

NKWK Klimaatbestendige Stad

Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie

Achtergrondrapport

December 2022



NKWK Klimaatbestendige Stad

Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie

Achtergrondrapport

Consortium NKWK-KBS Stedelijke Waterkwaliteit en Klimaatadaptatie 2022

Bart-Jan Vreman (Arcadis) – Projectleider NKWK-KBW SWKA

Anke Vaarten (Arcadis)

Martin de Haan (RHDHV)

Margo Robben (RHDHV)

Susan Sollie (TAUW)

Julia Bleser (Deltares)

Anniek de Jong (Deltares)

Suzanne van der Meulen (Deltares)

Jesse Limaheluw (RIVM)

Menno van Bijsterveldt (Stichting CAS)

Begeleidingscommissie

Sita Vulto (HDSR) – Voorzitter Begeleidingscommissie NKWK-KBS SWKA

Ron Nap (RWS) - Projectteam NKWK-KBS

Kees Broks (STOWA) - Projectteam NKWK-KBS

Erik de Pooter (WSRL)

Marcel Clewits (gemeente Amstelveen)

Marthijn Manenschijn (Waterschap Rijn en IJssel)

Paul Kemp (Waterschap Drents Overijsselse Delta)

Erik de Haan (Provincie Zuid-Holland)

Mark Nijman (Waternet)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat (NKWK) en werd gefinancierd door het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat).

Gebruik van inhoud van dit rapport is toegestaan onder vermelding van de bron. De bron is per foto aangegeven.

Wijze van refereren

“NKWK, 2022. Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie – Achtergrondrapportage. December 2022.”

Meer informatie en contact

www.klimaatadaptatienederland.nl

bartjan.vreman@arcadis.com

Samenvatting

De aanleiding

Steden moeten zich aanpassen aan klimaatverandering om ook in de toekomst leefbaar te blijven. Stedelijk water speelt hierin een belangrijke rol. Water in de stad kan de omgevingstemperatuur verlagen, helpen om overtollige neerslag op te vangen, biodiversiteit versterken, of verkoeling bieden, bijvoorbeeld door recreatie. Door het inzetten van water als klimaatadaptatiemaatregel zullen meer mensen met water in aanraking gaan komen. Tegelijkertijd krijgt het water steeds meer functies. Het is dus in toenemende mate van belang om de kwaliteit van het water te waarborgen, en rekening te houden met de risico's die 'blauwe' maatregelen met zich mee kunnen brengen. Deze risico's kunnen onder invloed van klimaatverandering gaan veranderen. Hogere watertemperaturen en toenemende afspoeling door extreme neerslag versterken bijvoorbeeld de groei van blauwalgen. Dit levert gezondheidsrisico's op voor gebruikers van het water, maar ook voor de ecologische functie.

De behoefte

In 2021 is het onderzoeksprogramma NKWK-KBS Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie (SWKA) afgerond. In dit programma zijn de effecten van klimaatverandering op de stedelijk waterkwaliteit en het gebruik van het stedelijke water onderzocht. Ook is een verkenning uitgevoerd naar de effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op de stedelijke waterkwaliteit. Tijdens de opstartfase van het voorliggende onderzoek (vraagarticulatie Onderzoeksprogramma 2022), alsmede in het vorige onderzoek, is vastgesteld dat er voor gemeenten en waterschappen nog veel onduidelijk is over 1.) de effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit, 2.) de effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit en 3.) het handelingsperspectief om watersystemen (meer) klimaatrobust te maken. Uit deze drie punten volgt de onderzoeksvraag van het onderzoeksprogramma NKWK-KBS Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie 2022: Wat zijn de effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatiemaatregelen op de stedelijke waterkwaliteit, wat zijn sturende parameters (indicatoren) en wat is het handelingsperspectief voor de eindgebruiker om met deze effecten om te gaan?

Voorafgaand aan het project is door het projectteam NKWK-KBS de behoefte vastgesteld om de resultaten op bovengenoemde onderzoeksvraag te ontsluiten in een bruikbare wegwijzer of handreiking over het omgaan met klimaatverandering en adaptatiemaatregelen ten behoeve van een goede waterkwaliteit.

De organisatie

Het onderzoek is uitgevoerd door een consortium bestaande uit Arcadis (projectleiding), Deltares, het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), TAUW, Royal HaskoningDHV (RHDHV) en Stichting CAS. Het onderzoek is begeleid door de begeleidingscommissie (BC) bestaande uit waterschappen, gemeenten en provincie. De voorzittersrol vanuit de BC is vervuld door het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Vanuit het projectteam (PT) NKWK-KBS waren Rijkswaterstaat, het STOWA en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (DGRW) vertegenwoordigd.

De aanpak

In de eerste fase van het onderzoek is een notitie opgesteld met hierin de afbakening van de opdracht. Hierbij is ingezoomd op de waterkwaliteit in de breedste zin van het woord. Zo staat beschreven wat wij verstaan onder stedelijke waterkwaliteit en welke onderdelen binnen het NKWK-KBS onderzoek zijn uitgewerkt. Na goedkeuring door de BC is vervolgens gestart met fase 2. Deze fase omvatte twee sporen. In het eerste spoor zijn de sturende factoren (indicatoren) geïdentificeerd die bepalend zijn voor de waterkwaliteit én gevoelig zijn voor klimaatverandering om vandaaruit een inschatting te maken van de kwetsbaarheid van watersystemen. Tevens is in deze fase samen met de BC en een grote gebruikersgroep besproken hoe deze inzichten een plek kunnen krijgen in de Klimateffectatlas. In het tweede spoor zijn de effecten van adaptatiemaatregelen op de waterkwaliteit in beeld gebracht. Dit stelt de gebruiker in staat om deze effecten goed mee te nemen in maatregelkeuzes. Daarnaast is uitgewerkt hoe eventuele negatieve waterkwaliteitseffecten kunnen worden tegengegaan of beperkt. In de derde en laatste fase zijn alle inzichten ontsloten via een technisch achtergronddocument, een interactieve tool (I-report), het Kennisportaal Klimaatadaptatienederland.nl, en een presentatie tijdens het ClimateCafé,

De eindproducten

Het hoofdproduct van dit project is een interactief tool (het I-report) waarmee gebruikers snel en gemakkelijk inzicht kunnen krijgen in de mogelijke effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatie op de stedelijke waterkwaliteit. Deze tool is te vinden via het Kennisportaal Klimaatadaptatienederland.nl. De tool geeft bijvoorbeeld inzicht in de effecten van verschillende aspecten van klