: 25%

In bijlage 16 is terug te vinden op welke manier de scores bepaald zijn. Per criterium kan er maximaal drie plusjes worden verdiend en minimaal 3 minnetjes. Deze plusjes en minnetjes worden bepaald door het onderlinge kwaliteitsverschil; wanneer variant x veel meer effect heeft op de klimaatopgaven dan de andere varianten, krijgt deze variant 3 plusjes. Vervolgens wordt bepaald hoeveel verschil er tussen de andere twee varianten zit en daarvan wordt bepaald hoeveel plusjes of minnetjes deze varianten krijgen. Als de varianten overeenkomen krijgen ze dezelfde beoordeling. Een plusje staat voor 1 en minnetje voor -1. Afhankelijk van de weging wordt de score bepaalt. Een weging van 10% en een maximale beoordeling van +++ resulteert in een score op dat onderdeel van (0,1 x 3 = 0,3). De toelichting per beoordeling is terug te vinden in bijlage 16, waarbij de keuzes van de plusjes en minnetjes wordt toegelicht.

Tabel 9. Multi-Criteria-Analyse.

Criteria	***Weging***	**Variant Stepwells**	**Variant Waterplein**	**Variant Groenplein**
Kosten	20%	+++	++	-
Veiligheid en gezondheid	20%	++	--	++
Beheer en onderhoud	10%	+++	--	++
Schaalbaarheid	10%	-	+++	+
Recreatie en impuls buitenruimte	15%	+	++	+++
Effect op klimaatopgaven	25%	-	+++	++
Totaal:		1,1	1,15	1,45

5.3 Conclusie Multi-Criteria-Analyse

Uit de resultaten van de Multi-Criteria-Analyse blijkt dat variant Groenplein het beste scoort. Deze variant scoort over het algemeen op alle criteria goed, maar voornamelijk op de recreatie en impuls omgeving. Groen heeft zoals eerder in paragraaf 2.3 werd genoemd, vele voordelen, waaronder een meerwaarde voor de omgeving en daarom scoort deze variant ook goed op dit criterium. Daarnaast kan de veiligheid en gezondheid van de bezoekers gegarandeerd worden o.b.v. de waterkwaliteit, omdat het Urban Watersysteem erg betrouwbaar is. Vervolgens scoort de variant minder goed bij de kosten, omdat de kosten een stuk hoger liggen als de andere varianten. Daarentegen zijn de kosten van deze variant niet substantieel t.o.v. gerealiseerde waterpleinen zoals het Benthemplein.

5.3.1 Gevoeligheidsanalyse Multi-Criteria-Analyse

Het resultaat van de Multi-Criteria-Analyse hangt af van de criteria en de wegingen hiervan. Als bijvoorbeeld voor dit onderzoek de afweging gemaakt zou worden om het criterium “kosten” of “beheer en onderhoud” hoger mee te wegen dan “effecten op klimaatopgaven” en “recreatie en impuls buitenruimte,” dan had de variant Stepwells gewonnen.

Voor variant Waterplein had de criteria “schaalbaarheid” en “effect op de klimaatopgaven,” meer meegewogen moeten worden en “veiligheid en gezondheid” en “beheer en onderhoud,” minder. In dat geval had variant Waterplein als beste uit de Multi-Criteria-Analyse gekomen.

Daarnaast ligt het altijd aan de locatie specifieke projectteam om de weegfactoren en eventuele de scores naar eigen inzicht aan te passen.

5.4 Resultaten Casus Driehoeksplein

Tijdens het onderzoek is de casus Driehoeksplein gestudeerd (zie bijlage 17). De belangrijkste effecten op de klimaatopgave zijn berekend, hieruit is gebleken dat de luchttemperatuur met 2 á 3 graden en de gevoelstemperatuur ongeveer tussen de 7 en 12 graden. Het droogteprobleem lokaal op het Driehoeksplein wordt opgelost, doordat met behulp van de Urban Waterbuffer het plein zelfvoorzienend wordt. De wateropgave wordt ook op het plein opgelost met een berging van in totaal 120 m^3, waarbij het gedimensioneerd is op een t=100 bui van 50 mm.

6 Conclusie en aanbevelingen

Voor dit onderzoek is uitvoerig literatuurstudie gedaan en interviews met deskundigen uitgevoerd, om antwoord te kunnen gegeven op de hoofdvraag: **Hoe ziet het optimale ontwerp eruit voor pleinen/buitenruimte in Rotterdam om de gevolgen van hitte, droogte en de wateropgave te verminderen?**

Probleemstelling klimaatverandering
Volgens de verwachtingen van het KNMI zal klimaatverandering nog meer effect hebben op de droogte, hitte en de wateropgave. Voornamelijk droogte en hitte zal in de toekomst voor Rotterdam grotere probleem zorgen met gezondheidsklachten en miljoenen aan schade. Het is dus belangrijk dat de gemeente Rotterdam zich komende jaren gaat richten adapteren aan de klimaatverandering.

Deelvraag 1: Welke alternatieven inrichtingen van (water)pleinen zijn er om de opgaven van klimaatverandering in Rotterdam te verminderen?

Er zijn over de wereld meerdere typologieën pleinen die bedoeld zijn om de effecten van klimaatverandering op te lossen, waaronder voor onderzoek gekeken is naar de effecten van: Stepwells, Waterplein en een Groenplein. Hieruit bleek dat er in Surat City een variant van Stepwells is ontworpen, genaamd Khel Kunds. Dit is een verbeterde versie ten opzichte van de originele Stepwells op het gebied van veiligheid en gezondheid, want het water blijft in deze variant niet stilstaan, waardoor er minder kans is op microbiologische groei.

Daarnaast is vooral de focus gelegd op de effecten op de klimaatopgave: hitte, droogte en water. Hierin zijn vier (inclusief de Khel Kunds) ontworpen om de wateropgave te verminderen. Het enige plein die effect heeft op alle klimaatopgave is de originele Stepwells. Het nadeel van de Stepwells is dat een hele lage grondwaterspiegel nodig is, omdat de verkoeling voornamelijk ondergronds is. Rotterdam heeft hele hoge grondspiegel, dus dit is niet mogelijk of het ontwerp moet aangepast worden.

Vervolgens heeft een Groenplein effect op de hitte en de wateropgave, maar het nadeel van een Groenplein is dat het kan zorgen voor extra nadelig effect hebben op de droogte. Khel Kunds en het Waterplein komen overheen met elkaar, waarbij het Waterplein een grotere waterberging (gemiddeld) heeft en ze zorgen allebei met verdamping en infiltratie voor een klein aandeel op de klimaatopgave hitte en droogte.

Deelvraag 2: Welk programma van eisen en wensen is belangrijk om rekening mee te houden bij het ontwerpen van een (water)plein in Rotterdam?

Er een uitgebreid scala van eisen en wensen vastgesteld aan de hand van eerdere referentieprojecten, gesprekken/interviews met experts en literatuur. Dit kan helpen bij het maken van een lokaal specifiek programma van eisen en wensen. Uit het onderzoek naar de eisen en wensen kan geconcludeerd worden, wat ook al de verwachting was, dat de waterkwaliteit een heel belangrijk onderdeel is geworden (vooral bij een circulair systeem). De waterkwaliteit is de kern van het ontwerp en moet daarom aan bepaalde bacteriologische normen voldoen, waarbij voornamelijk de microbiologische ziekteverwekker voor de meest acute gevaren kan zorgen.

Uit het onderzoek is ook gebleken dat er geen normen gelden voor het gebruik van “speelwater.” De reden hiervan is dat er nog geen behoefte voor normen was. Daarnaast zorgen normen ook voor begrenzing van nieuwe innovatieve oplossingen. De verwachting is dat deze normen komende jaren worden opgesteld.

Deelvraag 3: Welke maatregelen kunnen toegepast worden bij het ontwerpen van een adaptief (water)plein?
Er zijn op de aspecten water, schaduw, wind en groen maatregelen bekend, die ingezet kunnen worden van een adaptief (water)plein. Voor deze maatregelen is een selectie gemaakt verdeeld in maatregelen die altijd toepast kunnen worden en maatregelen waaruit een keuze gemaakt kan worden door de ontwerper. Door innovatie komen er steeds nieuwe maatregelen bij.

Deelvraag 4: Wat is de optimale variant om een plein/buitenruimte in Rotterdam op een innovatieve multifunctionele manier klimaat adaptief in te richten?

Uit de multicriteria analyse is gebleken dat variant Groenplein de meest ideale variant is. Dit plein bestaat voornamelijk uit onverhard oppervlak met bomen ter verkoeling, met twee bergingen voor de wateropgave, een natuurlijke zuiveringstap en de mogelijkheid om het water te herwinnen voor droge periodes. Een Groenplein is ideaal als oplossing voor de klimaatopgaven in het stedelijk gebied.

6.1 Aanbevelingen

Aan de hand van het onderzoeksrapport kunnen een aantal aanbevelingen gedaan worden. Voor deze aanbevelingen geldt voornamelijk dat er meer onderzoek naar gedaan moeten worden om de resultaten van dit onderzoek te optimaliseren. Ook zijn een aantal onderdelen van dit onderzoek sterk afhankelijk van nieuw onderzoek of literatuur. Op basis van deze bevindingen zijn de volgende aanbevelingen gedaan.

In 2021 zal het nieuwe onderzoek van het KNMI worden afgerond, waarin meer duidelijkheid komt over de verwachte klimaatverandering en de klimaatopgaven. Aanbevolen wordt om dit onderzoek te gebruiken, indien het gepubliceerd wordt.

Vanuit het Rotterdams WeerWoord zijn sinds mei 2020 nieuwe kaarten gemaakt omtrent klimaatproblemen: waaronder de thema’s droogte, hitte en extreme neerslag. Deze kaarten geven meer inzicht van de opgave in Rotterdam. Aanbevolen wordt om deze kaarten te gebruiken bij het bepalen van een geschikte locatie voor een klimaat adaptief (water)plein.

Voor een vervolgonderzoek wordt aanbevolen om naar andere typologieën pleinen te onderzoeken dan Stepwells, Waterplein en Groenplein.

Maatregelen zijn bekend, al in gebruik en er komen jaarlijks tientallen nieuwe innovatieve maatregelen op de markt. Aanbevolen wordt om up-to-date te blijven en gebruik te maken van betere versies of maatregelen. De gemeente Rotterdam is op dit moment het document Bouwstenen aan het afronden, waarin alle maatregelen worden beschreven. Dit document wordt aanbevolen om te gebruiken, zodra het definitief is.

Voor de varianten is het belangrijk dat het beoogde resultaat omtrent de effecten op de klimaatopgaven wordt behaald. Bij soortgelijke projecten is gebleken dat dit niet altijd het geval is en daarom wordt aanbevolen om dit te monitoren in de praktijk.

Daarnaast wordt er voor het gewonnen water uit de Urban Waterbuffer aangeraden om onderzoek te doen naar de risico in hoeverre Legionella kan groeien. Aanbevolen wordt om een risicobeheersplan voor Legionella op te stellen en regelmatig het sproeiwater te monitoren.

Het maximale afgekoppelde oppervlak van variant Groenplein niet berekend, omdat het niet duidelijk is hoeveel water de Urban Waterbuffer kan verwerken vanwege infiltratiesnelheid. Voor een vervolgonderzoek wordt aanbevolen om de mogelijkheden en de capaciteit van de Urban Waterbuffer te berekenen.

Tot slot is het belangrijk om locatie specifiek rekening te houden met de eisen en wensen van de stakeholders om het draagvlaak te vergroten. Bij het ontwerpen van een (water)plein wordt daarom sterk aanbevolen om de stakeholders in de planvorming en ontwerpfase te betrekken.

7 Discussie en reflectie

Tijdens het onderzoek zijn verschillende afwegingen en beslissingen gemaakt. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op deze keuzes en vervolgens wordt er een reflectie gegeven. Dit hoofdstuk geeft een inzicht van gedachtegang achter de beslissingen die binnen dit onderzoek zijn gemaakt. Daarnaast wordt gereflecteerd wat beter had gekund.

Door COVID-19 virus zijn er in het de onderzoeksperiode aanpassingen gedaan, omdat de mogelijkheden binnen de gemeente Rotterdam en dit onderzoek hierdoor beperkt werden. Het gaat hier voornamelijk om metingen van de waterkwaliteit en een praktijkonderzoek naar de effecten op de klimaatopgaven. Om de beoordeling van zowel de waterkwaliteit als de effecten op de klimaatopgaven, zijn voornamelijk beargumenteerd met literatuur. De beoordelingen hadden betrouwbaarder geweest als de resultaten waren onderzocht in dit onderzoek.

Daarnaast was het door de “thuiswerk situatie” soms lastig om collega’s binnen de gemeente Rotterdam te bereiken. Om vertraging te voorkomen en het onderzoek niet te laten stagneren zijn er keuzes gemaakt, waaronder het laten vallen van groepsessies en werkateliers om het beoogde resultaat optimaal te kunnen behalen en te beoordelen. Ook het informeel spreken met experts van de gemeente Rotterdam op kantoor was niet mogelijk.

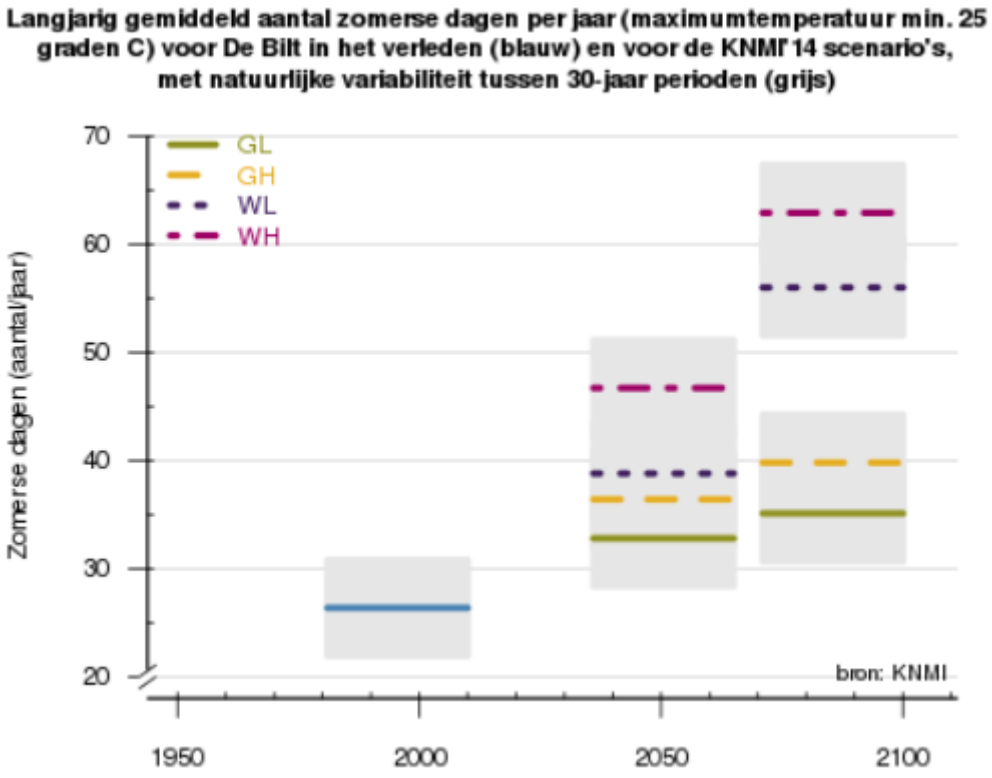
Vervolgens was de casus Driehoeksplein één van de aanleidingen van dit onderzoek. Het probleem van deze casus was dat de planning niet synchroon liep met mijn afstudeeronderzoek en er was geen mogelijkheid voor het projectteam om fysiek samen te komen. Een geplande presentatie kon daardoor niet plaatsvinden, waarin het projectteam ook niet als klankbord kon fungeren.

Op basis van het onderzoek is opgemerkt dat er nog een grijs gebied rondom de normen van waterkwaliteit is. Hierbij is het wel belangrijk dat dit grijze gebied beter in beeld wordt gebracht. Met een pilotproject, waarbij een projectteam aan de hand van het afwegingskader van dit onderzoek een eigen variant ontwikkelt, kan worden bepaald wat de daadwerkelijke effecten in de praktijk op de klimaatopgaven en de waterkwaliteit. Dit dient door monitoring gecontroleerd te worden.

Er zijn nog weinig maatregelen tegen hitte en droogte bekend en gezien de klimaatverandering zal het belangrijk zijn om komende jaren nieuwe innovatieve maatregelen hiervoor te bedenken. Met het oog op de doelstellingen en ambities van de gemeente Rotterdam, kan een concept zoals het adaptief (water)plein een oplossing bieden.

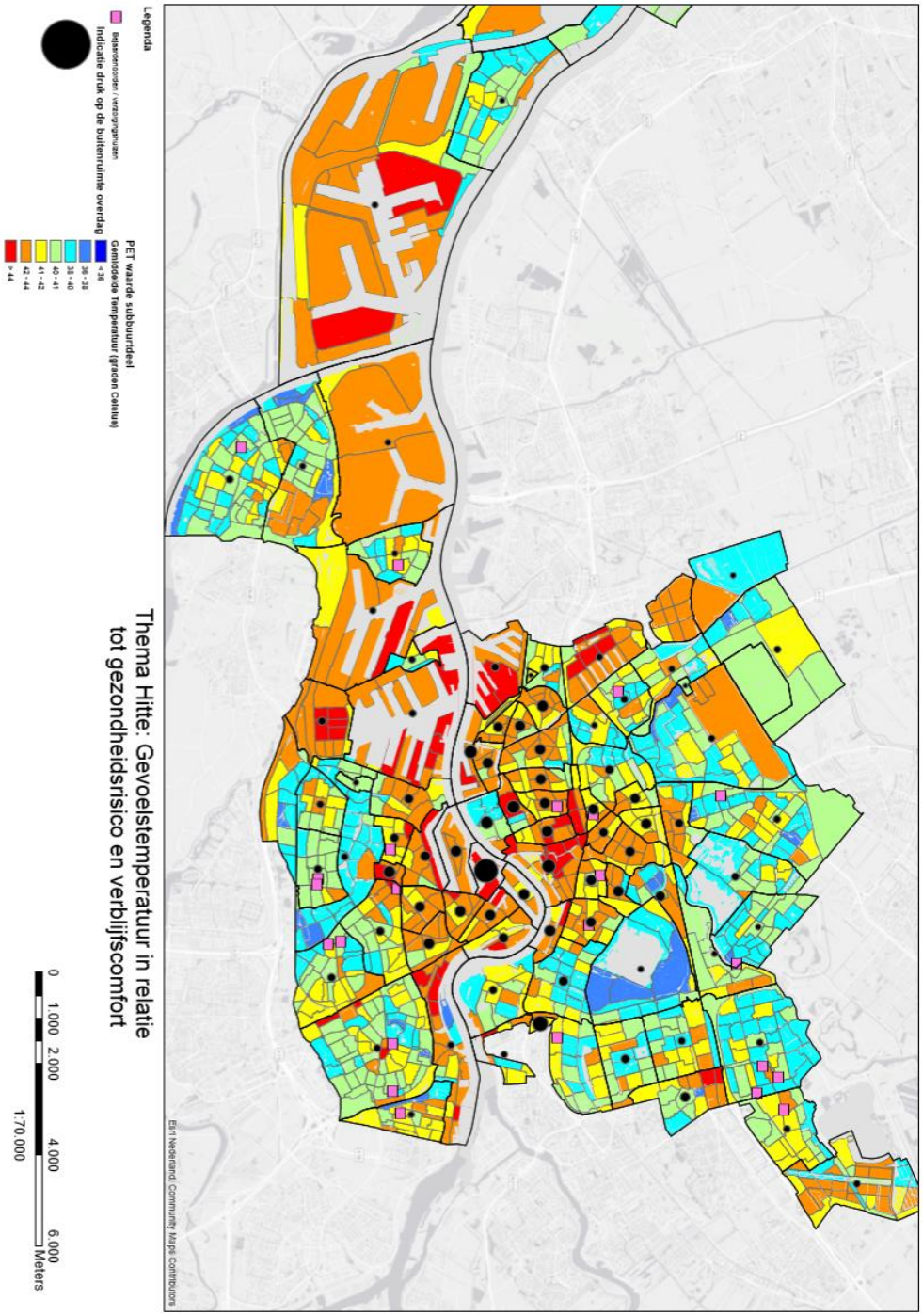
Tot slot zijn de keuzes van de Multi-Criteria-Analyse gebaseerd op referentieprojecten, aanbevelingen van experts van de gemeente Rotterdam en de doelstelling van dit onderzoek. Hierbij zijn geen stakeholders betrokken, indien dit wel het geval was geweest, had de score anders kunnen uitpakken.

8 Bijlage 1: Verwachting aantal zomerse dagen



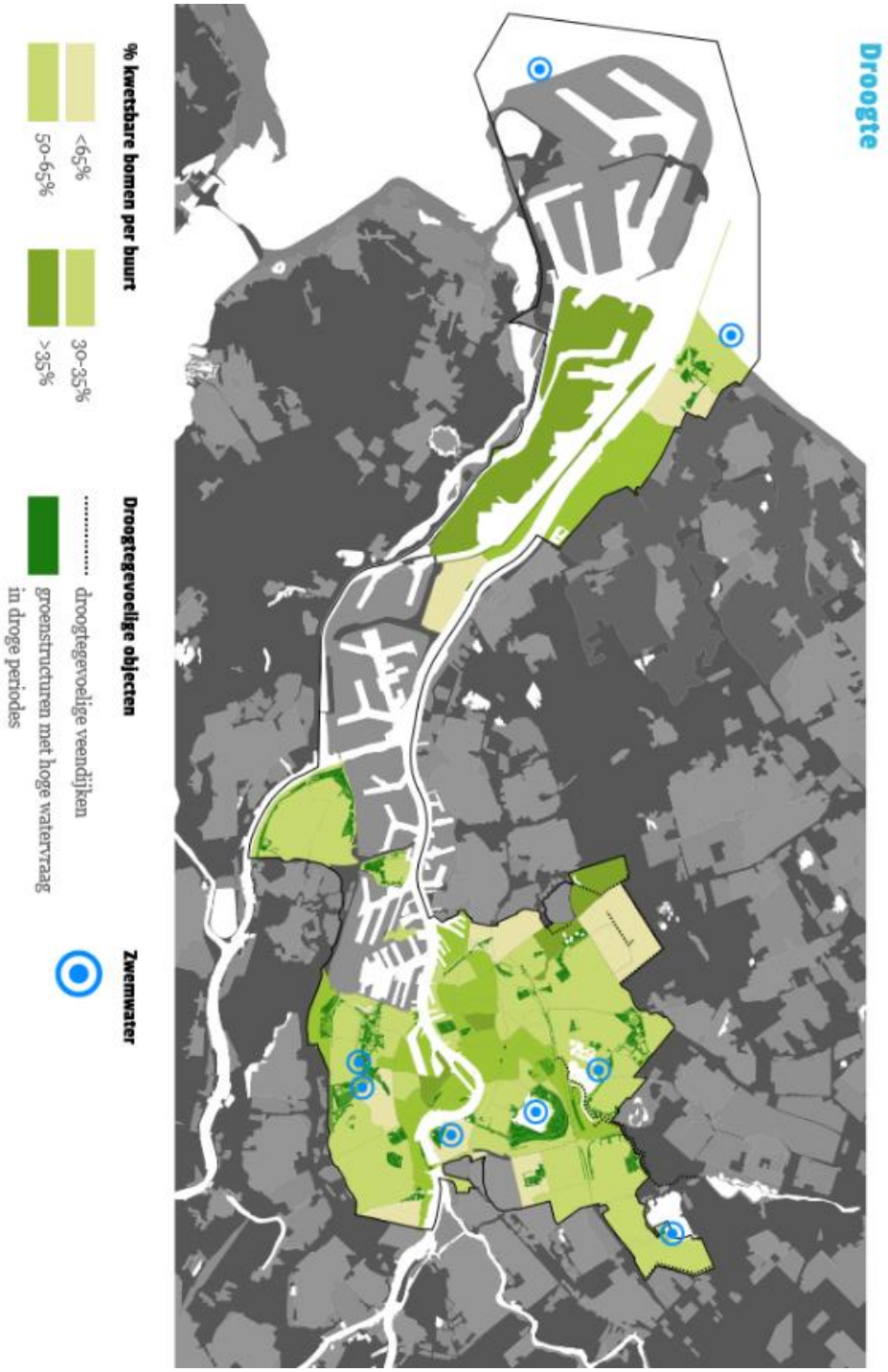
Bron: (KNMI, 2014)

9 Bijlage 2: Gevoelstemperatuur in relatie tot gezondheidsrisico en verblijfcomfort



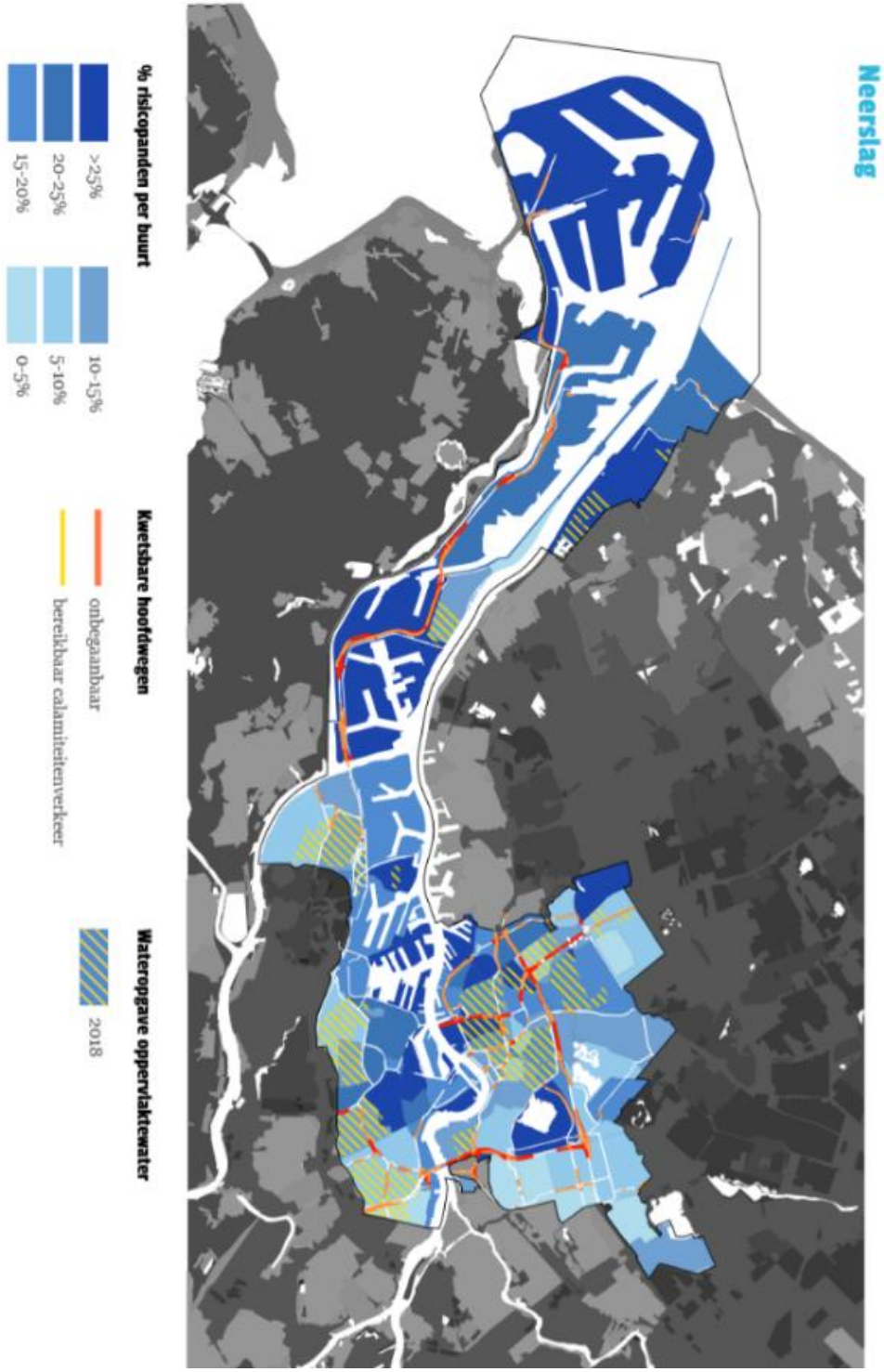
Bron: (Gemeente Rotterdam , 2020)

10 Bijlage 3: Droogte in Rotterdam



Bron: (Gemeente Rotterdam, 2019)

11 Bijlage 4: Neerslag in Rotterdam



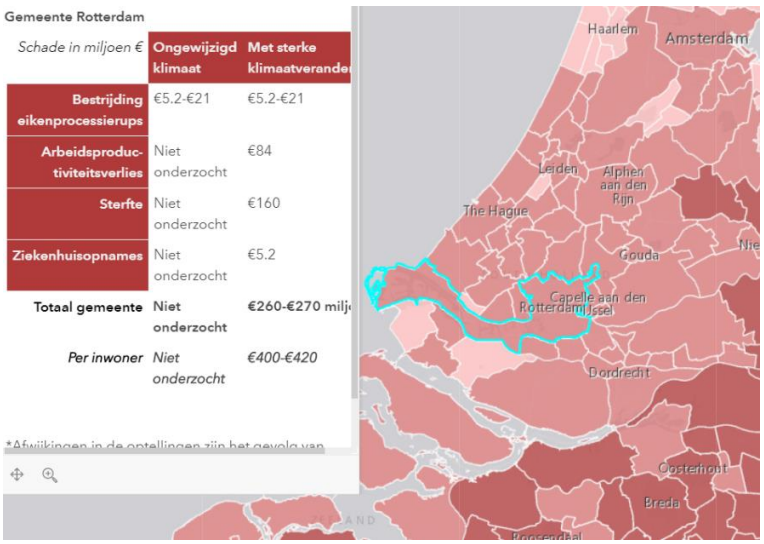
Bron: (Gemeente Rotterdam, 2019)

12 Bijlage 5: Verwachting schade door klimaatverandering

Om erachter te komen wat de verwachting is van de schade door klimaatverandering is de Klimaatschadeschatter ontwikkeld. Hierin wordt er gebruikt gemaakt van de klimaatscenario's van het KNMI om te kijken wat de schade is van hitte, droogte en wateroverlast. De Klimaatschadeschatter is ontwikkeld binnen het onderzoeksprogramma NKWK Klimaatbestendige stad. Hierbij werkte Deltares, Wageningen Environmental Research, TNO, RIVM, Hogeschool van Amsterdam, Tauw, Arcadis, Sweco, KCAF, Aveco de Bondt en stichting CAS hieraan mee (NKWK, 2019).

Schade hitte voor de gemeente Rotterdam
Op de kaart in hiernaast is te zien wat de schatting is van schade door hitte in de gemeente Rotterdam tussen 2018 en 2050. Hierbij is de schade berekend voor bestrijding van eikenprocessierupsen, arbeidsproductiviteitverlies, sterfte en ziekenhuisopnames met het klimaatscenario Wh.

In totaal is de verwachting dat de gemeente Rotterdam tussen 2018 en 2050 ongeveer €260 tot €270 miljoen schade heeft door hitte, gezien de parameters die gebruikt zijn (NKWK, 2019).

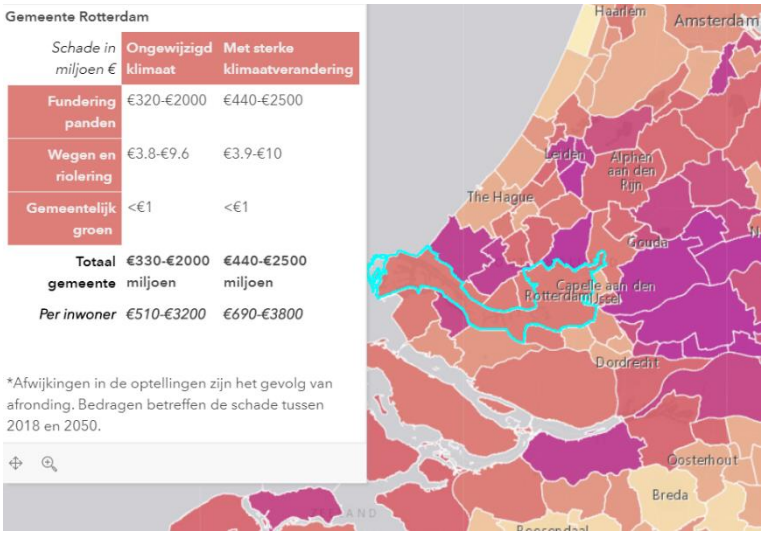


Schade in miljoen €	Ongewijzigd klimaat	Met sterke klimaatverande
Bestrijding eikenprocessierups	€5.2-€21	€5.2-€21
Arbeidsproduc-tiviteitsverlies	Niet onderzocht	€84
Sterfte	Niet onderzocht	€160
Ziekenhuisopnames	Niet onderzocht	€5.2
Totaal gemeente	Niet onderzocht	€260-€270 milj
Per inwoner	*Niet onderzocht*	*€400-€420*

Figuur 28. Overzicht schade in gemeente Rotterdam door hitte (NKWK, 2019).

Schade droogte voor de gemeente Rotterdam
Op de kaart hieronder is te zien wat de schatting is van schade door droogte in de gemeente Rotterdam tussen 2018 en 2050. Hierbij is schatting gebaseerd op de schade aan: fundering, panden, wegen en rioleringen en gemeentelijk groen.

In totaal is de verwachting dat de gemeente Rotterdam tussen 2018 en 2050 ongeveer €440 tot €2500 miljoen schade heeft door droogte, gezien de parameters die gebruikt zijn. Het grote verschil heeft te maken met een aantal onzekerheden zoals de mate van bodemdaling, schade per fundering (verschilt in bouwjaar), stand van het grondwater, lekkende leidingen etc. (NKWK, 2019).

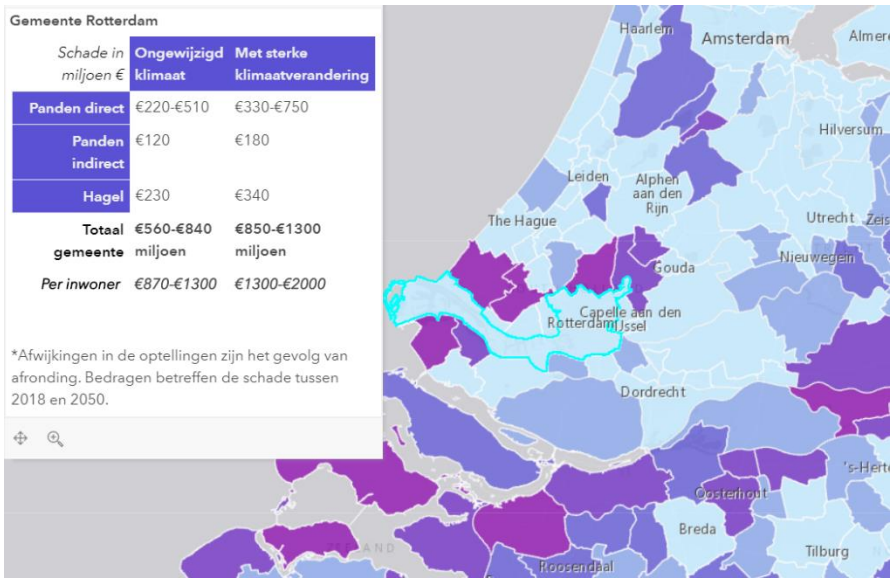


Schade in miljoen €	Ongewijzigd klimaat	Met sterke klimaatverandering
Fundering panden	€320-€2000	€440-€2500
Wegen en riolering	€3.8-€9.6	€3.9-€10
Gemeentelijk groen	<€1	<€1
Totaal gemeente	€330-€2000 miljoen	€440-€2500 miljoen
Per inwoner	*€510-€3200*	*€690-€3800*

Figuur 29. Overzicht schade in gemeente Rotterdam door droogte.

Schade wateroverlast voor de gemeente Rotterdam
Op de kaart in hieronder is te zien wat de schatting is van schade door wateroverlast in de gemeente Rotterdam tussen 2018 en 2050. De directe schade aan panden door wateroverlast bestaat bijvoorbeeld uit schoonmaakkosten en het vervangen van een vloer of inboedel. De indirecte schade voor de panden heeft te maken met inkomsten waarmee panden te maken hebben als gevolg van waterschade. Bedrijfspanden moeten bijvoorbeeld tijdelijk sluiten en lopen hierdoor inkomsten mis. In het ergst geval moet er voor waterschade aan woningen ander onderdak gezocht worden voor de bewoners (NKWK, 2019).

Deze kaart is gebaseerd op een schatting van de kosten voor wateroverlast in de periode 2018 - 2050. In de tabel zijn twee situaties berekend: voor een ongewijzigd klimaat in 2018 en voor een klimaatscenario Wh in 2050. Per situatie is gekeken naar directe schade aan panden, indirecte schade aan panden en hagelschade. Hieruit blijkt dat de gemeente Rotterdam in totaal tussen de €850 en €1300 miljoen schade zal hebben door wateroverlast (NKWK, 2019).



Schade in miljoen €	Ongewijzigd klimaat	Met sterke klimaatverandering
Panden direct	€220-€510	€330-€750
Panden indirect	€120	€180
Hagel	€230	€340
Totaal gemeente	€560-€840 miljoen	€850-€1300 miljoen
Per inwoner	*€870-€1300*	*€1300-€2000*

*Afwijkingen in de optellingen zijn het gevolg van afronding. Bedragen betreffen de schade tussen 2018 en 2050.

Figuur 30. Overzicht schade in gemeente Rotterdam door wateroverlast (NKWK, 2019).

13 Bijlage 6: Verschillende buien

	Neerslagduur							
T [jaar]	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min 2 uur	4 uur	8 uur	12 uur
0.5	8.1	8.8	10.4	12.6	15.3	18.6	22.2	24.6
1	10.2	11.2	13.5	16.2	19.5	23.4	27.7	30.5
2	12.2	13.7	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5
5	15.1	17.1	21.2	25.8	30.7	35.9	41.7	45.2
10	17.5	20.2	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9
20	20.3	23.7	30.2	37.2	44.2	51.1	58.0	61.9
25	21.3	24.9	32.0	39.5	46.9	54.1	61.2	65.2
50	24.7	29.3	38.2	47.7	56.5	64.8	72.5	76.6
100	28.7	34.5	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2
200	33.4	40.7	55.0	70.0	83.1	94.1	102.8	106.6
250	35.0	43.0	58.4	74.5	88.6	100.1	108.9	112.5
500	40.8	50.8	70.4	90.7	108.0	121.4	130.4	133.4
1000	47.6	60.2	84.9	110.6	132.1	147.6	156.7	158.6
10000	*80*	*110*	*160*	*220*	*260*	*280*	*290*	*290*

(Versteeg, Beersma, & Hakvoort, 2018)

14 Bijlage 7: Het programma van eisen en wensen

Hieronder staat de volledige lijst van het programma van eisen en wensen voor het ontwerpen van een (water)plein. Voor sommige aspecten is er nog onderscheid gemaakt tussen het (water)plein in het algemeen en de berging/maatregel op het plein. Met het (water)plein wordt bedoeld het totale plein en de berging/maatregel is specifiek het onderdeel met een klimaat adaptieve functie.

Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte

Eisen	Wensen
De gemeente is primair verantwoordelijk voor de ruimtelijke ordening en het (water)plein. De provincie en het Rijk kunnen via instructieregels sturen op de invulling van deze verantwoordelijkheid door gemeenten. Waterschappen adviseren bij de totstandkoming van ruimtelijke plannen met de Watertoets [d]	Het (water)plein wordt opgenomen in het bestemmingsplan, zodat op grond van Wet ruimtelijke ordening eisen gesteld kunnen worden aan onder meer minimaal 40% schaduw en het aanbrengen van waterberging [d]
Het (water)plein moet het overtollig regenwater inzamelen en verwerken naar oppervlaktewater, grondwater of naar het riool [d + p]	
Het (water)plein mag geen structurele nadelige gevolgen van een te lage of te hoge grondwaterstand veroorzaken [d + q]	
Een omgevingsvergunning is verplicht, indien het (water)plein gebruik maakt van een infiltratiesysteem [d + f]	
Voor het (water)plein wordt de omgevingswaarde (beleidsdoel) omtrent wateroverlast voor een bepaalde periode vastgesteld en gemonitord door de gemeente. Indien het blijkt dat het (water)plein binnen de vastgestelde periode niet voldoende effect heeft, moet de gemeente andere maatregelen toepassen om de gewenste resultaten alsnog te behalen [d + f]	
Gebruik maken van de milieu- en waterwetgeving, omdat dit mogelijkheden biedt om aan nieuwe en bestaande lozingen van afstromend hemelwater eisen te stellen, bijvoorbeeld over het bergen van dat water [d]	

Sociale aspecten

Eisen	Wensen
Bij het ontwerpen worden de stakeholders uit de wijk/omgeving betrokken [k]	Het (water)plein wordt een plek van ontmoeting, waarbij de wensen van de stakeholders t.a.v. functies en inrichting zoveel mogelijk meegenomen worden [m]
	Er is toezicht op hangjongeren [m]

Gezondheid en veiligheid op het (water)plein		Gezondheid en veiligheid op de berging/maatregel	
Eisen	**Wensen**	**Eisen**	**Wensen**
Zwerfafval moet elke week gecontroleerd en opgeruimd worden [a]	Bij het toepassen van goten op het plein geen groot verschil in diepte voor veilige afstap [a]	Voederen van dieren zoals eenden of vogels is niet toegestaan om dierlijke feces te voorkomen (zie bijlage 8)	
In het ontwerp moet voor afstromend regenwater van eventuele afgekoppelde daken een bladvang en/of zandvang toegepast worden [o]		Om verdrinkingsgevaar te voorkomen is er een maximale waterhoogte van 20 centimeter toegestaan [j]	
Water dat in contact komt met de gebruikers van het (water)plein voldoet minstens aan de belangrijke waterkwaliteitsnormen van het KRW (zie bijlage 8 voor meer informatie) [l]		Geen uitlogende materialen toepassen en ook afstromend regenwater mag niet in contact zijn geweest met uitlogende materialen (zink, koper, etc.) [o]	
Water dat gebruikt wordt tegen verdroging of verkoeling (regen- of grondwater) zoals besproeiing mag niet microbiologisch verontreinigd zijn (zie bijlage 8) [l]		Honden zijn niet toegelaten op de berging/maatregel om dierlijke feces te voorkomen (zie bijlage 8)	
De functies op het (water)plein mogen niet kwetsbaar zijn voor de bezoekers		Er mag niet langer dan 36 uur water op het plein staan [l]	
Bij het hergebruiken van afvoerend hemelwater of grondwater moet er een			

zuiveringstap worden ingezet om gezondheidsklachten te voorkomen (zie bijlage 8) [n]			

Recreatie op het (water)plein		Recreatie op berging/maatregel	
Eisen	**Wensen**	**Eisen**	**Wensen**
Het (water)plein moet minsten één recreatieve functie hebben [k]	Recreatieve functie wordt het liefst bepaald in overleg met de stakeholders [k]		Recreatie heeft geen negatief invloed op de klimaat adaptieve functie van de berging/maatregel op het (water)plein [g]

Beheer en onderhoud op het (water)plein		Beheer en onderhoud berging/maatregel	
Eisen	**Wensen**	**Eisen**	**Wensen**
Voor oplevering is er een goedgekeurd beheerplan waarin afspraken over beheer & onderhoud zijn vastgelegd	Het (water)plein moet ontworpen worden dat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden [a]	Het (water)plein moet zodanig ontworpen worden dat het beheer en onderhoud op het plein machinaal schoon gemaakt kan worden [h]	Het (water)plein moet ontworpen worden zodat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden [a]
Het (water)plein moet zodanig ontworpen worden dat het beheer en onderhoud op het plein machinaal schoon gemaakt kan worden [h]	Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het (water)plein gebruiken [a]		Bij voorkeur worden stakeholders uit de wijk betrokken bij het beheer en onderhoud [k]
Duidelijke afspraken over B&O [a]	Bij voorkeur wordt het beheer en onderhoud uitgevoerd door stakeholders uit de wijk [k]		

Kosten en duurzaamheid

Eisen	Wensen
De realisatie van het (water)plein moet binnen het budget passen	Er wordt gebruik gemaakt van duurzame materialen [g]

	Waar mogelijk wordt er gebruik gemaakt van circulaire materialen [g]
	Bij voorkeur combineren met andere projecten om het budget en waarde te vergroten
	Let op de kleur van materialen; aftekening van het slib op lichte materialen is aandachtspunt [a]
	Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het plein gebruiken i.v.m. beheer en onderhoudskosten [a]

Technische aspecten

Eisen	Wensen
De maximale waterhoogte van het (water)plein is 20 centimeter en kan worden begrensd door een overstort naar het riool of oppervlaktewater [j]	
Waterberging gedimensioneerd op 50 mm in 1 uur (t=100 bui) [c]	
Binnen 48 uur moet de berging weer beschikbaar zijn voor de volgende bui [l]	

Overige aspecten

Eisen	Wensen
Het (water)plein moet multifunctioneel zijn [g]	Het (water)plein ontwerpen met lichte kleuren i.v.m. met albedo (weerkaatsing) en opwarming
Indien het (water)plein in een hotspot ligt zoals te zien is op de PET-kaart (bijlage 2) dan is het verplicht om minimaal 40% schaduwvorming wordt gecreëerd [d + i]	Het (water)plein heeft geen nalevering warmte in de nacht [g]
De maatregel op het (water)plein moet voor verkoeling zorgen en de gevoelstemperatuur minimaal 5 graden omlaag brengen op het warmste moment van de dag [i]	Bij het ontwerpen ruimte maken voor wind en rekening houden met de overheersende windrichting in de zomer [g]
Het (water)plein is klimaat adaptief en in het ontwerp is rekening gehouden met piekbuien, hoge luchttemperaturen en neerslagtekort [g]	Het (water)plein is een boegbeeld voor de buurt en een voorbeeld van klimaatadaptatie [m]
Het (water)plein moet ontworpen worden zodat het duidelijk is waar de waterberging zich bevindt, zodat het water en het	Bij het ontwerpen van het (water)plein rekening houden met doorstroming

systeem zichtbaar wordt voor de bezoekers [a]	van wind en waar mogelijk grote objecten vermijden [g]
Het (water)plein heeft een verkoelende werking in de zomer, maar niet of nauwelijks in de winter [b]	De waterberging van het (water)plein kan worden gebruikt om de grondwaterstand op peil te houden en paalrot te voorkomen [i]
Het ontwerp van het (water)plein moet op meerdere locaties ingezet kunnen worden [b]	De waterberging van het (water)plein kan gebruikt worden in droge periodes [g]
De omgevingswaarden voor wateroverlast wordt minimaal 100% opgelost in het plangebied [d + f]	Kunstenaars worden betrokken bij het ontwerpen van het (water)plein [k]
Het (water)plein wordt met zoveel mogelijk groen ingericht met minimaal 15% vegetatie index t.o.v. 85% verhardingsindex [d + e]	Bij voorkeur wordt er gebruik gemaakt van een bodemenergiesysteem of een waterenergiesysteem zoals TEO [d]
Het droogte probleem mag niet groter worden, dus het regenwater wat opgevangen wordt door het (water)plein moet minstens voldoen aan de watervraag (bijvoorbeeld voor vegetatie) voor het (water)plein zelf [i]	Bij voorkeur is het (water)plein schaalbaar en kan het zowel verkleind als vergroot worden toegepast [i]
	Afstroming van het (water)plein ontwerpen op één oor van de straat [a]
	Het (water)plein ontwerpen met een circulair watersysteem, waarbij water geborgen wordt en kan worden hergebruikt [h]
	Gebruik maken van hoogteverschillen voor een mooi ruimtelijk effect [a]

Bronnen:	**Verwijzing:**
Waterberging in en onder pleinen: [a]	(Doelder B. d., 2015)
Hittestress in Rotterdam: [b]	(Gemeente Rotterdam, 2011)
Rotterdams Weerwoord: [c]	(Gemeente Rotterdam, 2019)
Handreiking decentrale regelgeving klimaatadaptief bouwen en inrichten: [d]	(van de Leemkolk , Jongma , Dekker , & Handgraaf, 2020)
Kaders voor beoordelen hitten in ZoHo: [e]	(Rodenburg, 2019)
De omgevingswet: [f] Wordt vermeld in “Handreiking decentrale regelgeving klimaatadaptief bouwen en inrichten.” Omgevingswet komt in 2022 uit.	(van de Leemkolk , Jongma , Dekker , & Handgraaf, 2020)

Personen:	Functie:	Afdeling gemeente R'dam
Joep van Leeuwen: [g]	Adviseur	Stadsontwikkeling
Bert de Doelder: [h]	Adviseur	Stadsontwikkeling
Tara van Iersel: [i]	Adviseur	Stadsbeheer
Rik de Nooijer: [j]	Ontwerper	Stadsontwikkeling
Nicole Majoor: [k]	Projectmanager	Stadsontwikkeling/GGD
Josine van den Bogaard: [l]	Beleidsadviseur	Maatschappelijk Ontwikkeling
Celine Vervaet: [m]	Junior adviseur	Arttenders
Niels Bleij: [n]	Projectvoorbereider	Stadsontwikkeling
Jochum Goede: [o]	Adviseur	Stadsontwikkeling

Bronnen:	Verwijzing:
Waterwet artikel 3.5: [p]	(Ministerie van verkeer en waterstaat , 2020)
Waterwet artikel 3.6: [q]	(Ministerie van verkeer en waterstaat , 2020)

15 Bijlage 8: Waterkwaliteit en ziekteverwekkers

In deze bijlage worden alle risico's beschreven die een gevaar vormen voor de gezondheid van de bezoekers van het (water)plein.

Bij het toepassen van water voor bijvoorbeeld recreatie of besproeiing zijn er veel gezondheidsrisico's. Het hangt sterkt af van de oorsprong van het water. Voor dit onderzoek wordt er gekeken naar de waterkwaliteit van: hemelwater, afstromend hemelwater en grondwater. Drinkwater wordt buiten beschouwing gehouden, omdat ervan uit wordt gegaan dat drinkwater altijd vrij is van ziekteverwekkers.

De zuiverheid van water wordt bepaald door de chemische kwaliteit en microbiologische kwaliteit, waarbij de microbiologische ziekteverwekkers acutere effecten hebben voor de gezondheid dan de chemische kwaliteit. Chemische kwaliteit kan juist zorgen voor meer chronische effecten (van den Bogaard , 2020). De microbiologische ziekteverwekkers kunnen namelijk gezondheidsklachten, zoals maagklachten en oorontstekingen veroorzaken. Alle belangrijke microbiologische ziekteverwekkers worden hieronder beschreven die van nature en door menselijk ofwel dierlijke (meestal feces) in het water voorkomen. Het stedelijk water (wat uiteindelijk in het (water)plein terecht komt) kan namelijk microbiologisch verontreinigd raken. Zowel bij direct als indirect contact met stedelijk verontreinigd water van onvoldoende microbiologische kwaliteit kunnen mensen gezondheidsklachten oplopen (Schets, de Man, van Leuken, & de Roda Husman, 2017).

Microbiologische ziekteverwekkers
Ziekteverwekkende bacteriën die van nature in water voorkomen kunnen bij hoge watertemperaturen uitgroeien tot hoge concentraties. Voorbeelden hiervan zijn: Pseudomonas aeruginosa, de veroorzaker van otitis externa (buitenoorontsteking), Vibrio-soorten, die oorklachten, wondinfecties en gastro-enteritis(maagdarmklachten) kunnen veroorzaken en ook Legionella-soorten komen van nature voor in water. Legionella kan door de competitie om nutriënten met andere micro-organismen slecht vermeerderen, maar in kunstmatige situaties (warm water tussen de 20 en 50 graden) kan Legionella zich juist zeer goed vermenigvuldigen. Daarnaast kunnen mensen alleen geïnfecteerd worden door Legionella (in tegenstelling tot de andere bacteriën) door het inademen van aerosolen (kleine waterdruppeltjes). Legionella-infecties kunnen resulteren in milde tot ernstige longontsteking (Borella, Guerrieri, Marchesi, Bondi, & Messi, 2005)

Daarnaast zijn er ook nog amoeben. De meeste amoeben zijn onschadelijk voor de mens, maar sommige zijn ziekteverwekkend. Naegleria fowleri is een dodelijk, maar zeldzame vorm van hersenvliesontsteking en komt voornamelijk voor in warm oppervlaktewater. Er zijn ook nog amoeben die in symbiose zoals Hartmanella-soorten, leven in symbiose met Legionella en zijn essentieel voor de levenscyclus voor het uitgroeien van Legionella tot hoge concentraties (Kuiper, et al., 2006).

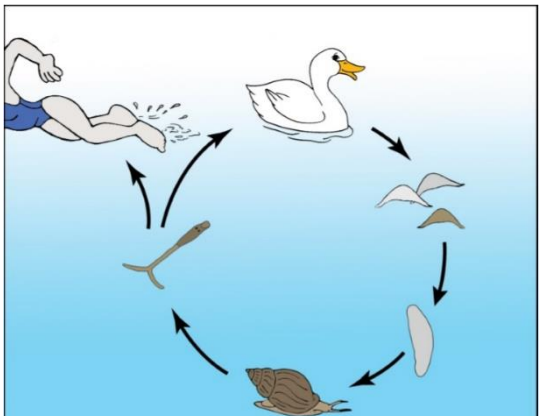
Tot slot zijn er blauwalgen en deze behoren tot de natuurlijke algenpopulatie in water. Bij de juiste omstandigheden, waaronder warm water tussen de 20-30 graden, rustig weer (weinig wind en regen), weinig stroming en veel fosfaat en stikstof in het water, kunnen blauwalg tot hoge concentraties tot bloei komen. Afstervende algen in de bloei zorgen voor stankoverlast voor

zwemmers en omwonenden. Blootstelling aan deze afstervende alge kan leiden tot gezondheidsklachten, zoals maagdarm-, luchtweg-, huid- en oogklachten (Chorus, Salas, Falconer, & Bartram, 2000)

Microbiologische ziekteverwekkers afkomstig van mensen of dieren
Menselijke of dierlijke feces kunnen bij voldoende grote hoeveelheden inslikken (voornamelijk milde) maagdarmklachten veroorzaken, zoals diarree en overgeven. In het water nemen de ziekteverwekkers in aantal geleidelijk af door verdunning, verspreiding, sedimentatie en afsterving. Ziekteverwekkende bacteriën zijn Campylobacter-soorten, Salmonella-soorten, Shigella-soorten, intestinale Enterococcen (IE) en pathogene Escherichia coli (E-coli). De gezondheidsklachten hiervan zijn over het algemeen: diarree en overgeven, maar soms ontstaan ernstigere infecties (World Health Organisation , 2004) (Jiang, 2006)

De belangrijkste door water overdraagbare ziekteverwekkers zijn norovirus, enterovirus, rotavirus, hepatitis A-virus en adenovirus. De gezondheidsklachten van Norovirus zijn acute gastro-enteritis met heftig braken en waterige, niet-bloederige diarree. Enterovirus-infecties kunnen asymptomatisch zijn, maar kan ook leiden tot milde verkoudheid, gastro-enteritis, hand-, voet- en mondziekte, hersenvliesontsteking en polio. Daarnaast veroorzaakt rotavirus voor gastro-enteritis bij mensen en hepatitis A-virus een acute infectie van de lever (hepatitis A). Tot slot zorgen type 40 en 41 van de adenovirussen voor gastro-enteritis en de andere typen adenovirussen veroorzaken luchtwegklachten en oogklachten (Wyn-Jones & Sellwood, 2002)

Vervolgen bestaat er ook een parasiet genaamd Trichobilharzia en is de veroorzaker van zwemmersjeuk. De parasiet komt met via de neusholte of feces van watervogels in het water, waarbij deze zoetwaterslakken vervolgens als tussengastheer fungeren (zie figuur hiernaast). Uiteindelijk komt de Trichobilharzia weer terug bij de eindgastheer de watervogels, maar kunnen tussendoor ook bij mensen in aanraking komen (Horák, et al., 2015). Op deze manier kan er zwemmersjeuk worden opgelopen en het is de meest voorkomende aandoening na zwemmen in oppervlaktewater in Nederland (Schets, de Roda Husman, & Havelaar, Disease outbreaks associated with untreated recreational, 2011).



Figuur 31. Schematisch overzicht van de levenscyclus van Trichobilharzia (Schets, de Man, van Leuken, & de Roda Husman, 2017).

Tot slot zijn de bacteriën die leptospirose veroorzaken, Leptospira-soorten bekend om de Ziekte van Weil. Deze bacteriën komen met de urine (en niet met de feces) van chronisch geïnfecteerde ratten in het water terecht. Het ziektebeeld kan variëren van milde griepachtige klachten tot dodelijke ziekte (Goris, Boer, Duarte, Kliffen, & Hartskeerl, 2014).

Zeldzame microbiologische ziekteverwekker
Botulisme is een vorm van voedselvergiftiging en veroorzaakt door de bacterie Clostridium botulinum (RIVM, 2019). Ideale omstandigheden zijn temperaturen boven 20°C en een eiwitrijk milieu met bijvoorbeeld een dode vogel. Deze bacterie kan zich snel vermenigvuldigen en scheidt daarbij een giftige stof af, genaamd botuline (Zwemwater.nl, 2020).

Waterkwaliteit

De tabel hieronder geeft de waterkwaliteit van hemelwater, afstromend hemelwater en grondwater aan. Vervolgens worden dit in de opeenvolgende paragrafen toegelicht.

Type water	Risico microbiologische kwaliteit	Risico chemische kwaliteit
Hemelwater	Geen	Geen
Afstromend hemelwater	Groot	Groot
Grondwater	Geen	Gering

Tabel 10. Risico's waterkwaliteit.

Kwaliteit hemelwater

Hemelwater is bijna helemaal zuiver en bevat qua chemische stoffen voornamelijk natriumchloride (NaCl). Het gehalte NaCl kan variëren van 5 tot 25 mg/L (van Dijk, s.d.). De chemische stoffen in het hemelwater vormen geen risico voor de gezondheid en daarom kan hemelwater altijd worden toegepast op het (water)plein. De kans is wel groot dat hemelwater wordt verontreinigd door het oppervlak waar het in aanraking meekomt. Daarom wordt aangeraden om dit goed te monitoren. Op de veel voorkomende en gevaarlijke microbiologische ziekteverwekkers: E-coli en Enterococcen. (van den Bogaard , 2020)

Kwaliteit afstromend hemelwater

Door het onderzoek van STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) en RIONED is er over de afgelopen jaren veel duidelijkheid gekomen over de waterkwaliteit van het afstromend hemelwater in Nederland. In de tabel hieronder staat een overzicht van de resultaten. De tabel geeft met kleuren de hoogte van de gemeten concentraties aan ten opzichte van deze KRW-normen voor oppervlaktewater. De belangrijkste KRW-normen zijn de gevaarlijke prioritaire stoffen zijn cadmium en kwik en voor PAK's (Polycyclische aromatische koolwaterstoffen) zijn dit antraceen en benzo(a)pyreen (Boogaard, Liefting, & Langeveld, 2020).

Parameter	Gemiddeld daken en wegen woonwijken	Gemiddeld daken en wegen bedrijven	JG-MKN***	MAC-MKN***	MTR oppervlakte-water (oud)
Cadmium (Cd)** [µg/L]	0,18	1,4	0,08 – 0,25 ****	0,45 – 1,5 ****	2,0
Koper (Cu) [µg/L]	21	20	2,4	-	3,8
Kwik (Hg)** [µg/L]	0,026	0,26	0,00007	0,07	1,2
Lood (Pb)* [µg/L]	21	68	1,2	14	220
Nikkel (Ni)* [µg/L]	4,1	12	4	34	6,3
Zink (Zn) [µg/L]	144	594	7,8	15,6	40
Antraceen** [µg/L]	0,0076	0,0066	0,1	0,1	
Benzo(a)pyreen** [µg/L]	0,048	0,033	0,00017	0,27	
Minerale olie [µg/L]	102	1813	-	-	
CZV [mg O/L]	36	68	-	-	
P-totaal [mg P/L]	0,30	0,52	-	-	0,15
N-Kjeldahl [mg N/L]	2,1	9,9	-	-	MTR N-totaal 2,2 mg/l
NO_3-N [mg N/L] (Nitraatstikstof)	1,5	0,66	-	-	
TSS [mg/L]	38	48	-	-	
E. coli [#/100 ml]	$2,4*10^4$	1135	-	-	$1,0*10^3$ *****

* prioritaire stof
** prioritair gevaarlijke stof
*** De JG-MKN en MAC-MKN voor metalen (cadmium, koper, kwik, lood, nikkel, zink) hebben betrekking op de opgeloste concentratie
**** de normwaarde is afhankelijk van de hardheid van het water
***** zwemwaternorm

Tabel 11. Chemische en microbiologische kwaliteit van afvoerend hemelwater (Bogaard, 2020).

Te zien is dat de prioritaire gevaarlijke stoffen cadmium en kwik en gevaarlijke PAK's antraceen en benzo(a)pyreen oranje en groen aangegeven worden. Oranje betekent dat de concentratie boven de norm van het KRW (Kaderrichtlijn water) zit (Boogaard, Liefting, & Langeveld, 2020). Als het afstromend hemelwater van daken uit de omgeving wordt gebruikt voor het (water)plein, moet er rekening worden gehouden met de aanneembare kans dat deze concentraties ook voorkomen in het water (van den Bogaard , 2020). Voor het onderzoek van STOWA en RIONED is alleen de microbiologische bacterie Escherichia Coli (E.coli) gemeten, omdat dit de meest voorkomende bacterie voor afstromend hemelwater is.

Daarnaast geeft deze bacterie ook een goede indicatie van de waterkwaliteit. In de tabel is te zien dat o.b.v. de zwemwaternorm de meting te hoog is. Het afstromend hemelwater van daken wat op het (water)plein terecht komt, kan dus deze microbiologische bacterie bevatten (van den Bogaard , 2020). Om deze reden is het zonder zuiveringstap gevaarlijk om hemelwater te gebruiken voor bijvoorbeeld speelwater voor een waterspeeltuin.

Grondwater
Kwaliteit van grondwater hangt af van de locatie, waarbij in het algemeen gesteld kan worden hoe dieper het grondwater hoe beter de waterkwaliteit. Grondwater wordt namelijk zuurstofloos (anaëroob) naarmate het zich dieper in de grond bevindt en hierdoor neemt de concentratie bacteriën af. Daarnaast moet er bij het toepassen van grondwater altijd worden bemonsterd, om te controleren of het grondwater niet verontreinigd is (van den Bogaard , 2020).

Grondwater gebruiken van een diepe ondergrondse berging
Het KRW heeft metingen gedaan om de waterkwaliteit van de diepe ondergrondse waterberging van de UWB te bepalen. Dit geeft een indicatie van de microbiologische kwaliteit van het grondwater. Hieruit bleek dat de waterkwaliteit afhangt van de tijdsduur in het diepe grondwater. In het geval dat het water na een korte tijd weer herwonnen werd, zijn er te hogere concentraties van de microbiologische ziekteverwekkers Enterococcen en E. coli gemeten. Als de verblijftijd in de ondergrond ca. 10 dagen of langer bedraagt is er een duidelijk reductie van deze microbiologische ziekteverwekkers te zien (Zuurbier & van Dooren, 2019).

In het algemeen
De onderstaande punten moeten meegenomen voor het systeem van het (water)plein.

- De waterkwaliteit hangt sterk af van de bron;
- De microbiologische kwaliteit heeft acutere effecten voor de gezondheid dan de chemische kwaliteit, maar de chemische kwaliteit kan meer chronische effecten hebben;
- De microbiologische bacteriën komen van nature in water of door dieren en mensen (vaak door feces);
- Hemelwater is van nature van goede kwaliteit;
- De afstroming van het hemelwater kan leiden tot verontreiniging;
- Kwaliteit van grondwater hangt af van de locatie en de diepte;
- Gebruik van grondwater moet vooraf worden bemonsterd;
- Grondwater van een ondergrondse berging kan gebruikt worden, mits het een verblijftijd heeft van langer dan 10 dagen en beluchting is toegepast.

Tot slot zijn er nog geen normen voor speelwater. De reden hiervan is dat er nog geen behoefte voor normen was en normen zorgen ook voor begrenzing van nieuwe innovatieve oplossingen. De verwachting is dat deze normen komende jaren worden opgesteld. Op dit moment wordt geacht bedachtzaam om te gaan met de punten hierboven en risico’s van voornamelijk microbiologische ziekteverwekkers (van den Bogaard , 2020).

Daarnaast geldt voor maatregelen zoals verneveling en bedriegertjes om altijd drinkwater te gebruiken. Uit onderzoek is gebleken dat de kans op gezondheidsklachten groot is als ander water (zoals hemelwater) dan drinkwater wordt toegepast (de Man-van der Vliet, 2014).

16 Bijlage 9: De maatregelen

Standaard maatregelen

Infiltrerende verharding

Infiltrerende verharding is een verharding waardoor het water geïnfiltreerd kan worden in de bodem of berging. Doordat er voegen tussen de stenen zitten kan het water eenvoudig infiltreren. Er zijn veel verschillende soorten infiltrerende verharding zoals: water passerende stenen, grasbetontegels en gietrubber.

Doel: hemelwater infilteren
Status werking: werkt goed in de praktijk

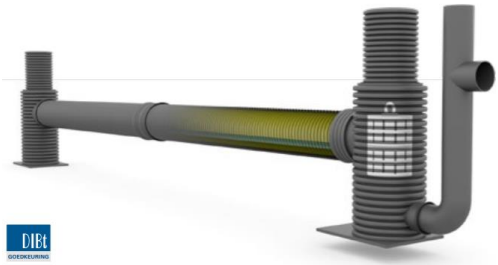
Figuur 32. Water passerende stenen, grasbetontegels en gietrubber (Gemeente Rotterdam , 2017).

Zuiveringsmethode SediSubstrator L

De waterkwaliteit is van groot belang en moet daarom vrij zijn van schadelijke stoffen (zie bijlage 5). Om aan deze eisen te voldoen is de zuiveringsinstallatie SediSubstrator L van SediPipe een goede optie om toe te passen in het systeem van het (water)plein. Deze installatie kan lokaal het water zuiveren en het bevindt zich in de ondergrond (Fränkische , 2018).

Deze variant reinigt:

- Grove stoffen
- Fijne stoffen
- Geb. schadelijke stoffen
- Lichte vloeistoffen
- Opgeloste schadelijke stoffen



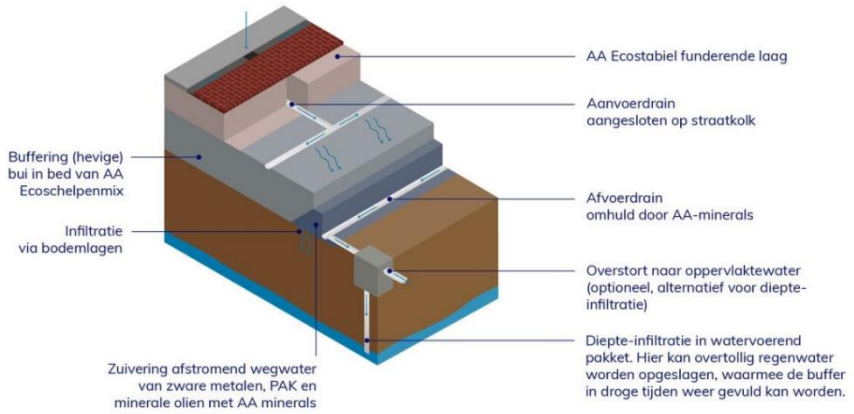
Figuur 33. SediSubstrator L (Fränkische , 2018).

Voornamelijk het absorptiesubstraatfilter is belangrijk, omdat de zware metalen hierdoor niet in de grond/grondwater komen (Fränkische , 2018). In bijlage 10 is de werking van de Sedisubstrator L te vinden a.d.h.v. een doorsnede. Daarnaast is het nadeel van de SediSubstrator L dat het nog niet bekend is hoeveel effect het systeem heeft op de microbiologische bacteriën.

Doel: zuiveringen afstromend hemelwater
Status werking: stromingsscheider getest door verschillende instituten, waaronder TAUW en de TU Delft. Absorptiesubstraatfilter getest en goedgekeurd door DiBt (Duitse instituut voor Bouwtechniek)

Urban Rainshell
De Urban Rainshell is een ondergronds waterberging en een zuiveringssysteem. Bestaande uit natuurlijk, hernieuwbaar en circulair materiaal. Deze maatregel kan afstromend hemelwater zuiveren en laten infiltreren in het grondwater of een berging. Het hemelwater zal gezuiverd worden door een schelpenbed en AA minerals. Hierdoor is het water vrij van zware metalen, minerale oliën en PAK's (EWB, s.d.).

Doel: waterberging, afstromend hemelwater zuiveren, hemelwater infiltreren in grondwater
Status werking: wordt getest in operationele omgeving



Figuur 34. De Urban Rainshell (EWB, s.d.).

Daken uit de omgeving afkoppelen
Bij het afkoppelen van daken kan er van een groot oppervlak veel water worden afgevoerd op het plein. Door het water op te vangen in de berging van het (water)plein kan een deel of de gehele wateropgave van de omgeving worden opgelost. De werking van de afgekoppelde daken is simpel, waarbij er gebruik wordt gemaakt van het hoogteverschil. Bij het toepassen van deze maatregel is het belangrijk om van tevoren te bepalen of de hemelwaterafvoer aan de juiste kant van de panden worden afgevoerd. Aangezien bij sommige panden de regenpijp aan de achterkant van het gebouw zit (zie voorbeeld hieronder).

Figuur 35. Voorbeeld van een plein met geschikte en niet geschikte daken om af te koppelen (Goede, 2020).

Tot slot moet bij het afstromende hemelwater van de daken ook rekening gehouden worden met de waterkwaliteit (zie bijlage 8). Daken kunnen de waterkwaliteit ernstig verslechten en daarom moet het gezuiverd worden, voordat het in de berging en/of in aanraking komt met de bezoekers van het (water)plein.

Doel: wateropgave verminderen
Status werking: werkt goed en wordt vaker toegepast

Maatregelen betreft water

Water heeft een verkoelend effect en kan helpen de gevoelstemperatuur omlaag te brengen. Dit gebeurt door aanraking van het water (verschil in temperatuur), maar ook door de verdamping. Omtrent water zijn een aantal maatregelen uitgekozen die geschikt kunnen zijn voor het (water)plein.

Bedriegertjes (fonteintjes)

Een straatfontein oftewel bedriegertje kan voor verkoeling zorgen en kan een positieve impuls geven aan de buitenruimte. Bezoekers van de bedriegertjes kunnen door de fonteintjes heen lopen en verkoeling krijgen van het koude water. Bedriegertjes werken lokaal goed tegen hittestress. Het aandachtspunt is dat de waterkwaliteit erg belangrijk is en daarom moet er altijd voldoende schoon water dan wel drinkwater worden gebruikt. Daarnaast kunnen bedriegertjes ook worden toegepast om zuurstoflooswater te beluchten.

Doel: verkoeling bezoekers, positieve impuls omgeving
Status werking: Werkt goed in de praktijk

Figuur 36. Bedriegertjes op Schouwburgplein in Rotterdam (CDA , 2014).

Verneveling

Verneveling is een maatregelen om lokaal voor verkoeling te zorgen. Bij verneveling moet altijd gebruik worden gemaakt van schoon drinkwater. De kleine druppeltjes kunnen namelijk makkelijk in de longen terecht komen en gevaarlijk zijn voor de gezondheid. Daarnaast kan verneveling ook een averechts effect hebben. De luchtvochtigheid kan een stuk hoger worden wat leidt tot hogere warmtebelasting. In sommige gevallen kan verneveling zelf voor flauwvallen zorgen (GGD Drenthe , s.d.).

Doel: verkoeling
Status werking: werkt goed met schoon drinkwater en in “grote” ruimtes

Figuur 37. Voorbeeld van verneveling (High Pressure, s.d.).

Waterspeeltuin of natuurspeeltuin
Een waterspeeltuin is een goede manier om recreatie, verkoeling en waterberging samen te voegen. Aan de hand van pompjes kan het hemelwater worden opgepompt en gebruikt om mee te spelen (circulair). Voornamelijk voor kinderen tot 12 jaar is dit een leuke speelplaats om op warme dagen te spelen en verkoeling te krijgen. Belangrijk is ook bij deze maatregel dat de waterkwaliteit goed is en het speelwater geen schadelijke stoffen bevatten.

Daarnaast kan het speelwater weer infiltreren in de berging, waardoor het watersysteem circulair kan worden gemaakt. In figuur 37 is een voorbeeld te zien van een waterspeeltuin op een droge dag. Er kan ook gekozen worden om de functie van de wadi toe toevoegen aan de speeltuin, zodat er tijdelijk water kan worden geborgen (figuur 39).

Doel: waterberging, recreatie en verkoeling
Status werking: beide versies werken goed in de praktijk

Figuur 38. Voorbeeld waterspeeltuin (Siblu villages, s.d.)

Figuur 39. Waterspeeltuin met waterbergende functie van een wadi (Climatescan, 2017).

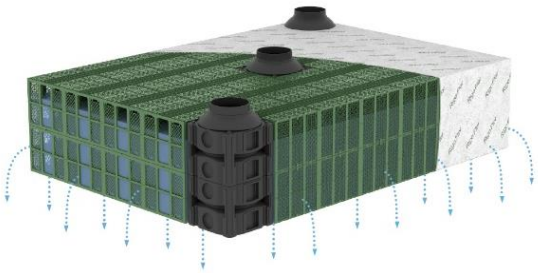
Grindkoffer
Bij een grindkoffer wordt een kuil gevuld met grind en hieromheen zit een laag geotextiel. Hierdoor kan het water gemakkelijk naar de ondergrond infiltreren. Het water kan zowel aan de zijkanten als de onderkant in het grondwater infiltreren. Door een buis of goot kan het water naar de grindkoffer worden afgevoerd (Gebr. Reintjes, s.d.). Het geotextiel houdt het zand of slib tegen, zodat er alleen water door de grindkoffer kan gaan.

Doel: waterberging, hemelwater infiltreren in grondwater
Status werking: werkt goed als berging en wordt veel gebruikt

Figuur 40. Grindkoffer (Gebr. Reintjes, s.d.)

Infiltratiekratten
Infiltratiekratten zorgen voor ondergrondse opslagruimte. Het voordeel van infiltratiekratten is dat het een grote hoeveelheid hemelwater kan bergen en dat er weinig ruimte bovengronds wordt ingenomen. Hierdoor kan het grondgebruik multifunctioneel worden ingericht. Daarnaast wordt er ook geotextiel toegepast om zoveel mogelijk zand en slib tegen te houden (Rainproof, 2020). Met PE-folie kan het water ook nog in de infiltratiekratten blijven staan (de Doelder, 2020).

Het nadeel van infiltratiekratten is dat het niet mogelijk is om bomen boven de kratten de plaatsen. Daarnaast is het ook belangrijk is dat de infiltratiekratten boven de grondwaterstand moeten worden aangelegd. Anders komt er waterspanning op de infiltratiekratten te staan (opdrijven) en staat het deels gevuld met grondwater (minder berging). Er zijn veel verschillende soorten infiltratiekratten, maar de gemeente Rotterdam gebruikt doorgaans de infiltratiekratten van Rigofill (zie figuur 41). Deze infiltratiekratten zijn goed inspecteer -en reinigbaar door een Quadro-control inspectieput (Fränkische, 2017).



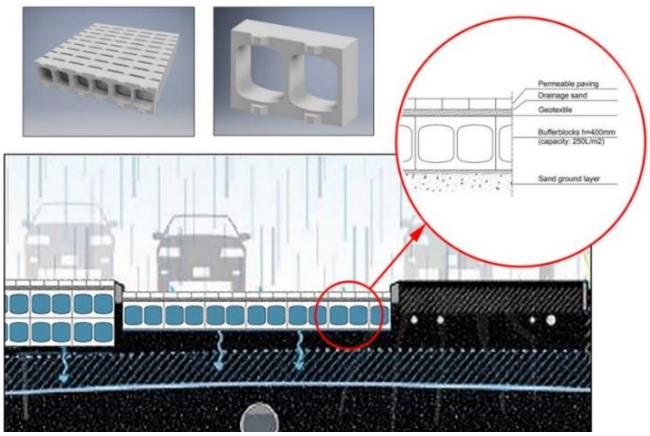
Figuur 41. Rigofill infiltratiekratten met Quadro-control inspectieput (Fränkische, 2017).

Doel: waterberging, hemelwater infiltreren in grondwater of bergen voor droge periodes
Status werking: werkt goed en wordt al gebruikt bij de gemeente Rotterdam

Bufferblocks en Watershells
Andere oplossingen van ondergrondse berging zijn Bufferblocks en Watershells. Beide oplossingen kunnen afhankelijk van de oppervlakte veel berging creëren. In vergelijking met infiltratiekatten nemen deze oplossingen minder diepte in beslag. Waarbij Watershells wat dieper in de bodem geplaatst kunnen worden, zodat het mogelijk is om struiken op de bovengrond te planten (WaterWindow, s.d.). Het voordeel van Bufferblocks is dat ze ook gebruikt kunnen worden bij een hele hoge waterstand, omdat ze vlak onder het maaiveld geplaatst worden (zie doorsnede figuur 43).

Doel: waterberging
Status werking: beide oplossingen werken goed in de praktijk (Watershells bij P-garage Kruisplein en Bufferblocks in de wijk Middelwatering in Capelle)

Figuur 42. Watershells (Disaghor-Dockx, s.d.).



Figuur 43. Bufferblocks (Bufferblocks, 2019).

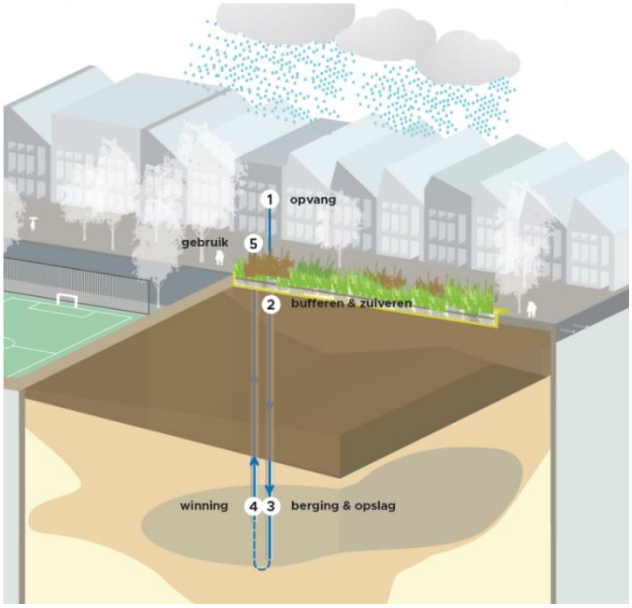
Maatregel betreft de wateraanvoer (bodem)

Voor de varianten zijn er ook verschillende mogelijkheden om voor de wateraanvoer uit de bodem. Hieronder zijn twee mogelijke oplossingen beschreven.

Urban Waterbuffer (UWB)

De UWB is een oplossing voor wateroverlast en droogte in stedelijk gebied. Bij een UWB wordt eerst het hemelwater opgevangen en natuurlijk gezuiverd met een helofytenfilter. Vervolgens wordt het water geborgen in het eerste aquifer. Het opgeslagen hemelwater kan later worden teruggewonnen en kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor het beregenen van vegetatie (Field Factors, s.d.)

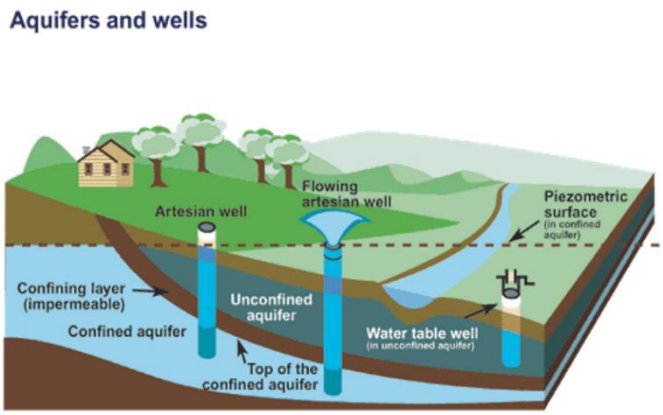
Doel: waterberging, zuiveren, water hergebruiken
Status werking: UWB is vaker gebruikt in de praktijk, waarbij de UWB van het Sparta stadion een goed werkend voorbeeld is



Figuur 44. Werking UWB (TKI Watertechnologie, 2016).

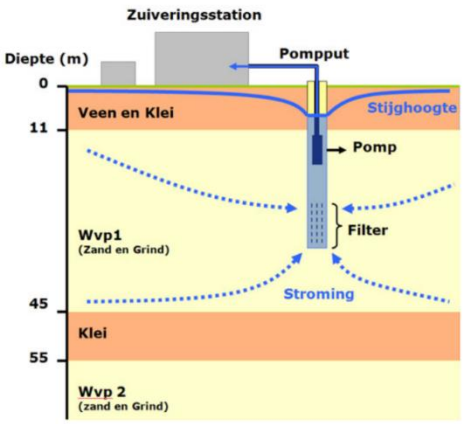
Diepgrondwater gebruiken a.d.h.v. stijghoogte

Ook kan er gebruik worden gemaakt van de stijghoogte van het grondwater. Dit kan worden gedaan bij artesische bronnen. Hierbij is de stijghoogte hoger dan het maaiveld (zie figuur 45). Het diepe grondwater is ingesloten door twee lagen die niet doorlatend zijn. Door een buis te slaan in deze artesische laag kan het water naar het oppervlakte stijgen (De aarde, 2013). Door een afsluiting zoals een kraan te gebruiken kan het water gecontroleerd worden afgetapt. Het nadeel van deze maatregel is dat het water zuurstofloos is en dat er nog beluchting moet worden toegepast, voordat het grondwater gebruikt kan worden.



Figuur 45. Artesische bron (USGS, s.d.).

Hoogstwaarschijnlijk zullen er niet veel plekken zijn met een stijghoogte boven het maaiveld en daarom is het ook mogelijk d.m.v. een pomp het water nog een paar meter op te pompen (zie figuur hiernaast). Door het filter en het zuiveringsstation is het water schoon genoeg om te gebruiken. Er kan gekozen worden om het opgepompte grondwater te beluchten met een bedriegertje. Het diepe grondwater is namelijk zuurstofloos en moet daarom eerst belucht worden (de Doelder, Maatregelen , 2020).
Doel: wateraanvoer
Status werking: wordt in Canada toegepast



Figuur 46. Grondwater winnen a.d.h.v. stijghoogte en pomp (Oasen , 2011).

Maatregelen betreft schaduwvorming

Schaduw heeft effect op de hittestress en kan lokaal direct de gevoelstemperatuur verlagen. Het voorkomt directe blootstelling van de zon op de huid, het vermindert de opwarming van de buitenruimte en de nalevering ervan aan de lucht. Voor schaduwvorming op een (water)plein is er gekeken naar 2 mogelijk oplossingen. Waarbij het verschil van de maatregelen met mobiliteit te maken heeft. Daarnaast bieden bomen ook schaduw, maar deze maatregel wordt verder beschreven in paragaaf maatregelen betreft groen.

Een dak

Een dak boven het plein heeft effect op de hittestress en kan ook effect hebben op de wateropgave. Door het dak wordt er schaduw gecreëerd, waardoor de temperatuur daalt. De schaduw zorgt voor een daling tussen de 0,5 en 1 graad van de luchttemperatuur ten opzichte van niet beschaduwde plekken. Waarbij de gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 10 en 20 graden (Hogeschool van Amsterdam , 2017).

Vervolgens kan een dak hemelwater opvangen en bergen, waardoor dit de wateropgave kan verminderen (ook wel blauwdak genoemd). Met een afvoersysteem kan er worden gekozen of het water op het dak blijft staan of dat geleidelijk wordt afgevoerd op het (water)plein. Dit geldt ook voor een groen dak, waarbij een grasmat op het dak wordt gelegd. Dit kan nog voor extra verkoeling en berging zorgen (Broks & van Luijtelaar, 2015).

Daarnaast is er ook nog een optie om een dak kantelbaar te maken. Een kantelbaar dak kan worden ingesteld om op bepaalde tijden schaduw te creëren. Dit kan bijvoorbeeld op het warmste moment van de dag en zodra de zonkracht afneemt kunnen de daken weer terug gekanteld worden. Dit biedt ook gelijk een mogelijkheid voor de stroming van wind.

Doel: schaduwvorming en (gevoels)temperatuur verlagen, vertragen en bergen van hemelwater
Status werking: een dak zorgt voor schaduw en heeft veel effect op de gevoelstemperatuur (zie paragraaf 5.1.3)

Figuur 47. Voorbeeld dak overdag en ’s avonds (Schaller, 2015).

Tarpen of parasols
Tarpen en parasols kunnen net als een dak ingezet worden om schaduwvorming te creëren. Het voordeel van deze maatregelen is dat ze eenvoudig te plaatsen en te verwijderen zijn. Hierdoor kunnen ze seizoensgebonden gebruikt worden. Daarnaast kunnen ze ook eenvoudig kleurrijk ontworpen worden. In het figuur hiernaast is een voorbeeld te zien van een parasol waar veel mensen de schaduw kunnen opzoeken.

Doel: schaduwvorming en (gevoels)temperatuur verlagen
Status werking: schaduw werkt goed op het verlagen van de gevoelstemperatuur

Figuur 48. Mega parasol (Van Doorn Verhuur B.V., 2020).

Maatregelen betreft wind

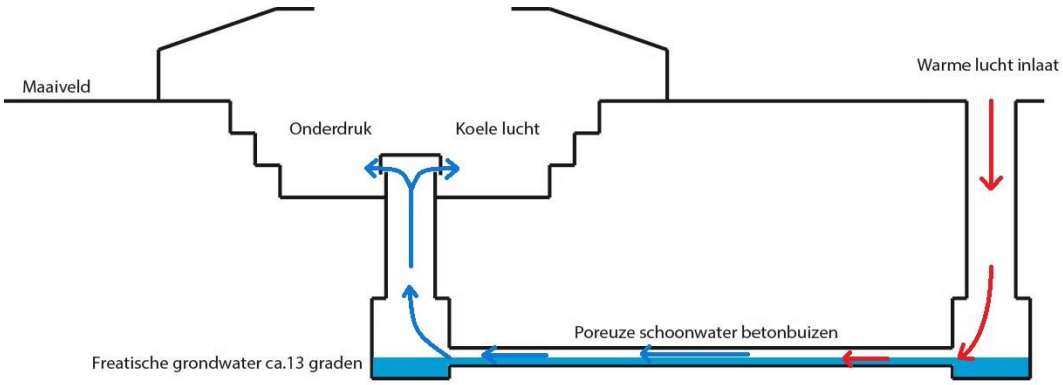
Wind kan helpen de gevoelstemperatuur te verminderen en het (water)plein aangenamer te maken voor de bezoekers. Hieronder staan een twee wind maatregelen beschreven die voor verkoeling zouden zorgen op het (water)plein.

De Coolkuip
De Coolkuip is een maatregel tegen hittestress en maakt hierbij gebruik van wind en water.

Hiernaast genereerd Coolkuip door zijn gebouwvorm 2 natuurlijke eigenschappen:
1 Door zijn gebouw frisbee, vleugelvorm (of evt Toren) een “natuurlijke” trek.
2 Coolkuip gebruik van het soortelijk gewicht van warme en koude lucht voor “verdrijving van warmte “uit een omsloten ruimte.

Zoals te zien is in figuur 49 stroomt warme lucht in de inlaat naar betonbuizen gevuld met schoonwater. Doordat de temperatuur in de ondergrond ongeveer 13 graden is, is het water in de betonbuizen ook deze temperatuur. De warme lucht zal hierdoor afkoelen door het water. Vervolgens kan de koele lucht door onderdruk de Coolkuip instromen en de gevoelstemperatuur verlagen.

Doel: verkoeling
Status werking: Prototype



Figuur 49. Dwarsdoorsnede Coolkuip (Breevoort).

Mega ventilator
Een simpele oplossing om meer wind te creëren is een ventilator. Zoals te zien in figuur 50 hiernaast zijn er ventilatoren in grote versies beschikbaar. Het voordeel van deze ventilatoren is dat verplaatst kunnen worden en seizoensgebonden gebruikt kunnen worden.

Daarnaast is het belangrijk dat er geen ongelukken gebeuren, dus moeten de ventilatoren veilig en betrouwbaar zijn.

Doel: verkoeling
Status werking: Ventilatoren werken goed in de praktijk

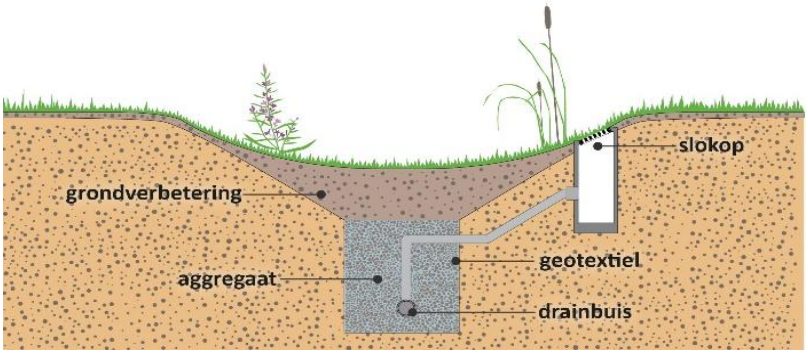
Figuur 50. Mega ventilatoren (Upside-Down, 2020).

Maatregelen betreft groen

Groen wordt veel gebruikt om de buitenruimte klimaat adaptief en robuust te maken. Het heeft effect op de wateropgave en de hittestress. De gemeente Rotterdam wil daarom komende jaren meer groen toepassen in de stad. Hieronder staan een aantal maatregelen die toegepast kunnen worden op een (water)plein.

Wadi met gras of beplanting
Een wadi kan zowel water bergen als infiltreren. De bovenlaag van de wadi is beplant met een doorlaatbare bodem. Hieronder zit een koffer met grind, lavasteen of gebakken kleikorrels. Deze koffer is ingepakt met geotextiel om te zorgen dat er geen slib of wortels in koffer komen. Daarnaast kan er ook nog een drainagebuis in die koffer worden toegepast. Deze buis kan bij hoge grondwaterstanden het water afvoeren naar gebieden meer infiltratiecapaciteit (Rainproof, s.d.).

Tot slot wordt de wadi voorzien een van slokop. Bij hevige regenval zal de slokop functioneren als overlaat die direct naar de drainagebuis wordt afgevoerd. Hierdoor kan het water naar een ander gebied stromen. Als de slokop en de drainagebuis beide gevuld zijn zal de wadi functioneren als bovengrondse afvoer naar oppervlaktewater of naar het riool (Rainproof, s.d.).



Figuur 51. Doorsnede wadi (Rainproof, s.d.).

Doel: waterberging, waterafvoeren naar oppervlaktewater of riool, hemelwater infiltreren in grondwater
Status werking: werkt goed en wordt veel gebruikt in de praktijk

Vegetatie
Bomen, planten, struiken en gras zijn uitstekend geschikt voor verkoeling en waterberging. Daarnaast heeft ook nog een positieve impuls op de leefomgeving. De gemeente Rotterdam wil dan ook komende jaren de stad klimaat adaptief maken door meer groen toe te passen (Gemeente Rotterdam, 2019).

Voornamelijk bomen met een grote omtrek kunnen met schaduwvorming helpen de gevoelstemperatuur te verlagen. Het nadeel van bomen is dat het watersysteem van het (water)plein last kan krijgen van bladval. Hiervoor kan een bladvanger worden toegepast om te voorkomen dat de waterkwaliteit wordt beïnvloed (de Doelder, 2020).

Doel: waterberging en verkoeling
Status werking: groen werkt goed als klimaat adaptieve maatregel

Figuur 52. Vegetatie (Gemeente Rotterdam, s.d.).

17 Bijlage 10: SediSubstrator L

Startput

als slibvang

Sedimentatietraject

met stromingsscheider

DIBt
GOEDKEURING

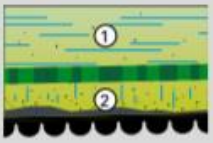
Geoptimaliseerd bezinkingsproces van fijne slib

De langgerekte en compacte sedimentatieruimte zorgt voor korte bezinkingsafstanden en een laminaire stroming. Deze twee factoren samen verhinderen verwervelingen voor het optimale bezinkingsproces.

Reiniging van grof slib

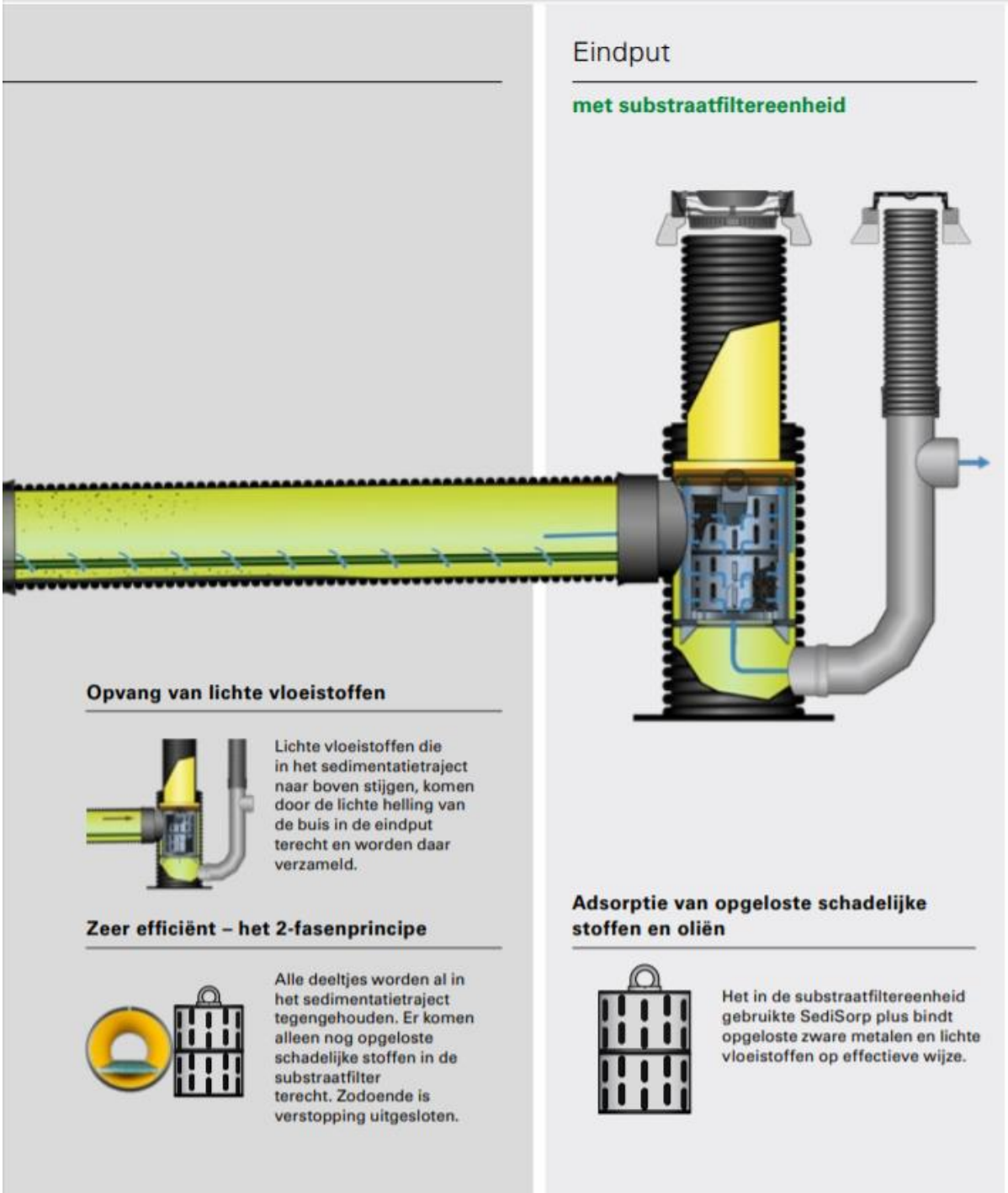
De startput dient als slibvang. Grof slib bezinkt al in de startput.

Depotbeveiliging



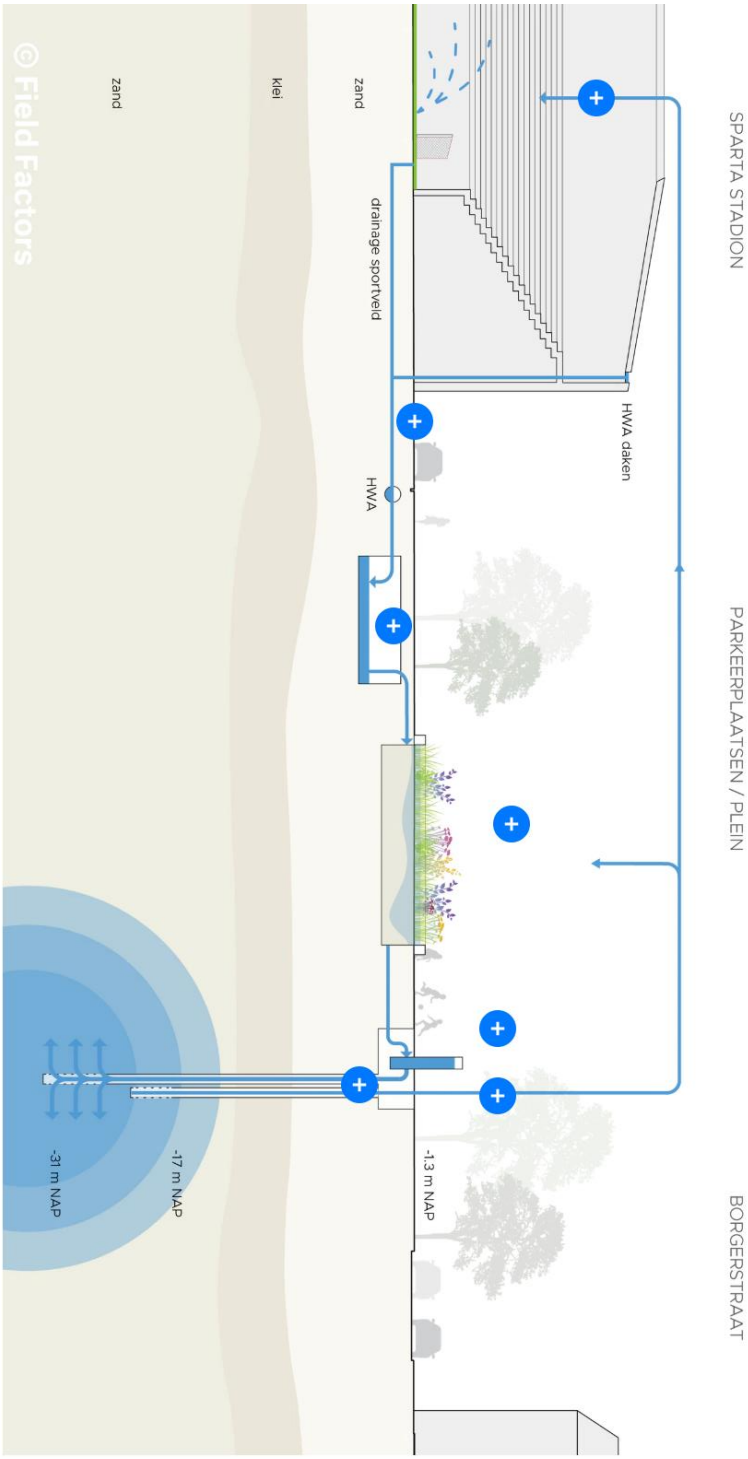
1) Gelijkgerichte propstroming
2) Beveiligd depot

De gepatenteerde stromingsscheidertechnologie zorgt voor een stromingsluwe zone in het depot, zodat reeds bezonken sedimenten ook bij zware neerslag niet kunnen worden gehermobiliseerd.



Bron: (Fränkische , 2018)

18 Bijlage 11: Doorsnede UWB Sparta stadion



Bron: (Field Factors, s.d.)

19 Bijlage 12: Berekeningen varianten

Stepwells

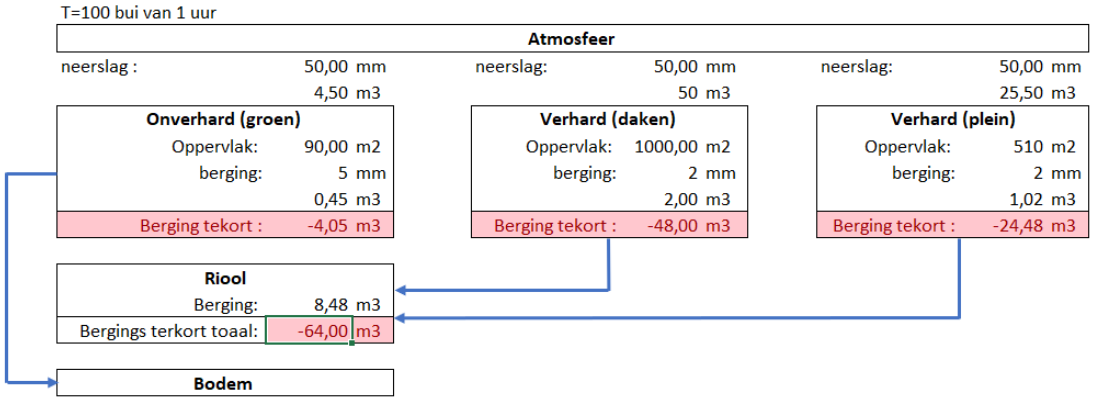
Afmetingen:
Oppervlakte: 600 m^2
Trappen zijn 0,2 meter hoog en 0,4 breed.
Podium is 10 meter lang, 4 meter breed 0,8 meter hoog
Uitlaat Coolkuip: diameter van 1 meter en hoogte van 0,8 meter
Infiltratiekratten: 0,8 meter breed/lang en 0,66 meter hoog — Bron: (Fränkische, 2017)
Inhoud infiltratiekrat: 406 L — Bron: (Fränkische, 2017)
T=100 bui = 50 mm in 1 uur — Bron: gemeente Rotterdam

Berekening berging infiltratiekratten
Totale hoeveelheid hemelwater: 600 x 0,05 = 30.000 L (gedimensioneerd met totale oppervlak, zodat de infiltratiekratten alleen al de t=100 bui aan kan)
Benodigde kratten: 30.000/ 406 = 74 kratten

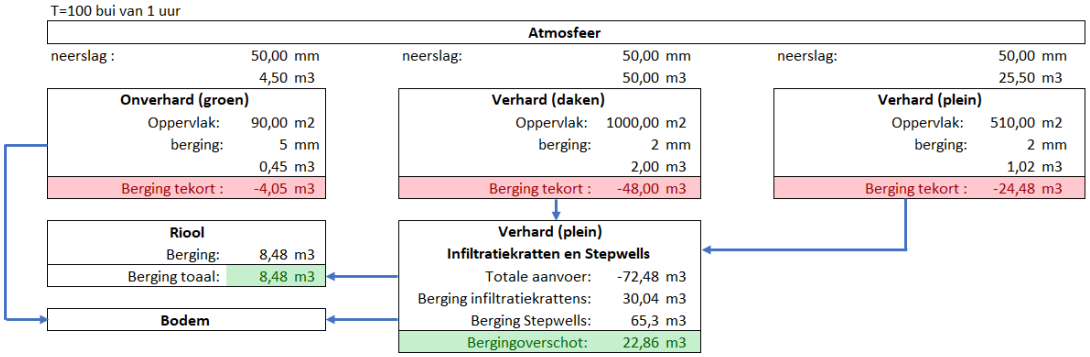
Berekening berging Stepwells
Extra berging indien de infiltratiekratten vol zitten: inhoud grond – (podium – uitlaat Coolkuip): 14,8 x 24,8 x 0,2 – (8 x 4 x 0.2 + π x $0,5^2$ x 0,2) = 67.2 m^3

Totale berging (tot maaiveld gevulde Stepwells): 97.2 m^3

Bakkenmodel situatie t=100 in 1 uur met 1.500 m^2 afkoppelde oppervlak van daken.



Zonder variant Stepwells is er een berging tekort van 64 m^3.



Variant Stepwells resulteert in een bergingsoverschot van 22.86 m3 (Stepwell) en 8,48 m3 (riool).

Waterplein

Afmetingen:
Oppervlakte: 600 m^2
Infiltratiekratten: 0,8 meter breed/lang en 0,66 meter hoog — Bron: (Fränkische, 2017)
T=100 bui = 50 mm in 1 uur — Bron: gemeente Rotterdam
Opp. Totale plein: 600 m^2
Opp. Dak: 250 m^2
Bergingscapaciteit dak: 25 mm — Bron: (Hendriks, 2016)
Hoogteverschil bodem tot overstort: 0,2 meter
Totale hoeveelheid hemelwater bij T=100: 600 x 0,05 = 30 m^3

Berekening berging Waterplein
Inhoud infiltratiekrat: 406 L — Bron: (Fränkische, 2017)

Infiltratiekratten voor T=100 bui: 30.000/ 406 = 74 kratten
Berging infiltratiekratten: 30 m^3
Totaal oppervlak infiltratiekratten: 0,64 x 74 = 47,36 m^2

Berging: Urban Rainshells: 50 m^2 = 22 m^3 — Bron: (EWB designs, 2018)

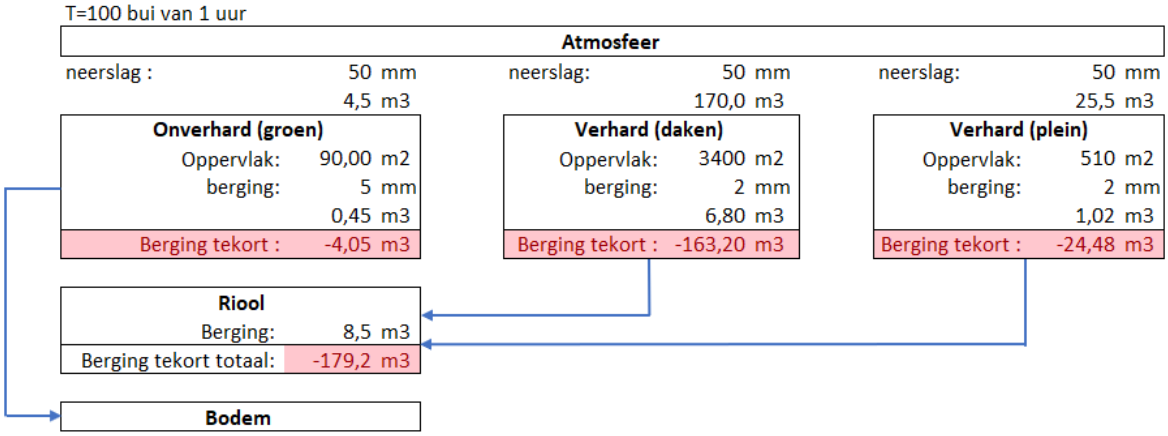
Berging dak: 250 x 0.025 = 6,25 m^3

Berging plein berekening waterplein met waterhoogte van 0,2 meter:
H = 0,2 m
H_2: H_2 – 0,2
Vergrotingsfactor: 30/29: 1,034…
H_2: 1.034(H_2 – 0,2)
H_2: 1.034H_2 – 0,207…
0,0345H_2: 0,207
H_2: 6 m
Hoogte denkbeeldige piramide: 6-0.2: 5.8 m
Inhoud(waterplein): Inhoud (totale piramide) – Inhoud (denkbeeldige piramide) = 1/3 x (30x20) x 6 – 1/3 x (29x19) x 5.8 ≈ 135 m^3

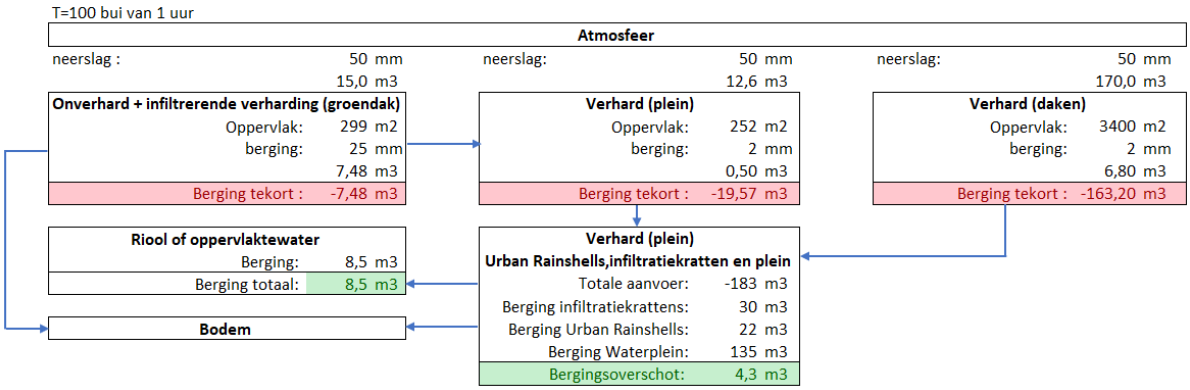
Waterspeeltuin en poten van het dak nemen ca. 10 procent in van de berging (schatting, dit is afhankelijk van het ontwerp). De berging komt neer op ca. 121 m^3

Totale berging Waterplein: 193.25 m^3

Bakkenmodel situatie t=100 in 1 uur met 3.400 m^2 afkoppelde oppervlak van daken.



Zonder variant Waterplein is er een berging tekort van 179,2 m^3



Variant Waterplein resulteert in een bergingsoverschot van totaal 4,3 m^3.

Groenplein

Afmetingen:
T=100 bui = 50 mm in 1 uur — Bron: gemeente Rotterdam
Opp. Totale plein: 600 m^2
Infiltratiekratten: 0,8 meter breed/lang en 0,66 meter hoog — Bron: (Fränkische, 2017)
Berging groen: 5 mm — Bron:

Berekening berging Groenplein
Inhoud infiltratiekrat: 406 L — Bron: (Fränkische, 2017)
Infiltratiekratten voor T=100 bui: 30.000/ 406 = 74 kratten
Berging infiltratiekratten: 30 m^3
Berging groen:
Berging Urban Waterbuffer: ∞ m^3

Totale berging: 30 m^3 (+ berging UWB + groen)

Voor variant Groenplein is geen bakkenmodel uitgewerkt, omdat het plein gedimensioneerd is op een t=100 bui van 1 uur, waarbij geen extra afgekoppeld oppervlak aan toegevoegd kan worden.

Driehoeksplein

Afmetingen:
Opp. Totale plein: 2.400 m^2
Infiltratiekratten: 0,8 meter breed/lang en 0,66 meter hoog — Bron: (Fränkische, 2017)

Berekening berging Driehoeksplein
Inhoud infiltratiekrat: 406 L — Bron: (Fränkische, 2017)
Infiltratiekratten voor T=100 bui: 120.000/ 406 = 296 kratten
Berging infiltratiekratten: 120 m^3
Totale berging: 30 m^3 (+berging UWB + groen)

20 Bijlage 13: Beheer en onderhoud

Voor de beoordeling van het criterium beheer en onderhoud is gekeken naar de maatregelen van de varianten. Er wordt alleen gekeken naar beheer en onderhoud in de beginperiode (na aanleg) van de maatregelen, zodat een algemeen beeld gevormd kan worden van het beheer en onderhoud. In de praktijk zal een beheersplan worden opgesteld, waarbij al het beheer en onderhoud wordt uitgewerkt.

Beheer en onderhoud van variant Stepwells:

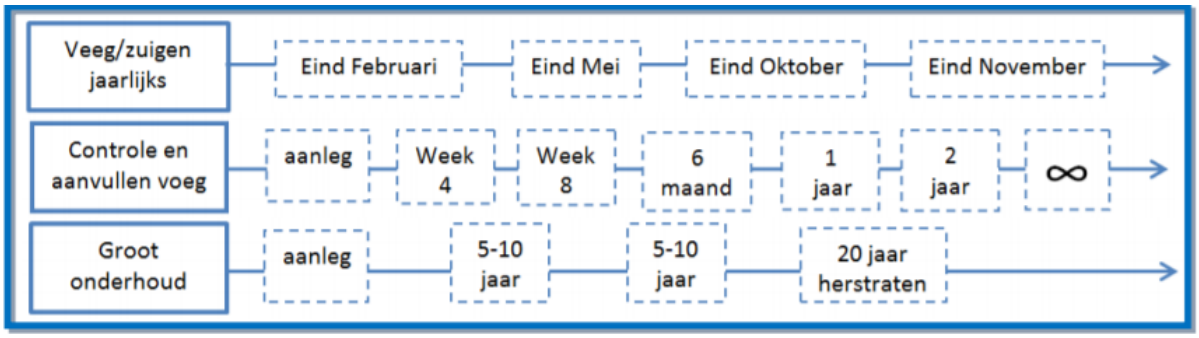
Maatregel	Beheer en onderhoud	Bron
Coolkuip	Niet tot nauwelijks	(de Doelder, 2020)
SediSubstrator L	1 x per 4 jaar	(Fränkische , 2018)
Infiltratiekratten	1 x per jaar	(Geitenbeek & van der Linden , 2020)

Beheer en onderhoud van variant Waterplein

Maatregel	Beheer en onderhoud	Bron
Groen dak	1 x per jaar	(Broks & van Luijtelaar, 2015)
Infiltrerende verharding en gietrubber	Zie schema hieronder	(Ras & Rook, 2014)
Urban Rainshells	1 x per 1.5 jaar (wordt getest)	(EWB solutions, s.d.)
Infiltratiekratten	1 x per jaar	(Geitenbeek & van der Linden , 2020)
Overstort naar riool of oppervlaktewater	1 x per jaar	(de Doelder, Beheer en onderhoud, 2020)

Beheer en onderhoud van variant Groenplein

Maatregel	Beheer en onderhoud	Bron
Urban Waterbuffer (hele systeem)	Maandelijks	(de Doelder, Beheer en onderhoud, 2020)
Voetbalveld (infiltratie)	Niet tot nauwelijks	(de Doelder, Beheer en onderhoud, 2020)
Vegetatie	Maandelijks	(de Doelder, Beheer en onderhoud, 2020)



Figuur 53. Beheer en onderhoud voor infiltrerende verharding en gietrubber (Ras & Rook, 2014).

21 Bijlage 14: Terugkoppeling programma van eisen en wensen

In deze bijlage wordt er een terugkoppeling gemaakt van de varianten naar het programma van eisen en wensen. Hierdoor kan worden achterhaald of de varianten voldoen aan de eisen en wensen. Per aspect worden de eisen en wensen benoemd die gelden voor het systeem van de variant en daarbij de reden waarom de variant wel of niet voldoet aan de eis of wens.

Variant Stepwells

Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet het overtollig regenwater inzamelen en verwerken naar oppervlaktewater, grondwater of naar het riool	Het water zal vanuit de infiltratiekratten naar het grondwater infiltreren of naar het riool/oppervlaktewater afstromen (afhankelijk van de locatie)
Het (water)plein mag geen structurele nadelige gevolgen van een te lage of te hoge grondwaterstand veroorzaken	Het grondwater zal stijgen tot de infiltratiekratten (ongeveer 1 meter onder het maaiveld), waardoor het op peil blijft. Het overige water zal afstromen naar het riool/oppervlaktewater (afhankelijk van de locatie)

Sociale aspecten:

Eis of wens	Reden
-	-

Gezondheid en veiligheid op het (water)plein/Gezondheid en veiligheid op de berging/maatregel:

Eis of wens	Reden
De functies op het (water)plein mogen niet kwetsbaar zijn voor de bezoekers	De uitlaat van de Coolkuip kan handmatig of automatisch gesloten worden.
Om verdrinkingsgevaar te voorkomen is er een maximale waterhoogte van 20 centimeter toegestaan	De overstort op het riool/oppervlaktewater (afhankelijk van de locatie) is geplaatst op een hoogte van 20 centimeter, waardoor het water niet hoger kan dan dit.
Er mag niet langer dan 36 uur water op het plein staan	Het water infiltreert direct naar het grondwater, of zal overstorten naar het riool/oppervlaktewater (afhankelijk van de locatie).

Recreatie op het (water)plein/Recreatie op berging/maatregel:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet minsten één recreatieve functie hebben	Groot podium midden op het plein kan gebruikt worden voor voorstellingen of presentaties

Beheer en onderhoud op het (water)plein/Beheer en onderhoud berging/maatregel

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet ontworpen worden zodat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden	Deze variant heeft weinig onderdelen om te beheren en onderhouden (zie bijlage 13)

Kosten en duurzaamheid:

Eis of wens	Reden
Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het plein gebruiken i.v.m. beheer en onderhoudskosten	Er zijn geen mechanische of sturende voorzieningen op het plein. Alleen de uitlaat van de Coolkuip kan wel mechanisch worden ontworpen

Technische aspecten:

Eis of wens	Reden
De maximale waterhoogte van het (water)plein is 20 centimeter en kan worden begrensd door een overstort naar het riool of oppervlaktewater	De overlaat is op geplaatst op een hoogte van 20 centimeter vanaf de bodem van het plein.
Waterberging gedimensioneerd op 50 mm in 1 uur (t=100 bui)	Zie bijlage 12 voor berekeningen van de berging
Binnen 48 uur moet de berging weer beschikbaar zijn voor de volgende bui	Het water in de infiltratiekratten zal langzaam infiltreren. Het is niet zeker of de kratten binnen 48 uur helemaal leeg zijn. Hiervoor moet monitoring worden uitgevoerd

Overige aspecten:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet multifunctioneel zijn	Het plein is bedoeld om de klimaatopgave: hitte, droogte en water te verminderen. Heeft een podium voor recreatie en het is een plein om samen te komen.
Eisen omtrent warmte	Uit onderzoek naar dit soort systemen is gebleken dat de temperatuur met 2 graden zal afnemen (zie paragraaf 5.1.1)
Het (water)plein is klimaat adaptief en in het ontwerp is rekening gehouden met piekbuien, hoge luchttemperaturen en neerslagtekort	De berging kan een t=100 aan van 1 uur. Door de Coolkuip kunnen de hoge luchttemperaturen gebruikt worden voor verkoeling. Daarentegen helpt deze variant om het hemelwater te infiltreren in het grondwater voor droge periodes, maar heeft geen werking als er een neerslagtekort is
Het (water)plein moet ontworpen worden dat het duidelijk is waar de waterberging zich	De afvoerputten naar de SediSubstrator L, zijn duidelijk te zien op het plein.

bevindt, zodat het water en het systeem zichtbaar wordt voor de bezoekers	
Het (water)plein heeft een verkoelende werking in de zomer, maar niet of nauwelijks in de winter	De uitlaat van de Coolkuip kan afgesloten worden.
De omgevingswaarden voor wateroverlast wordt minimaal 100% opgelost in het plangebied	Het plein kan tot 1.500 m^2 aan extra afgekoppeld oppervlak verwerken (met t=100 bui van 1 uur) zie paragraaf 5.1.2.
Het (water)plein wordt met zoveel mogelijk groen ingericht met minimaal 15% vegetatie index t.o.v. 85% verhardingsindex	In deze variant is geen groen toegepast dit kan door een landschapsarchitect gerealiseerd worden met plantenbakken naast het plein.
De waterberging van het (water)plein kan worden gebruikt om de grondwaterstand op peil te houden en paalrot te voorkomen	Het water zal vanuit de infiltratiekratten naar het grondwater infiltreren

Variant Waterplein

Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet het overtollig regenwater inzamelen en verwerken naar oppervlaktewater, grondwater of naar het riool	Als de Urban Rainshells en de infiltratiekratten hun maximale bering hebben bereikt, wordt het water geborgen op het Waterplein met een maximale waterhoogte tot 20 cm. Als er meer water valt dan zal het afvoeren naar het riool/oppervlaktewater (afhankelijk van de locatie)
Het (water)plein mag geen structurele nadelige gevolgen van een te lage of te hoge grondwaterstand veroorzaken	Het hemelwater wordt voornamelijk geborgen in de Urban Rainshells en de infiltratiekratten. Door de doorlatende verharding kan er wel een gedeelte infiltreren in het grondwater. De effecten hierop zullen naar verwachting geen problemen voor de grondwaterstand veroorzaken, maar dit kan in de praktijk worden gemonitord.

Sociale aspecten:

Eis of wens	Reden
-	-

Gezondheid en veiligheid op het (water)plein/Gezondheid en veiligheid op de berging/maatregel:

Eis of wens	Reden
Bij het hergebruiken van afvoerend hemelwater of grondwater moet er een zuiveringstap worden ingezet om gezondheidsklachten te voorkomen (zie bijlage 8)	Er wordt gebruikt gemaakt van de Urban Rainshells (zie bijlage 9)
Water dat in contact komt met de gebruikers van het (water)plein voldoet minstens aan de	Het is nog onduidelijk hoe goed de Urban Rainshells het water kan zuiveren, waarbij

belangrijke waterkwaliteitsnormen van het KRW (zie bijlage 8 voor meer informatie)	onzekerheid is over verwijdering van de microbiologische bacteriën.
Water dat gebruikt wordt tegen verdroging of verkoeling (regen- of grondwater) zoals besproeiing mag niet microbiologisch verontreinigd zijn (zie bijlage 8) [l]	Voor deze variant is regelmatig beheer en onderhoud nodig, voornamelijk voor het gietrubber en de infiltrerende verharding.
De functies op het (water)plein mogen niet kwetsbaar zijn voor de bezoekers	De waterspeeltuin is ontworpen voor kinderen en wordt als veilig beschouwd. Daarnaast is er wel gevaar voor het beklimmen van het dak.
Om verdrinkingsgevaar te voorkomen is er een maximale waterhoogte van 20 centimeter toegestaan	De overstort op het riool/oppervlaktewater (afhankelijk van de locatie) is geplaatst op een hoogte van 20 centimeter, waardoor het water niet hoger kan dan dit.
Er mag niet langer dan 36 uur water op het plein staan	Bij een lange periode van veel neerslag de Urban Rainshells, de infiltratiekratten maar ook de bodem rondom het plein verzadigd raken. Hierdoor zal het waterplein gevuld worden en bestaat de kans dat het water op het plein blijft staan. Deze situatie zal zelden voorkomen vanwege de grote berging, maar het water moet dan weggepompt worden naar oppervlaktewater.

Recreatie op het (water)plein/Recreatie op berging/maatregel:

Eis of wens	**Reden**
Het (water)plein moet minsten één recreatieve functie hebben	Deze variant heeft een waterspeeltuin voor kinderen

Beheer en onderhoud op het (water)plein/Beheer en onderhoud berging/maatregel

Eis of wens	**Reden**
Het (water)plein moet ontworpen worden dat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden	Het beheer en onderhoud is voor deze maatregel voornamelijk maandelijks, waarbij de Urban Waterbuffer de meeste aandacht nodig heeft.

Kosten en duurzaamheid:

Eis of wens	**Reden**
Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het plein gebruiken i.v.m. beheer en onderhoudskosten	Er zijn geen mechanische of sturende voorzieningen
Let op de kleur van materialen; aftekening van het slib op lichte materialen is aandachtspunt	Het gietrubber bestaat uit witte en blauwe kleuren en kunnen wellicht aftekeningen van slib vertonen na een periode

Technische aspecten:

Eis of wens	Reden
De maximale waterhoogte van het (water)plein is 20 centimeter en kan worden begrensd door een overstort naar het riool of oppervlaktewater	De overlaat is op geplaatst op een hoogte van 20 centimeter vanaf de bodem van het plein.
Waterberging gedimensioneerd op 50 mm in 1 uur (t=100 bui)	Zie bijlage 12 voor berekeningen van de berging
Binnen 48 uur moet de berging weer beschikbaar zijn voor de volgende bui	Het water zal in de infiltratiekratten blijven om hergebruikt te worden voor de waterspeeltuin, hierdoor kan de volledige berging niet altijd beschikbaar zijn.

Overige aspecten:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet multifunctioneel zijn	Het plein is bedoeld om de klimaatopgave: hitte, droogte en water te verminderen. Heeft een waterspeeltuin voor recreatie en het is een plein om samen te komen.
Eisen en wensen omtrent hitte	Een groen dak, waterspeeltuin en de lichte kleuren van het gietrubber zorgt voor een verlaging van de temperatuur (zie paragraaf 5.1.3.)
Het (water)plein is klimaat adaptief en in het ontwerp is rekening gehouden met piekbuien, hoge luchttemperaturen en neerslagtekort	De berging kan een t=100 aan van 1 uur. Door een groen dak, waterspeeltuin en de kleuren van het gietrubber zal de luchttemperatuur dalen (zie paragraaf 5.1.3). Daarnaast houden de infiltratiekratten het water vast voor droge periodes.
Het (water)plein ontwerpen met een circulair watersysteem, waarbij water geborgen wordt en kan worden hergebruikt	Zie hierboven
Het (water)plein moet ontworpen worden dat het duidelijk is waar de waterberging zich bevindt, zodat het water en het systeem zichtbaar wordt voor de bezoekers	Door de kleuren van het gietrubber kan aangegeven worden waar de berging zich bevindt.
Het (water)plein heeft een verkoelende werking in de zomer, maar niet of nauwelijks in de winter	De waterspeeltuin zal in de winter niet toegankelijk zijn.
De omgevingswaarden voor wateroverlast wordt minimaal 100% opgelost in het plangebied	Het plein kan tot 3.400 m^2 aan extra afgekoppeld oppervlak verwerken (met een t=100 bui van 1 uur) zie paragraaf 5.1.3.
Het (water)plein wordt met zoveel mogelijk groen ingericht met minimaal 15% vegetatie index t.o.v. 85% verhardingsindex	Doordat het er een groen dak wordt gebruikt van 250 m^2, bestaat 42% van het oppervlak uit groen.

De waterberging van het (water)plein kan worden gebruikt om de grondwaterstand op peil te houden en paalrot te voorkomen	Een gedeelte van het grondwater kan naar het grondwater infiltreren, maar deze variant is niet ontworpen om de grondwaterstand op peil te houden
Bij voorkeur is het (water)plein schaalbaar en kan het zowel verkleind als vergroot worden toegepast	Deze variant kan zowel vergroot als verklein worden (zie paragraaf 5.1.3)

Variant Groenplein:

Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet het overtollig regenwater inzamelen en verwerken naar oppervlaktewater, grondwater of naar het riool	Als de infiltratiekratten vol komen te zitten kan het overtollige water aan de hand van een overstort in naar het riool/oppervlaktewater (afhankelijk van de locatie) worden afgevoerd
Het (water)plein mag geen structurele nadelige gevolgen van een te lage of te hoge grondwaterstand veroorzaken	Het hemelwater wordt afgevoerd naar een diepe ondergronds waterberging, waarbij de grondwaterstand hiervan geen lasten ondervindt

Sociale aspecten:

Eis of wens	Reden
-	-

Gezondheid en veiligheid op het (water)plein/Gezondheid en veiligheid op de berging/maatregel:

Eis of wens	Reden
Bij het hergebruiken van afvoerend hemelwater of grondwater moet er een zuiveringstap worden ingezet om gezondheidsklachten te voorkomen (zie bijlage x)	Er wordt gebruikt gemaakt van een helofytenfilter en door de anaerobe situatie wordt de waterkwaliteit ook beter
Water dat in contact komt met de gebruikers van het (water)plein voldoet minstens aan de belangrijke waterkwaliteitsnormen van het KRW (zie bijlage 8 voor meer informatie)	Volgens de monitoring gegevens van het KRW is het water na 10 dagen veilig om gebruikt te worden voor besproeiing (zie paragraaf 5.1.3)
Water dat gebruikt wordt tegen verdroging of verkoeling (regen- of grondwater) zoals besproeiing mag niet microbiologisch verontreinigd zijn (zie bijlage 8) [l]	Zie hierboven
De functies op het (water)plein mogen niet kwetsbaars zijn voor de bezoekers	Om de zuil zit een roestvrijstaal-constructie ter bescherming
Honden zijn niet toegelaten op de berging/maatregel om dierlijke feces te voorkomen (zie bijlage 8	Honden zijn wel toegelaten in deze variant. Alleen niet op het kunstgras voetbalveld, omdat hier de infiltratie plaatsvindt voor de Urban Waterbuffer

Recreatie op het (water)plein/Recreatie op berging/maatregel:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet minsten één recreatieve functie hebben	In deze variant zit een kunstgras voetbalveld en het plein kan gebruikt worden om te relaxen en samen te komen

Beheer en onderhoud op het (water)plein/Beheer en onderhoud berging/maatregel

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet ontworpen worden dat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden	Het plein moet maandelijks onderhouden, waarbij voornamelijk de Urban Waterbuffer de meeste beheer en onderhoud nodig heeft (zie bijlage 13)

Kosten en duurzaamheid:

Eis of wens	Reden
Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het plein gebruiken i.v.m. beheer en onderhoudskosten	Dit geldt alleen voor de zuil van Urban Waterbuffer

Technische aspecten:

Eis of wens	Reden
Waterberging gedimensioneerd op 50 mm in 1 uur (t=100 bui)	Zie bijlage 12 voor berekeningen van de berging
Binnen 48 uur moet de berging weer beschikbaar zijn voor de volgende bui	Het water in de infiltratiekratten zal afstromen naar het helofytenfilter of naar het riool/oppervlaktewater, waardoor het weer voor de volgende bui gebruikt kan worden

Overige aspecten:

Eis of wens	Reden
Het (water)plein moet multifunctioneel zijn	Het plein is bedoeld om de klimaatopgave: hitte, droogte en water te verminderen. Heeft een voetbalveld voor recreatie en het is een plek om te relaxen en samen te komen
Eisen en wensen omtrent hitte	Het groen en de schaduwvorming van het dakje zorgt in deze variant voor de verkoeling (zie paragraaf 5.1.3.)
Het (water)plein is klimaat adaptief en in het ontwerp is rekening gehouden met piekbuien, hoge luchttemperaturen en neerslagtekort	De berging kan een t=100 aan van 1 uur. Door het groen zal de luchttemperatuur dalen (zie paragraaf 5.1.3). Daarnaast houdt de ondergrondse waterberging het water vast voor droge periodes.

Het (water)plein ontwerpen met een circulair watersysteem, waarbij water geborgen wordt en kan worden hergebruikt	Zie hierboven
Het (water)plein moet ontworpen worden dat het duidelijk is waar de waterberging zich bevindt, zodat het water en het systeem zichtbaar wordt voor de bezoekers	Bij het kunstgras voetbalveld zal a.d.h.v. een bord worden aangegeven wat er onder het veld ligt.
Het (water)plein heeft een verkoelende werking in de zomer, maar niet of nauwelijks in de winter	Deze variant heeft in de winter geen verkoelend effect. Er zal ook nauwelijks of helemaal geen besproeiing worden gedaan
De omgevingswaarden voor wateroverlast wordt minimaal 100% opgelost in het plangebied	Het plein is gedimensioneerd op een t=100 bui van 1 uur en heeft daarbij een bijna oneindige waterberging in de ondergrond
Het (water)plein wordt met zoveel mogelijk groen ingericht met minimaal 15% vegetatie index t.o.v. 85% verhardingsindex	Deze variant is bijna helemaal groen ingericht
De waterberging van het (water)plein kan worden gebruikt om de grondwaterstand op peil te houden en paalrot te voorkomen	Een gedeelte van het grondwater zal naar het grondwater infiltreren, maar deze variant is niet ontworpen om de grondwaterstand op peil te houden
Bij voorkeur is het (water)plein schaalbaar en kan het zowel verkleind als vergroot worden toegepast	Deze variant kan gezien de kosten en baten alleen vergroot worden (zie paragraaf 5.1.3)

22 Bijlage 15: Kosten varianten

Stepwells

Onderdeel	*Aantal*	*Eenheid*	*Kosten*	*Toelichting*	*Bron*
Coolkuip	1	st	€ 50.000,00	Schatting	
Sedisubstrator L	2	st	€ 3.000,00	€1500/st	Niels Blije
Podium	1	st	€ 800,00	Schatting	
Infiltratiekratten	74	st	€ 7.500,00	Alles erop ca. €104	Prijslijst 2017 Rigofill
Grond afgraven	268	m3	€ 4.020,00	€15/m3	(Grondverzet)
Grond afvoeren	268	m3	€ 9.380,00	€35/m3	(Grondverzet)
Dak	1	st	€ 8.000,00	Schatting	Martin van Loenen
Trappen	400	m	€ 40.000,00	€ 100/m1 traptrede (20x50cm)	Martin van Loenen
Overstort + leidingen	50	m	€ 7.500,00	€150/m kosten en aanleg (kleine leiding)	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 122.700,00		
Indirecte kosten	23%	%	€ 28.221,00	kosten aannemer: EK, AK, W&R	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 150.921,00		
Engineering	21%	%	€ 31.693,41	planvorming, voorbereiding, directievoering en toezicht, communicatie	Martin van Loenen
Bijkomende kosten (onderzo	5%	%	€ 7.546,05	zoals onderzoek en leges	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 190.160,46		
Risico's	25%	%	€ 47.540,12	0%	Martin van Loenen
Totaal:			€ 237.700,58	euro	

Waterplein

Onderdeel	*Aantal*	*Eenheid*	Kosten	*Toelichting*	*Bron*
Groendak totaal	1	st	€ 24.000,00	Schatting	(verbouwkosten)
Doorlatende verharding	96	m2	€ 1.536,00	€16/m2	(TAUW)
Gietrubber	504	m2	€ 60.480,00	€120/m2 kosten en aanleg	Martin van Loenen
Waterpspeeltuin	1	st	€ 4.000,00	Schatting	
Overstort + leidingen	50	m	€ 7.500,00	€150/m kosten en aanleg (kleine leiding)	Martin van Loenen
Urban Rainshells	500	m2	€ 53.550,00	€107,10/m3	EWB prijslijst
Infiltratiekratten	74	st	€ 7.500,00	Alles erop ca. €104	Prijslijst 2017 Rigofill
Terugslagklep	1	st	€ 250,00	€ per stuk (grove aanname)	Martin van Loenen
Grond afgraven	337	m3	€ 4.020,00	€15/m3	(Grondverzet)
Grond afvoeren	337	m3	€ 9.380,00	€35/m3	(Grondverzet)
Subtotaal			€ 158.866,00		
Indirecte kosten	23%	%	€ 36.539,18	kosten aannemer: EK, AK, W&R	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 195.405,18		
Engineering	21%	%	€ 41.035,09	planvorming, voorbereiding, directievoering en toezicht, communicatie	Martin van Loenen
Bijkomende kosten (onderzo	5%	%	€ 9.770,26	zoals onderzoek en leges	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 246.210,53		
Risico's	25%	%	€ 61.552,63		Martin van Loenen
Totaal:			€ 307.763,16	euro	

Groenplein

Onderdeel	*Aantal*	*Eenheid*	Kosten	*Toelichting*	*Bron*
Urban Waterbuffer	1	st	€ 489.275,00	Zie kostenraming Urban Waterbuffer Ahoy	Kostenraming UWB
Voetbalveld (Cruyff Court)	1	st	€ 120.000,00	tussen €50 en €100/m2 voor kunstgras en aanleg	Martin van Loenen
Infiltratiekratten	74	st	€ 7.500,00	Alles erop ca. €104	Prijslijst 2017 Rigofill
Dak met beplanting	1	st	€ 7.000,00	ca. €7000/st	Martin van Loenen
Middelgrote gewone beuk	12	st	€ 30.000,00	€2500/st	(tenhoven-bomen)
Gras inzaaien	350	m2	€ 2.450,00	€7/m2	(Hovenier)
Beplanting/struiken	50	m2	€ 1.000,00	€20/m2	(Hovenier)
Asfalt t.b.v. voetpad	80	m2	€ 2.400,00	€30/m2 voor materiaal en aanlegkosten	Martin van Loenen
Terugslagklep	1	st	€ 250,00	€	Martin van Loenen
Overstort + leidingen	50	m	€ 7.500,00	€150/m kosten en aanleg (kleine leiding)	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 667.375,00		
Indirecte kosten	23%	%	€ 153.496,25	kosten aannemer: EK, AK, W&R	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 820.871,25		
Engineering	21%	%	€ 172.382,96	planvorming, voorbereiding, directievoering en toezicht, communicatie	Martin van Loenen
Bijkomende kosten (onderzo	5%	%	€ 41.043,56	zoals onderzoek en leges	Martin van Loenen
Subtotaal			€ 1.034.297,78		
Risico's	25%	%	€ 258.574,44		Martin van Loenen
Totaal:			€ 1.292.872,22		

23 Bijlage 16: Criteria en toelichting puntenverdeling

Voor de multicriteria analyse is gekozen voor 6 hoofdcriteria die het afwegingskader zullen zijn van de varianten. Deze criteria zijn bepaald aan de hand van referentieprojecten, aanbevelingen van experts van de gemeente Rotterdam en de doelstelling van dit onderzoek. De weging hangt af van hoe belangrijk de criteria is voor een succesvol (water)plein, waarbij voornamelijk het doel om de klimaatopgaven hitte, droogte en wateropgave te verminderen het meest belangrijke is.

Hieronder staat per criterium beschreven waarom het behoort tot het afwegingskader en om welke reden voor de desbetreffende weging gekozen is.

Kosten 20%
De kosten is een belangrijk criterium en daarom telt het voor 20% mee bij de eindscore. Aangezien een ontwerp met lage kosten in potentie een betere kans heeft om te realiseren dan een ontwerp met hoge kosten. De kosten zullen uiteindelijk ook de haalbaarheid van het ontwerp bepalen.
Ook kan een succesvol “goedkope” variant vaker worden ingezet dan hele dure variant.

Daarnaast is al eerder beschreven dat het voor dit onderzoek lastig is om de exacte kosten te bepalen. Dit kost voor dit onderzoek te veel tijd en het is een algemeen ontwerp, wat door een landschapsarchitect verder uitgewerkt moet worden. De kosten zijn daarom afhankelijk van de casus en kunnen bijvoorbeeld veel hoger uitpakken of een stuk lager.

Veiligheid en gezondheid 20%
De veiligheid en gezondheid van de gebruiker van het plein moet altijd gegarandeerd worden en daarom telt deze score voor 20% mee in de toetsing. Met veiligheid en gezondheid wordt voornamelijk de waterkwaliteit bedoelt, maar ook de gebruiksvriendelijkheid voor de gebruikers van het plein. In elke variant is er een bepaalde garantie voor dit criterium en a.d.h.v. een aanname op de kans dat deze voorzorgsmaatregel of systeem niet goed functioneert wordt de variant beoordeelt.

Beheer en onderhoud 10%
Uit ervaringen met waterpleinen heeft beheer en onderhoud vaak voor veel problemen en extra kosten gezorgd. Om deze reden is het belangrijk om van tevoren knelpunten te voorkomen. De varianten zijn geen definitieve ontwerpen en worden alleen beoordeeld op de maatregelen die toegepast zijn. Dit geeft geen duidelijk overzicht van al het beheer en onderhoud van de maatregelen, maar zorgt wel voor een indicatie hiervan.

Schaalbaarheid 10%
Met schaalbaarheid wordt bedoeld of de variant vergroot of verkleind toegepast kan worden op andere locatie. Voor de schaalbaarheid is gekozen om 10% mee te weging in de score, omdat dit deels het succes van de variant kan bepalen. Een goed werkend ontwerp met schaalbaarheid heeft in potentie meer kans om vaker te worden ingezet.

Recreatie en impuls buitenruimte 15%
Een eis vanuit de gemeente Rotterdam is dat in de varianten minsten één vorm van recreatie moet zitten én het mag geen nadelig effect hebben op de buitenruimte. Voor gemeente zijn dit vereisten en om deze reden telt dit criterium voor 15 % aan de eindscore. De score is bepaald a.d.h.v. onderlinge verschil tussen de varianten, waarbij meer mogelijkheid voor recreatie zorgt voor een hogere score.

Effect op klimaatopgaven 25%
Het meeste belangrijke criterium is het effect op klimaatopgave hitte, droogte en de wateropgave. Dit komt omdat het plein specifiek ontworpen wordt om deze klimaatopgaven te verminderen of zelfs op te lossen. Er zijn bestaan nog relatief weinig maatregelen voor de effecten van hitte en droogte. De varianten worden beoordeeld door onderlinge verschillen in effect op de hitte, droogte en de wateropgave. Kortom de robuustheid van de variant.

Puntenverdeling MCA
De puntenverdeling wordt gemaakt door het onderlinge verschil van de varianten, zodat er een afweging kan gemaakt worden van de beste variant. De scores zijn hieronder per criteria toegelicht.

Kosten
De kosten zijn bepaald a.d.h.v. prijzenlijsten en in samenwerking met constructeur van de gemeente Rotterdam Marin van Loenen (zie bijlage 15). De kosten worden bepaald door het verschil en door een het gemiddelde van drie referentieproject. Deze referentieprojecten zijn: Johan Ida plein voor € 100.000, Bellamyplein voor € 1.500.000 en het Benthemplein voor € 4.000.000.

Wat neerkomt op een gemiddelde van: €1.866.667

Daarentegen zijn de berekende kosten van de varianten:

Variant Stepwells: € 237.000,58

Variant Waterplein: € 307.763,16

Variant Groenplein: € 1.292.872,22

In vergelijking met de referentieprojecten zijn het alle drie “goedkope” varianten. Om deze reden wordt de goedkoopste variant Stepwells beoordeeld met: +++, variant Waterplein met: ++, en variant Groenplein met: -, omdat het verschil tussen de varianten erg groot is, maar de kosten zijn in vergelijking met de referentieprojecten nog steeds laag.

Veiligheid en gezondheid 20%
De veiligheid en gezondheid hangt sterk af van het systeem van de varianten en de microbiologische waterkwaliteit. Variant Stepwells heeft een lineair systeem, waarbij het hemelwater niet wordt hergebruikt en de bezoekers minder kans hebben om in aanraking te komen met verontreinigd water. Om deze reden wordt deze variant in combinatie met het zuiveringssysteem de Sedisubstrator L, zeer veilig bevonden.

Daarentegen hebben varianten Waterplein en Stepwells circulaire systemen, waarbij het water wordt gezuiverd om vervolgens te kunnen hergebruiken. Het risico hiervan is dat niet al microbiologische ziekteverwekkers uit het water gezuiverd worden. Voor de variant Waterplein geldt de meeste onzekerheid, omdat de effectiviteit van de Urban Rainshells op deze bacteriën nog niet bewezen is. Om deze reden wordt variant Waterplein risicovol en onveilig bevonden.

Daarnaast is er wel onderzoek gedaan door het KWR naar de waterkwaliteit van de Urban Waterbuffer (die in de variant Groenplein wordt gebruikt). Hieruit is gebleken dat het gewonnen water van de Urban Waterbuffer na minimaal 10 dagen verblijftijd een goede waterkwaliteit en de concentratie microbiologische bacteriën sterk afneemt. Wel is belangrijk dat er bij het gebruik van besproeiing regelmatig wordt gecontroleerd op Legionella, want dit kan voorkomen bij temperaturen rond de 25 graden (Zuurbier & van Dooren, 2019). Om deze reden wordt variant Stepwells als veilig bevonden, maar niet optimaal.

Door de varianten aan elkaar af te wegen is bepaald dat: variant Stepwells ++ krijgt, de variant wordt als veilig gezien door het lineaire systeem, maar er kunnen wel organische stoffen ophopen in de Stepwells. Variant Waterplein: --, er is een te groot risico op microbiologische ziekteverwekkers. Tot slot variant Groenplein: ++, het is veilig, maar niet optimaal. De kans is op microbiologische ziekteverwekkers is wel aanwezig.

Beheer en onderhoud
De varianten zijn beoordeeld op de maatregelen die erin zijn verwerkt (zie bijlage 13)**.** Bij de maatregelen van variant Stepwells zit het beheer en onderhoud voornamelijk in de infiltratiekratten. Daarnaast heeft variant Waterplein een stuk meer onderdelen om te beheren en onderhouden, waarbij voornamelijk het gietrubber en de infiltrerende verharding veel onderhouden moeten worden. Vervolgens geldt voor variant Groenplein dat het meeste beheer en onderhoud in de Urban Waterbuffer gaat zitten. Dit zal naar verwachting maandelijks zijn.

Door de varianten aan elkaar af te wegen is bepaald dat: variant Stepwells +++ krijgt, omdat deze variant vergeleken met de andere maatregelen het minst beheer en onderhoud benodigd is. Variant Waterplein: --, aangezien er bij deze variant een stuk meer beheer en onderhoud nodig is dan de andere varianten. Tot slot geldt voor variant Groenplein: ++, omdat deze variant een weinig onderdelen heeft om te onderhouden, maar wel een stuk frequenter dan variant Stepwells.

Schaalbaarheid
Voor de schaalbaarheid is gekeken of de varianten in de praktijk vergroot of juist verkleind kunnen worden. Voor de schaalbaarheid van variant Stepwells is bevonden dat deze variant wel verkleind kan worden, maar niet vergroot en dit heeft te maken met de capaciteit van de Coolkuip. Er wordt voor de Coolkuip aangenomen dat er minder verkoelingseffect optreedt als het plein groter wordt gemaakt en juist meer als het verkleind wordt. De vraag is dan of een kleinere variant genoeg baten heeft, gezien de “kleine” waterberging, heeft een kleinere variant nog minder effect op de wateropgave en ook de droogte. Dit is een verwachting, omdat dit een nieuwe maatregel is en er geen zekerheid is van de effecten.

Vervolgens kan het Waterplein in alle opzichten vergroot en verkleind worden. Alle componenten van deze variant zijn geschikt om op te schalen of af te schalen, hierbij moet wel rekening worden gehouden met de kosten en baten die de variant oplevert.

Daarnaast kan variant Groenplein gezien de Urban Waterbuffer vergroot worden. De Urban Waterbuffer is een groot systeem en daarom heeft het weinig baten om het toe te passen op kleine schaal. Op grote schaal kan het de wateropgave voor een groot deel oplossen, dit is wel afhankelijk van de infiltratiesnelheid.

Door de varianten aan elkaar af te wegen is bepaald dat: variant Stepwells: -, want deze variant kan naar waarschijnlijkheid niet groter worden ingezet en op kleinere schaal heeft deze variant minder effect op de droogte en wateropgave. Variant Waterplein: +++, omdat deze variant zowel verkleind als vergroot worden. Tot slot variant Groenplein: +, omdat deze variant op grote schaal meer effect kan hebben op de klimaatopgaven.

Recreatie en impuls buitenruimte
Elke variant heeft een vorm van recreatie en zorgt voor een impuls voor de buitenruimte. Dit is echter lastig te bepalen, omdat de voorkeuren van de gebruikers kunnen verschillen. Om deze reden wordt er gekeken naar de mogelijkheid tot recreatie. Voor variant Stepwells is dat het podium op het plein, wat gebruikt kan worden voor voorstellingen of presentaties. In variant Waterplein is een waterspeeltuin toegepast voor kinderen om te spelen en in variant Groenplein zit een voetbalveld en kan het gras ook worden gezien als plek om te recreëren en te relaxen.

Door de varianten aan elkaar af te wegen is bepaald dat: variant Stepwells: +, want het podium zal niet altijd in gebruik worden genomen. Variant Waterplein: ++, omdat deze variant niet alleen gebruikt te worden als waterspeeltuin, maar ook als speelplek door het vlakke oppervlak en het gietrubber. Tot slot variant Groenplein: +++, omdat er altijd gebruik gemaakt kan worden van het voetbalveld en er kan ook recreatie plaatsvinden op het gras.

Effect op klimaatopgaven
Dit criterium wordt beoordeeld op de effecten op hitte, droogte en de wateropgave. In de tabel hieronder staan de resultaten van deze effecten per variant. De uitgebreide beschrijvingen zijn te vinden in hoofdstuk 6 en de berekeningen van de wateropgave in bijlage 12. Voor de hitte is een schatting gemaakt van alle potentiele effecten van de maatregelen op een warme dag.

Variant	**Hitte**	**Droogte**	**Wateropgave**
Stepwells	Daling temperatuur ca.: 2 graden Daling gevoelstemperatuur ca.: onbekend	Creëert een buffer van de grondwaterspiegel.	Wateropgave wordt voor 2.100 m^2 opgelost (incl. plein) bij een bij een t=100 bui van 1 uur.
Waterplein	Daling temperatuur ca.: 5 á 7 graden Daling gevoelstemperatuur ca.: tussen de 9 en 14 graden	De infiltratiekratten kan het water geborgen worden voor droge periodes om vervolg op te pompen.	Wateropgave wordt voor 4.000 m^2 opgelost (incl. plein) bij een bij een t=100 bui van 1 uur.
Groenplein	Daling temperatuur ca.: 2 á 3 graden Daling gevoelstemperatuur ca.: tussen 7 en 12 graden	Er kan een bijna onbeperkte hoeveelheid water geborgen worden in de ondergrondse berging van de UWB, waarna het in een droge periode kan worden hergebruikt.	Wateropgave op het plein wordt voor een t=100 bui van 1 uur opgelost. Afhankelijk van de infiltratiesnelheid van de Urban Waterbuffer kunnen er veel oppervlakte worden afgekoppeld.

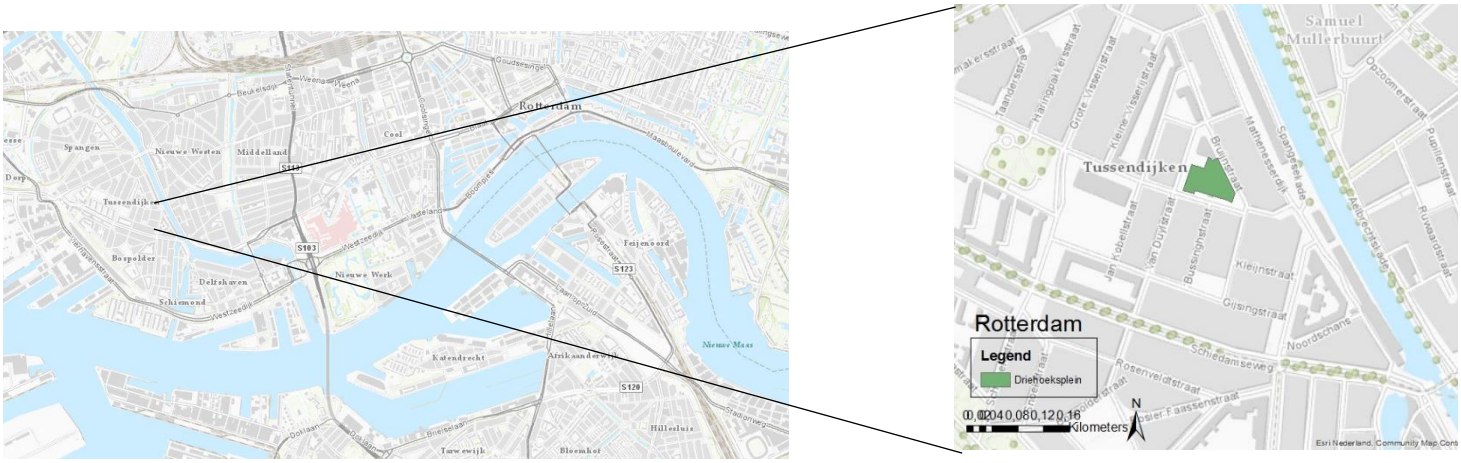
Tabel 12. Overzicht effecten van de varianten op de klimaatopgaven.

Door de varianten aan elkaar af te wegen is bepaald dat: variant Stepwells: -, omdat deze variant in elke opzicht een minder effect heeft op de klimaatopgaven dan de andere varianten. Variant Waterplein: +++, omdat deze variant in vergelijking met de andere varianten het meeste effect heeft. Tot slot variant Groenplein: ++, omdat deze variant effect heeft op alle drie de klimaatopgave. Deze variant kan over een langere periode (bijna) onbeperkt veel water kan bergen, maar doordat de infiltratiesnelheid erg traag is kan dit niet direct worden meegewogen bij de dimensionering.

24 Bijlage 17: Het Driehoeksplein

De casus Driehoeksplein is om een aantal redenen uitgekozen om de variant Groenplein op te testen. Het is namelijk een groot (3.600 m^2) versteend plein met veel last van hittestress.
Het plein biedt multifunctionele mogelijkheden, omdat een gedeelte van het plein bij de Valentijnschool hoort. Hierdoor kan de maatregel meeliften op het draagvlak van de stakeholders uit te omgeving. Tot slot staat het plein in de planning om te herinrichten en is er budget om dit te doen.

Door de variant Groenplein toe te passen op het Driehoeksplein geeft het een betere indicatie van de potentiele effecten in de praktijk.



Figuur 54. Locatie Driehoeksplein (Breevoort).

Effecten op de hitte
De verkoeling van het plein zal worden gerealiseerd door groen en het dakje. Er worden gewone Beukenbomen toegepast die lokaal zorgen voor een luchttemperatuur daling tussen de 0,7 en 2,7 graden, waarbij de gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 3,4 en 19 graden (Nouri Santos & Matzarakis, 2019). Het dakje kan zorgen voor een daling tussen de 0,5 en 1 graad van de luchttemperatuur en een daling tussen de 10 en 20 graden van de gevoelstemperatuur (Hogeschool van Amsterdam , 2017).

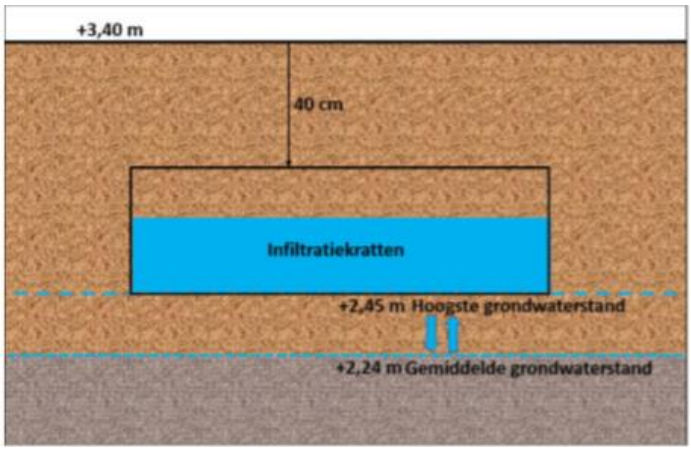
Daarnaast zorgt het gras, de struiken en de helofytenfilter ook voor verkoeling. Het gras en de struiken kunnen lokaal zorgen voor een luchttemperatuur daling tussen de 0,9 en 1,2 graden. De gevoelstemperatuur kan dalen tussen de 0,4 en 4,9 graden (Takebayashi & Moriyama, 2009). Voor de helofytenfilter worden dezelfde kerngetallen als gras en struiken worden aangenomen.

De schatting is in totaal een daling van de luchttemperatuur met 2 á 3 graden en de gevoelstemperatuur ongeveer tussen de 7 en 12 graden.

Effecten op de droogte
Het hemelwater wordt opgeslagen in de ondergrondse berging van de UWB, waarna het in een droge periode gebruikt kan worden om het plein te besproeien. Op deze manier is het systeem zelfvoorzienend en wordt de opgave droogte lokaal opgelost. Het water kan eventueel ook nog gebruikt worden als speelwater voor de Valentijnschool, maar hiervoor wordt wel aangeraden om het water eerst te testen op verontreinigingen.

Effecten op de wateropgave

Het plein wordt net als variant Groenplein op een t=100 bui van 1 uur gedimensioneerd. Aangezien ongeveer 2.400 m^2 aan oppervlakte gebruikt zal worden, kan er 120 m^3 water op het plein vallen. Om hieraan te voldoen moet er 296 infiltratiekratten worden toegepast onder het voetbalveld (zie bijlage 12 voor berekening). Het voetbalveld zorgt met de kratten dat direct heel het plein gedimensioneerd is op een t=100 bui. Belangrijk is hierbij dat het voetbalveld wat lager ligt. Het grootste gedeelte van het hemelwater zal in de kratten terecht komen en het overige water kan langzaam infiltreren in de bodem, wat voornamelijk bestaat uit zand. De ontwateringsdiepte is gemiddeld -0,95 meter, dus de infiltratiekratten (zoals te zien is het figuur hieronder) kunnen eenvoudig onder het plein worden geplaatst (Goede, 2020).



Figuur 55. Infiltratiekratten onder het Driehoeksplein (Goede, 2020).

Bibliografie

Aangan Architects, Surat. (2020). *Development of Water Plaza- Khel Kund at North Zone .* Surat : Surat Municipal Corporation .

Ahmed, S., Khan, M., Amanullah, M., Rasul, M., & Hassan, N. (2015). *Performance assessment of earth pipe cooling system for low energy buildings in a subtropical climate.* Elsevier.

Beuker. (s.d.). *Productblad Infiltratiekrat Rigofill.* Retrieved from Beuker: www.beuker.bkl.nl

Black, A. (s.d.). *Chand Baori*. Retrieved from Atlas Obscura: https://www.atlasobscura.com/places/ancient-stepwells-india

Bogaard, F. (2020). *De kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland.* H20waternetwerk.

Boogaard, F., Liefting, H., & Langeveld, J. (2020). *De kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland.* Amersfoort: STOWA.

Borella, P., Guerrieri, E., Marchesi, I., Bondi, M., & Messi, P. (2005). *Water ecology of Legionella and protozoan: environmental and public health perspectives.* Elsevier.

Breevoort, R. (n.d.). *Bovenaanzicht variant Stepwells.* Gemeente Rotterdam, Rotterdam.

Breevoort, R. (n.d.). *Bovenaanzicht Groenplein.* Gemeente Rotterdam, Rotterdam.

Breevoort, R. (n.d.). Bovenaanzicht variant Waterplein. *Bovenaanzicht variant Waterplein.* Gemeente Rotterdam , Rotterdam .

Breevoort, R. (n.d.). *Bovenaanzicht variant Waterplein.* Gemeente Rotterdam, Rotterdam .

Breevoort, R. (n.d.). *Bovenaanzicht variant Waterplein.* Gemeente Rotterdam, Rotterdam .

Breevoort, R. (n.d.). Dwarsdoorsnede Coolkuip. *Dwarsdoorsnede Coolkuip.* Gemeente Rotterdam , Rotterdam .

Breevoort, R. (n.d.). *Dwarsdoorsnede variant Groenplein.* Gemeente Rotterdam , Rotterdam .

Breevoort, R. (n.d.). *Dwarsdoorsnede variant Stepwell .* Gemeente Rotterdam, Rotterdam .

Breevoort, R. (n.d.). *Lineair en circulair watersysteem .* Gemeente Rotterdam, Rotterdam.

Breevoort, R. (n.d.). *Locatie Driehoeksplein.* Gemeente Rotterdam , Rotterdam .

Broks , K., & van Luijtelaar, H. (2015). *Groene daken nader beschouwd.* Amersfoort: STOWA.

Brolsma, R., Buma, J., van Meerten, H., Dionisio, M., & Elbers, J. (2012). *Effect van droogte op stedelijk.* Delft : Deltares.

BTE Groeps. (2018, september 5). *Vebo en Field Factors ontwikkelen duurzame waterbron*. Retrieved from BTE Groep: https://www.bte.nl/nieuws/vebo-en-field-factors-ontwikkelen-duurzame-waterbron/

Bufferblocks. (2019). *Bufferblocks*. Retrieved from Bufferblocks: https://www.bufferblock.nl/

CDA . (2014, april 28). *Speelwater in stad moet veilig*. Retrieved from CDA: https://www.cda.nl/zuid-holland/rotterdam/actueel/nieuws/turan-yazir-speelwater-in-de-stad-moet-veilig/

Chorus, I., Salas, H. J., Falconer, H. R., & Bartram, J. (2000). *Health risks caused by freshwater cyanobacteria in recreational waters.* Taylor & Francis.

Climatescan. (2017, januari 2). *Wadi & speelvoorziening bruinleeuwstraat*. Retrieved from Climatescan : https://www.climatescan.nl/projects/935/detail

Culture trip. (2020). *A Guide To The Ancient Stepwells Of India*. Retrieved from Culture trip: https://theculturetrip.com/asia/india/articles/9-ancient-beautiful-stepwells-in-india/

De aarde. (2013, augustus 18). *Bronnen* . Retrieved from De aarde: http://www.de-aarde.com/de-aardoppervlakte/bronnen/

de Doelder, B. (2020, 16 6). Beheer en onderhoud. (R. Breevoort, Interviewer)

de Doelder, B. (2020, 4 10). Maatregelen . (R. Breevoort, Interviewer)

de Man-van der Vliet, H. (2014). *Best urban water management practices to prevent waterborne infectious diseases under current and future scenarios.* Utrecht: Utrecht University.
De Urbanisten . (2012, oktober 29). *Benthemplein: van stenen plein naar waterplein*. Retrieved from Rijnmond : https://www.rijnmond.nl/nieuws/94913/Benthemplein-van-stenen-plein-naar-waterplein
Disaghor-Dockx. (s.d.). *Watershell Atlantis*. Retrieved from Disaghor-Dockx: https://disaghordockx.be/nl/producten/groeiplaatsconstructies/zelfdragende/watershell-atlantis
Doelder, B. d. (2015). *Waterberging in en onder pleinen .* Rotterdam : Gemeente Rotterdam .
Doelder, d. B. (2014). *Waterplein Benthemplein.* Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
ENCI. (s.d.). *Spelen op het ritme van eb en vloed* . Retrieved from ENCI: https://www.enci.nl/nl/spelen-op-het-ritme-van-eb-en-vloed
EWB designs. (2018). *Prijsopgaaf Urban Rainshell Wijkpark Oude Weste.* Apeldoorn: EWB designs.
EWB. (s.d.). *De Urban Rainshell*. Retrieved from EWB: https://www.ewb.solutions/urbanrainshell
EWB solutions. (s.d.). *EWB (in het) nieuws*. Retrieved from EWB solutions: https://www.ewb.solutions/nieuws
Field Factors. (s.d.). *Urban Waterbuffer*. Retrieved from Urbanwaterbuffer: https://www.urbanwaterbuffer.nl/casestudies/
Fonteinopmaat. (2014). *Bedriegertjes*. Retrieved from Fonteinopmaat: http://www.fonteinopmaat.nl/fontein/bedriegertjes.html
Fränkische . (2018). *SediPipe L/ L plus SediSubstrator L .* Königsberg: Fränkische.
Fränkische. (2017, januari). *Inspecteer- en reinigbaar Rigofill Inspect infiltratiekrat*. Retrieved from Regenwatermanagement: https://www.regenwatermanagement.nl/producten/infiltratiekrat-rigofill-inspect/
Gebr. Reintjes. (s.d.). *Grindkoffer*. Retrieved from Gebr. Reintjes : http://www.gebr-reintjes.nl/hemelwater-infiltratie/grindkoffer
Geitenbeek, L., & van der Linden , L. (2020). *Beheersplan Staringplein.* Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
Gemeente Rotterdam . (2013). *Herijking Waterplan 2 .* Rotterdam : Gemeente Rotterdam .
Gemeente Rotterdam . (2017). *Bouwstenen voor een klimaatadaptief Rotterdam .* Rotterdam : Gemeente Rotterdam .
Gemeente Rotterdam . (2020). *Rotterdam WeerWoord.* Rotterdam : Gemeente Rotterdam .
Gemeente Rotterdam. (2011). *Hittestress in Rotterdam.* Utrecht : Kennis voor Klimaat.
Gemeente Rotterdam. (2019). *Rotterdams WeerWoord.* Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
Gemeente Rotterdam. (s.d.). *Bomen*. Retrieved from Gemeente Rotterdam : https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/bomen/
GGD. (2016). *Gezondheid en ziekte*. Retrieved from GGD Rotterdam-Rijnmond: https://gezondheidinkaart.nl/dashboard/dashboard/Gezondheid-en-ziekte
GGD Drenthe . (s.d.). *Evenementen in de hitte.* Drenthe : GGD Drenthe .
Goede, J. (2020). *Notitie Driehoeksplein .* Rotterdam : Gemeente Rotterdam .
Goede, J. (2020). *Notitie Taandersplein/Mariaschool.* Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
Goris, M., Boer, K., Duarte, T., Kliffen, S., & Hartskeerl, R. (2014). *Trends in humane leptospirose in Nederland 1925-2008.* Amsterdam: Koninklijk Instituut voor de Tropen.
Hagen, A. (n.d.). Gevolgen van bodemdaling. *Droogte gemeente Den Haag .* Gemeente Den Haag, Den Haag.

Hendriks, K. (2016). *Groene daken in Tilburg.* Wageningen : Alterra Wageningen University and Research Centre.

Heusinkveld, B. (2017). *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte.* Bilthoven: RIVM.

Hiemstra, J., de Vries, S., & Spijker, J. (s.d.). *De meerwaarde van groen in stedelijk gebied.* Wageningen: Wageningen University & Research.

High Pressure. (s.d.). *Adiabatische verkoeling*. Retrieved from High Pressure: http://www.highpressure.be/?page_id=91&lang=nl

Hogeschool van Amsterdam . (2017, 4 5). *Schaduw verlaagt gevoelstemperatuur veel meer dan water of groen*. Retrieved from Hogeschool van Amsterdam : https://www.hva.nl/content/nieuws/persberichten/2017/04/schaduw-verlaagt-gevoelstemperatuur-veel-meer-dan-water-of-groen.html

Hoogheemraadschap van Rijnland . (2017). *Bodemdaling: heel Rijnland zakt* . Retrieved from Bewust leven met water: https://www.bewustlevenmetwater.nl/klimaatverandering/gevolgen/heel-holland-zakt/

Horák, P., Mikeš, L., Lichtenbergová, L., Skála, V., Soldánová, M., & Brant, S. V. (2015). *Avian schistosomes and outbreaks of cercarial dermatitis.* Praag: Charles University.

Ishii, T. (2009). *Cooling System with Water Mist Sprayers for Mitigation of Heat-island.* Yokohama: Tokyo University of Science.

Jacobs, C. (2020). *Are urban water bodies really cooling?* Urban Climate .

Jiang, S. (2006). *Human adenoviruses in water: Occurrence and health implications.* American Chemical Society.

Kamiya, T. (2015, 9 4). *QUEEN'S STEPWELL (Ranki Vav) in Patan*. Retrieved from Kamit: http://www.kamit.jp/02_unesco/22_patan/pat_eng.htm

Klimaatinfo. (s.d.). *Het klimaat van India* . Retrieved from Klimaatinfo: https://klimaatinfo.nl/klimaat/india/

KNMI. (2014). *Kaarten, grafieken en tabellen*. Retrieved from KNMI: http://www.klimaatscenarios.nl/getallen/overzicht.php?wel=temperatuur&ws=grafiek&wom=aantal%20zomerse%20dagen

KNMI. (2014). *Kerncijfers*. Retrieved from Klimaatscenarios: http://www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/

KNMI. (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's*. Retrieved from KNMI: http://www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/index.html

KNMI. (2014). *Toekomstbeelden klimaatscenario's*. Retrieved from Klimaatscenarios: http://www.klimaatscenarios.nl/

KNMI. (2019). *Hittegolven*. Retrieved from KNMI: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven

KNMI. (2020). *Droogte*. Retrieved from KNMI: https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte

KNMI. (2020, 6 18). *Neerslagtekort/Droogte*. Retrieved from KNMI: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte

KNMI. (s.d.). *Warmste zomer in minimaal 3 eeuwen*. Retrieved from KNMI: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2018/zomer

Kuiper, M. W., Valster, R. M., Wullings, B. A., Boonstra, H., Smidt, H., & van der Kooij, D. (2006). *Quantitative detection of the free-living amoeba Hartmannella vermiformis in surface water by using real-time PC.* American Society for Microbiology.

Lautman, V. (2014). *Stepwell*. Retrieved from Britannica: https://www.britannica.com/technology/stepwell

Ministerie van verkeer en waterstaat . (2020, 1 1). *Artikel 3.5*. Retrieved from Overheid.nl: https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2020-01-01#Hoofdstuk3

NKWK. (2019). *Klimaatschatter.* NKWK.

Nouri Santos, A., & Matzarakis, A. (2019). *An Encompassing Overview.* Ankara: MDPI.

Oasen . (2011, 9 26). *Groandwaterstroming* . Retrieved from Oasen : https://www.oasen.nl/nieuws/grondwaterstroming

Plan Mooi Markelo . (2017, 2 24). *Groen plein*. Retrieved from Plan mooi Markelo: http://planmooimarkelo.nl/2017/02/24/groen-plein/

Pohl, I., Schenk, S., Rodenburg, A., Vergroesen, T., & Buijs, S. (2014). *MKBA Klimaatadaptatiestrategie Casus: Bergpolder Zuid.* Rotterdam: Rebel Econmics & Transactions BV.

Rainproof. (2020, 4 20). *Infiltratiekratten* . Retrieved from Rainproof: https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/infiltratiekratten

Rainproof. (s.d.). *Wadi's*. Retrieved from Rainproof: https://www.rainproof.nl/sites/default/files/styles/panopoly_image_original/public/24_schema_wadi-ateliergroenblauw_0.jpg?itok=8RD5mZwS

Ras, M. A., & Rook, J. H. (2014). *Handreiking Infiltrerende Verhardingconstructies.* Deventer: Gemeente Deventer .

RIVM. (2019, 8 5). *Botulisme* . Retrieved from RIVM: https://www.rivm.nl/botulisme

Rodenburg, A. (2019). *Beoordelen hitte in ZoHo.* Rotterdam: Gemeente Rotterdam.

Santamouris, M. (2012). *A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments.* Athene: Elsevier.

Schaller, L. (2015). *Grafenegg*. Retrieved from Architonic: https://www.architonic.com/en/project/tne-architects-cloud-7/5104301?utm_source=Dailytonic+Newsletter&utm_campaign=9314bb0030-EMAIL_CAMPAIGN_2017_01_26&utm_medium=email&utm_term=0_56c4611cd4-9314bb0030-288624097

Schets, F., de Man, H., van Leuken, J., & de Roda Husman, A. (2017). *De 'waterkwaliteitscheck' voor nieuwe en bestaande stedelijk water concepten.* Bilthoven: RIVM.

Schets, F., de Roda Husman, A., & Havelaar, A. (2011). *Disease outbreaks associated with untreated recreational.* Cambridge: Cambridge University.

Shah, V. (2020, 4 8). Questions about the Stepwells. (R. Breevoort, Interviewer)

Siblu villages. (s.d.). *Outdoor (water) speeltuin* . Retrieved from Campinglauwersoog : https://www.campinglauwersoog.nl/nl/waterspeeltuin

Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2009). *Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking.* Kobe, Japan: Kobe University.

TKI Watertechnologie. (2016, juni 1). *Urban Waterbuffer*. Retrieved from KWRwater: https://www.kwrwater.nl/projecten/urban-waterbuffer/

Upside-Down. (2020). *Mega ventilatoren* . Retrieved from Upside-Down: https://www.upside-down.nl/verhuur/decoratie/podium-deco/mega-ventilatoren/

USGS. (s.d.). *Aquifers and Groundwater*. Retrieved from USGS: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/aquifers-and-groundwater?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Valkenburg, J. (2016, maart 18). *Word een echte smart data wizard*. Retrieved from Part out: https://www.partout.nl/blog/word-een-echte-smart-data-wizard/

van de Leemkolk , W., Jongma , C., Dekker , G., & Handgraaf, S. (2020). *Handreiking decentrale regelgeving klimaatadaptief bouwen en inrichten.* Den Haag: Rijksoverheid .

van den Bogaard , J. (2020, 6 11). Waterkwaliteit. (R. Breevoort , Interviewer)

van der Linden, E., & Selten, F. (2018, 7 3). *Toekomstige zomers mogelijk droger dan gedacht*. Retrieved from KNMI: https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/toekomstige-zomers-mogelijk-droger-dan-gedacht

van Dijk, H. (s.d.). Waterkwaliteit 2: Natuur/chemie. Delft, Zuid-Holland, Nederland.

Van Doorn Verhuur B.V. (2020). *Partysol*. Retrieved from Van Doorn Verhuur B.V.: https://www.vandoornverhuur.nl/partysol

van Iersel, T. (2020, 6 2). (R. Breevoort, Interviewer)

van Strijen , A. (2020, 6 16). Coolkuip. (R. Breevoort , Interviewer)

van Strijen , A. (n.d.). *Werking Coolkuip.* Gemeente Rotterdam , Rotterdam .

Versteeg, R., Beersma, J., & Hakvoort, H. (2018). *Neerslagstatistieken voor korten duren.* Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

Voedingscentrum . (s.d.). *PAK's*. Retrieved from Voedingscentrum: https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/paks.aspx

WaterWindow. (s.d.). *Bergingstekort* . Retrieved from Waterwindow: https://waterwindow.nl/casus/bergingstekort

Wolfstein, K., & Roukema, M. (2002). *Blauwalgen.* Zwolle: Rijkswaterstaat.

World Health Organisation . (2004). *Guidelines for Drinking-water Quality.* Geneva: World Health Organisation .

Wouters, J. (2019, maart). Sortimentslijst bomen. Rotterdam, Zuid-Holland, Nederland.

Wyn-Jones, A., & Sellwood, J. (2002). *Enteric viruses in the aquatic environment.* Sunderland .

Zuurbier, K. G., & van Dooren, T. C. (2019). *Urban Waterbuffer Spangen: Resultaten.* Nieuwegein : KWR.

Zuurbier, K., & van Dooren , T. (2019). *Resultaten Urban Waterbuffer Spangen.* Nieuwegein : KRW.

Zwemwater.nl. (2020). *Botulisme*. Retrieved from Zwemwater.nl: https://www.zwemwater.nl/

Gemeente Rotterdam

Ontwerprichtlijn voor een klimaatadaptief plein

Van
R. Breevoort

Datum
18 juni 2020

1 Inleiding

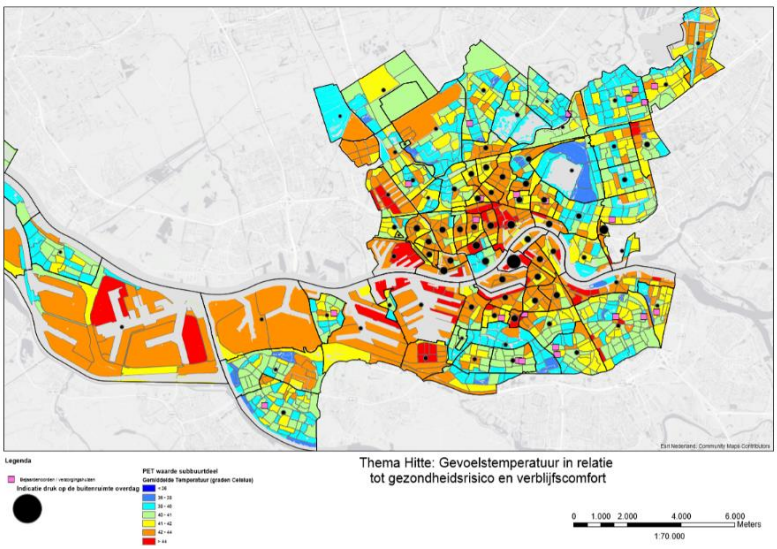
Dit rapport is bedoeld voor ontwerpers en constructeurs van de gemeente Rotterdam. Het doel van dit rapport is dat een handreiking c.q. een ontwerprichtlijn te bieden bij het construeren van een klimaat adaptief plein/buitenruimte.

Het rapport is gebaseerd op de scriptie van het afstudeeronderzoek “Een (water)plein tegen hittestress, droogte én piekbuien.” Met (water)plein wordt bedoeld een plein/buitenruimte ontworpen met een systeem om de klimaateffecten van hitte, droogte, maar ook de wateropgave te verminderen. Het kan beschreven worden als een variant van een waterplein, maar dan niet alleen gericht op het verminderen van de wateropgave. Het idee van een (water)plein is om het water op te vangen, zuiveren (indien nodig), bergen en vervolgens te hergebruiken voor verkoeling. Daarnaast hoeft het (water)plein ook niet verhard te zijn, maar kan het ook ontworpen worden als groenplein (parkachtig).

1.1 Probleemstelling

Klimaatverandering wordt een steeds groter probleem. Rotterdam krijgt in de toekomst nog meer last van enerzijds extreme neerslag en wateroverlast, maar anderzijds droogte en hittestress. Voor wateroverlast ofwel de wateropgave zijn er al veel oplossingen toegepast. Denk hierbij aan ondergrondse waterbergingen, zoals de waterberging van het Museumparkgarage en infiltratiekratten.

Daarentegen zijn er voor de effecten van droogte en hittestress aanzienlijk minder oplossingen, terwijl dit juist voor grote problemen kan zorgen. Bij droge periodes en extreme hitte warmt de stad snel op en koelt het nauwelijks af. Hierdoor is er steeds vaker sprake van hittestress. Extreme hitte kan negatieve effecten hebben op de waterkwaliteit en de maatschappij zoals verminderde arbeidsproductiviteit en een toenemend sterfte van ouderen en kwetsbaren (zie kaart hieronder). Terwijl droogte zorgt voor problemen zoals vegetatiesterfte en daling van de grondwaterspiegel met bodemdaling en paalrot als gevolg. Beide opgave kunnen in de toekomst voor honderden miljoenen aan schade veroorzaken in de gemeente Rotterdam (zie www.klimaatschadeschatter.nl voor meer informatie). Om deze reden is het noodzakelijk om komende jaren ook oplossingen te ontwikkelen voor hitte en droogte, in de schaarse ruimte die er is. De huidige waterpleinen vergen veel ruimte, maar bieden een oplossing voor piekbuien. Pleinen/buitenruimtes zijn goed geschikt voor maatregelen tegen droogte en hitte, omdat deze plekken meestal centraal gelegen zijn en de meerwaarde van de omgeving verhogen.



Figuur 1. Gevoelstemperatuur in relatie tot gezondheidsrisico en verblijfcomfort.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport dient als ontwerprichtlijn voor de gemeente Rotterdam en kan worden gebruikt in de plan en ontwerpfase. De hoofdstukken moeten opeenvolgend worden toegepast bij het ontwerpen van het (water)plein. In hoofdstuk 2 wordt het programma van eisen en wensen beschreven. Hierin worden alle eisen en wensen per aspect (bijvoorbeeld technische aspecten en sociale aspecten) beschreven. Hoofdstuk 3 wordt een selectie van voorbeelden van maatregelen beschreven, waaruit de ontwerper kan kiezen om toe te passen in het (water)plein. Tot slot volgt in hoofdstuk 4 de toetsingscriteria. Deze criteria kan helpen bij het afwegen van keuzes binnen het ontwerp en geeft een kader waarin het ontwerp beoordeeld kan worden.

2 Programma van eisen en wensen

In dit hoofdstuk worden alle eisen en wensen omtrent het ontwerpen van een (water)plein beschreven. Daarnaast wordt er nog een stappenplan gegeven met uitleg hoe het programma van eisen en wensen gebruikt kan worden.

Voor het ontwerpen van een (water)plein zijn de eisen en wensen verdeeld in de volgende aspecten:

- Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte
- Sociale aspecten
- Gezondheid en veiligheid op het (water)plein/Gezondheid en veiligheid op de berging/maatregel
- Recreatie op het (water)plein/Recreatie op berging/maatregel
- Beheer en onderhoud op het (water)plein/Beheer en onderhoud berging/maatregel
- Kosten en duurzaamheid
- Technische aspecten
- Overige aspecten

Voor sommige aspecten is er nog onderscheid gemaakt tussen het (water)plein in het algemeen en de berging/maatregel op het plein. Met het (water)plein wordt bedoeld het totale plein en de berging/maatregel is specifiek het onderdeel met een klimaat adaptieve functie. Op deze manier is eenvoudiger om aan een eis zoals “voederen van dieren zoals eenden of vogels is niet toegestaan,” te kunnen voldoen.

Toepassing programma van eisen en wensen
Voor elk project is maatwerk vereist en daarom zullen niet alle eisen en wensen gelden voor de meeste ontwerpen. De ontwerper moet hier rekening mee houden en alleen de eisen en wensen gebruiken die relevant zijn. Een voorbeeld hiervan: wordt er een circulair of lineair systeem toegepast (water hergebruiken of niet)? Met een circulair systeem moet het ontwerp wel aan bacteriologische voorwaarde doen en bij een lineair systeem hoeft dat niet.

In de tabellen hieronder staan alle eisen en wensen uitgeschreven betreft het ontwerpen van een (water)plein.

Wet en regelgeving voor veranderen van de openbare ruimte

Eisen	Wensen
De gemeente is primair verantwoordelijk voor de ruimtelijke ordening en het (water)plein. De provincie en het Rijk kunnen via instructieregels sturen op de invulling van deze verantwoordelijkheid door gemeenten. Waterschappen adviseren bij de totstandkoming van ruimtelijke plannen met de Watertoets	Het (water)plein wordt opgenomen in het bestemmingsplan, zodat op grond van Wet ruimtelijke ordening eisen gesteld kunnen worden aan onder meer minimaal 40% schaduw en het aanbrengen van waterberging

Het (water)plein moet het overtollig regenwater inzamelen en verwerken naar oppervlaktewater, grondwater of naar het riool	
Het (water)plein mag geen structurele nadelige gevolgen van een te lage of te hoge grondwaterstand veroorzaken	
Een omgevingsvergunning is verplicht, indien het (water)plein gebruik maakt van een infiltratiesysteem	
Voor het (water)plein wordt de omgevingswaarde (beleidsdoel) omtrent wateroverlast voor een bepaalde periode vastgesteld en gemonitord door de gemeente. Indien het blijkt dat het (water)plein binnen de vastgestelde periode niet voldoende effect heeft, moet de gemeente andere maatregelen toepassen om de gewenste resultaten alsnog te behalen	
Gebruik maken van de milieu- en waterwetgeving, omdat dit mogelijkheden biedt om aan nieuwe en bestaande lozingen van afstromend hemelwater eisen te stellen, bijvoorbeeld over het bergen van dat water	

Sociale aspecten

Eisen	Wensen
Bij het ontwerpen worden de stakeholders uit de wijk/omgeving betrokken	Het (water)plein wordt een plek van ontmoeting, waarbij de wensen van de stakeholders t.a.v. functies en inrichting zoveel mogelijk meegenomen worden
	Er is toezicht op hangjongeren

Gezondheid en veiligheid op het (water)plein		Gezondheid en veiligheid op de berging/maatregel	
Eisen	**Wensen**	**Eisen**	**Wensen**
Zwerfafval moet elke week gecontroleerd en opgeruimd worden	Bij het toepassen van goten op het plein geen groot verschil in diepte voor veilige afstap	Voederen van dieren zoals eenden of vogels is niet toegestaan om dierlijke feces te voorkomen	

In het ontwerp moet voor afstromend regenwater van eventuele afgekoppelde daken een bladvang en/of zandvang toegepast worden		Om verdrinkingsgevaar te voorkomen is er een maximale waterhoogte van 20 centimeter toegestaan	
Water dat in contact komt met de gebruikers van het (water)plein voldoet minstens aan de waterkwaliteitsnormen van het KRW		Geen uitlogende materialen toepassen en ook afstromend regenwater mag niet in contact zijn geweest met uitlogende materialen (zink, koper, etc.)	
Water dat gebruikt wordt tegen verdroging of verkoeling (regen- of grondwater) zoals besproeiing mag niet microbiologisch verontreinigd zijn		Honden zijn niet toegelaten op de berging/maatregel om dierlijke feces te voorkomen	
De functies op het (water)plein mogen niet kwetsbaars zijn voor de bezoekers		Er mag niet langer dan 36 uur water op het plein staan [l]	
Bij het hergebruiken van afvoerend hemelwater of grondwater moet er een zuiveringstap worden ingezet om gezondheidsklachten te voorkomen			

Recreatie op het (water)plein		**Recreatie op berging/maatregel**	
Eisen	**Wensen**	**Eisen**	**Wensen**
Het (water)plein moet minsten één recreatieve functie hebben	Recreatieve functie wordt het liefst bepaald in overleg met de stakeholders		Recreatie heeft geen negatief invloed op de klimaat adaptieve functie van de berging/maatregel op het (water)plein

Beheer en onderhoud op het (water)plein		Beheer en onderhoud berging/maatregel	
Eisen	**Wensen**	**Eisen**	**Wensen**
Voor oplevering is er een goedgekeurd beheerplan waarin afspraken over beheer & onderhoud zijn vastgelegd	Het (water)plein moet ontworpen worden dat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden	Het (water)plein moet zodanig ontworpen worden dat het beheer en onderhoud op het plein machinaal schoon gemaakt kan worden	Het (water)plein moet ontworpen worden dat beheer en onderhoud eenvoudig uitgevoerd kan worden
Het (water)plein moet zodanig ontworpen worden dat het beheer en onderhoud op het plein machinaal schoon gemaakt kan worden	Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het (water)plein gebruiken		Bij voorkeur worden stakeholders uit de wijk betrokken bij het beheer en onderhoud
Duidelijke afspraken over B&O	Bij voorkeur wordt het beheer en onderhoud uitgevoerd door stakeholders uit de wijk		

Kosten en duurzaamheid

Eisen	Wensen
De realisatie van het (water)plein moet binnen het budget passen	Er wordt gebruik gemaakt van duurzame materialen
	Waar mogelijk wordt er gebruik gemaakt van circulaire materialen
	Bij voorkeur combineren met andere projecten om het budget en waarde te vergroten
	Let op de kleur van materialen; aftekening van het slib op lichte materialen is aandachtspunt
	Zo min mogelijk mechanische of sturende voorzieningen op het plein gebruiken i.v.m. beheer en onderhoudskosten

Technische aspecten

Eisen	Wensen
De maximale waterhoogte van het (water)plein is 20 centimeter en kan worden begrensd door een overstort naar het riool of oppervlaktewater	
Waterberging gedimensioneerd op 50 mm in 1 uur (t=100 bui)	
Binnen 48 uur moet de berging weer beschikbaar zijn voor de volgende bui	

Overige aspecten

Eisen	Wensen
Het (water)plein moet multifunctioneel zijn	Het (water)plein ontwerpen met lichte kleuren i.v.m. met albedo (weerkaatsing) en opwarming
Indien het (water)plein in een hotspot ligt zoals te zien is op de PET-kaart (figuur 2) dan is het verplicht om minimaal 40% schaduwvorming wordt gecreëerd	Het (water)plein heeft geen nalevering warmte in de nacht
De maatregel op het (water)plein moet voor verkoeling zorgen en de gevoelstemperatuur minimaal 5 graden omlaag brengen op het warmste moment van de dag	Bij het ontwerpen ruimte maken voor wind en rekening houden met de overheersende windrichting in de zomer
Het (water)plein is klimaat adaptief en in het ontwerp is rekening gehouden met piekbuien, hoge luchttemperaturen en neerslagtekort	Het (water)plein is een boegbeeld voor de buurt en een voorbeeld van klimaatadaptatie
Het (water)plein moet ontworpen worden dat het duidelijk is waar de waterberging zich bevindt, zodat het water en het systeem zichtbaar wordt voor de bezoekers	Bij het ontwerpen van het (water)plein rekening houden met doorstroming van wind en waar mogelijk grote objecten vermijden
Het (water)plein heeft een verkoelende werking in de zomer, maar niet of nauwelijks in de winter	De waterberging van het (water)plein kan worden gebruikt om de grondwaterstand op peil te houden en paalrot te voorkomen
Het ontwerp van het (water)plein moet op meerdere locaties ingezet kunnen worden	De waterberging van het (water)plein kan gebruikt worden in droge periodes
De omgevingswaarden voor wateroverlast wordt minimaal 100% opgelost in het plangebied	Kunstenaars worden betrokken bij het ontwerpen van het (water)plein
Het (water)plein wordt met zoveel mogelijk groen ingericht met minimaal 15% vegetatie index t.o.v. 85% verhardingsindex	Bij voorkeur wordt er gebruik gemaakt van een bodemenergiesysteem of een waterenergiesysteem zoals TEO

Het droogte probleem mag niet groter worden, dus het regenwater wat opgevangen wordt door het (water)plein moet minstens voldoen aan de watervraag (bijvoorbeeld voor vegetatie) voor het (water)plein zelf	Bij voorkeur is het (water)plein schaalbaar en kan het zowel verkleind als vergroot worden toegepast
	Afstroming van het (water)plein ontwerpen op één oor van de straat
	Het (water)plein ontwerpen met een circulair watersysteem, waarbij water geborgen wordt en kan worden hergebruikt
	Gebruik maken van hoogteverschillen voor een mooi ruimtelijk effect

Overige aandachtspunten
De locatie en stakeholders van het plangebied hebben een grote invloed op het ontwerp van het (water)plein. Om deze reden is het sterk aangeraden om tijdig de eisen en wensen van stakeholders te verkrijgen. Hiervoor moet eerste een stakeholderanalyse worden uitgevoerd en opgevolgd door bijvoorbeeld enquêtes of interviews. Daarnaast kan het helpen om stakeholders te betrekken met een ontwerpwedstrijd. Een school in de buurt kan hierbij betrokken worden om meer dynamiek te creëren en het draagvlak te vergroten.
Ook is het belangrijk van tevoren te bedenken of het plein/buitenruimte veranderd wordt van verhard naar onverhard of andersom. Indien het plein verhard is, zijn de kosten hoog om het plein om te vormen tot een groenplein en hetzelfde geldt ook andersom. Aangeraden wordt om de huidige situatie te gebruiken, dus verhard blijft verhard en onverhard blijft onverhard.

Tot slot kan een omgevingsscan voorkomen dat er onverwachte problemen en kosten (zoals met kabels en leidingen) optreden. Hierdoor is er ook direct een goed overzicht van het plangebied.

3 Voorbeelden maatregelen

In dit hoofdstuk worden voorbeelden van maatregelen beschreven die mogelijk verwerkt kunnen worden in het ontwerp van een (water)plein. De maatregelen zijn geselecteerd op hun toepasbaarheid voor een systeem van een (water)plein en kunnen helpen bij de klimaatopgaven hitte, droogte en water.

In de tabel hieronder is het overzicht van de maatregelen. Deze maatregelen worden opgedeeld in twee onderdelen: specifieke maatregelen en standaard maatregelen. Voor de maatregelen geldt dat de ontwerper van het (water)plein kan bepalen welke maatregelen locatie specifiek worden toegepast. De standaard maatregelen moeten in elk ontwerp van (water)plein op een bepaalde wijze verwerkt. Daarnaast staat per maatregel aangegeven wat het doel van de maatregel is en de status van werking. Er is geen rekening gehouden met de levensduur van de maatregelen, omdat dit voorbeelden zijn die nu gebruikt kunnen worden. De kans is groot dat er in de toekomst betere opties beschikbaar zijn.

Toepassing voorbeelden maatregelen
Evenals het programma van eisen en wensen geld voor de maatregelen dat het voor elk project zal verschillen of de maatregelen wel of niet geschikt zijn. De ontwerper moet hier rekening mee houden en zelf een selectie maken van potentiele maatregelen. Door de maatregelen uit te werken en de effecten te bepalen kan er uiteindelijk een keuze worden gemaakt om definitief toe te passen op het ontwerp.

Maatregel betreft water	Doel	Status werking
Bedriegertjes	Verkoeling, positieve impuls omgeving	Werkt goed in de praktijk
Verneveling	Verkoeling	Werkt goed in de praktijk
Waterspeeltuin of natuurspeeltuin	Waterberging, recreatie en verkoeling	Werkt goed in de praktijk
Grindkoffer	Waterberging en hemelwater infiltreren	Werkt kleinschalig goed in de praktijk
Infiltratiekratten	Waterberging en hemelwater infiltreren	Werkt goed in de praktijk
Bufferblocks	Waterberging	Werkt goed in de praktijk
Watershells	Waterberging	Werkt goed in de praktijk

Maatregel betreft de water aanvoer (bodem)	Doel	Status werking
Urban Waterbuffer	Waterberging, zuivering en water hergebruiken	Werkt goed in de praktijk
Diepgrondwater gebruiken a.d.h.v. stijghoogte	Wateraanvoer	Afhankelijk van de stijghoogte

Maatregel betreft schaduwvorming	Doel	Status werking
Een “normaal” dak	Schaduwvorming, vertragen hemelwater	Werkt goed in de praktijk
Groen dak	Schaduwvorming, waterberging en verkoeling	Werkt goed in de praktijk
Blauw dak	Schaduwvorming en waterberging	Werkt goed in de praktijk
Tarpen of parasols	Schaduwvorming	Werkt goed in de praktijk

Maatregel betreft wind	Doel	Status werking
De Coolkuip	Verkoeling	Prototype
Mega ventilator	Verkoeling	Werkt goed in de praktijk

Maatregel betreft groen	Doel	Status werking
Wadi	Waterberging, hemelwater afvoeren of infiltreren	Werkt goed in de praktijk
Vegetatie	Waterberging en verkoeling	Werkt goed in de praktijk

Standaard maatregelen	Doel	Status werking
Water passerende stenen	hemelwater infilteren	Werkt goed in de praktijk
Grasbetontegels	hemelwater infilteren	Werkt goed in de praktijk
Gietrubber	hemelwater infilteren en albedo verlagen	Werkt goed in de praktijk
Zuivering SediSubstrator L	Zuiveren afstromend hemelwater	Werkt goed in de praktijk
Urban Rainshells	Zuiveren afstromend hemelwater	Wordt operationeel getest
Daken uit de omgeving afkoppelen	Wateropgave verminderen	Werkt goed in de praktijk

Overige aandachtspunten
Daarnaast zijn maatregelen gedateerd en er komen jaarlijks tientallen nieuwe innovatieve maatregelen op de markt. Om deze reden wordt het aangeraden om de website www.waterwindow.nl te bezoeken. Hierop komen (bijna) alle nieuwe maatregelen en innovaties van watertechnieken op te staan. Op deze website staat ook in welke fase de maatregel zich bevindt (concept, prototype en definitief ontwerp). Voor sommige maatregelen moet namelijk nog onderzoek worden gedaan of het daadwerkelijk het beoogde resultaat behaald.

Ook bestaat er binnen de gemeente Rotterdam een toolbox/Bouwstenen-rapport met een overzicht van veelbelovende en bewezen maatregelen. Hieruit kunnen ook maatregelen gekozen worden

4 Toetsingscriteria

Als het systeem van het (water)plein ontworpen wordt zal het concept beoordeelt worden a.d.h.v. criteria. Deze criteria helpen om de eisen en wensen uit hoofdstuk 2 te beoordelen. Op deze manier wordt in beeld gebracht of het systeem functioneert en wat eventueel de zwakke punten zijn. Voor de zwakke punten kan door de ontwerper aanpassingen worden gedaan.

Hieronder staan de criteria waarop het (water)plein beoordeeld wordt vervolgens wordt er per criteria beschreven waarom deze belangrijk zijn.

De criteria zijn:

- Kosten
- Veiligheid en gezondheid
- Beheer en onderhoud
- Schaalbaarheid
- Recreatie en impuls buitenruimte
- Effect op klimaatopgaven

Kosten
Om de kans te vergroten dat een (water)plein een succesvol wordt, is het belangrijk dat de kosten niet te hoog uitvallen. Een goed werkend (water)plein met lagere kosten heeft een grotere slagingskans dan hetzelfde (water)plein met hoge kosten. Lagere kosten zorgen er ook voor dat het (water)plein op meerdere locaties toegepast kan worden (afhankelijk van criteria schaalbaarheid).

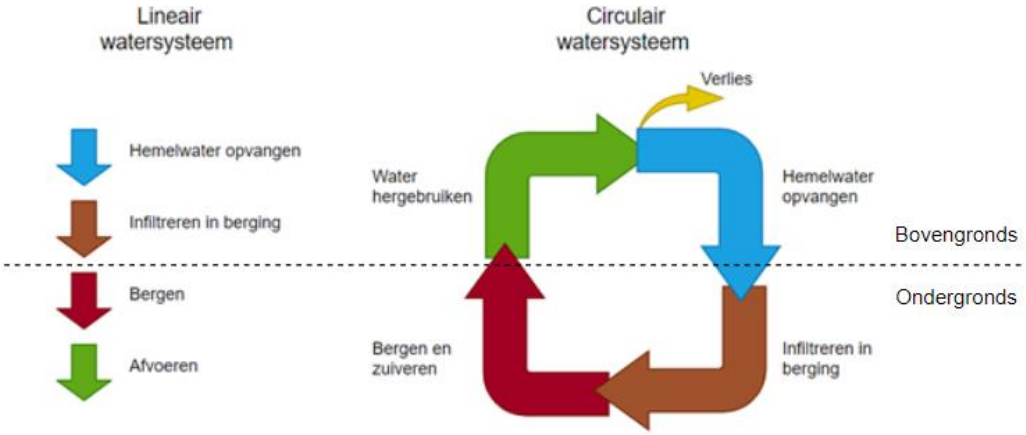
Veiligheid en gezondheid
Het is cruciaal dat het (water)plein blootstellingen aan verontreinigd water voorkomt. Van tevoren moet bepaald worden hoe goed de zuivering werkt. Als er gebruik wordt gemaakt van een waterspeeltuin of natuurspeeltuin worden de normen van zwemwater in acht genomen en moet het (water)plein hieraan voldoen. Er zijn nog geen specifieke waterkwaliteitsnormen voor dit soort toepassingen, maar de verwachting is dat deze er komende jaren wel zullen komen. Daarnaast wordt altijd aanbevolen om een risicobeheersplan op te stellen en voornamelijk als er risico voor Legionella is (bijvoorbeeld bij besproeiing).

Beheer en onderhoud
Uit ervaring van gerealiseerde waterpleinen is gebleken dat er niet altijd van tevoren goed over het beheer en onderhoud van het plein was nagedacht. Voor nieuwe ontwerpen is het daarom belangrijk om van deze ervaringen te leren en toe te passen.

Schaalbaarheid
De mogelijkheid om het (water)plein te verkleinen of vergroten zonder al te veel wijzigingen. De schaalbaarheid is ook een belangrijk criterium van het (water)plein, omdat het hierdoor mogelijk dat het ontwerp op meerder locaties toegepast kan worden. De baten tegenover de kosten moeten wel enigszins hetzelfde blijven óf juist gunstiger.

Recreatie en impuls buitenruimte
Het plein zal ontworpen voor buitenruimte, waarbij veel stakeholders betrokken zijn. Voor een succesvol ontwerp is het belangrijk dat een meerwaarde heeft voor de omgeving. Recreatie is een manier om de meerwaarde eenvoudig te verhogen en daarom wordt ook aangeraden om minstens één vorm van recreatie in het ontwerp toe te passen.

Effect op klimaatopgaven
Hiermee wordt bedoeld het effect op klimaatopgave hitte, droogte en de wateropgave. Dit is het doel van het (water)plein en is daarom een belangrijke factor bij het ontwerpen. Dit kan worden gerealiseerd met een lineair of circulair watersysteem (zie figuur hieronder).



Figuur 2. Lineair en cirulair watersysteem.

Overige aandachtspunten
De criteria zijn samengesteld aan de hand van referentieprojecten, aanbevelingen van experts van de gemeente Rotterdam en de doelstelling van het afstudeeronderzoek “Een (water)plein tegen hittestress, droogte én piekbuien.” De keuzes binnen de criteria zijn in praktijk afhankelijk van de locatie specifieke projectteam. Hierbij is het hun verantwoordelijkheid om te bepalen welke criteria weglaten of toegevoegd worden. Daarnaast moet dit team ook de weegfactoren en de eventuele scores naar eigen inzicht aanpassen.

5 Disclaimer

Let op deze ontwerprichtlijn is in juni 2020 geschreven en door snelle ontwikkelingen van maatregelen en wet -en regelgeving in deze sector wordt aangeraden om deze ontwerprichtlijn regelmatig te actualiseren.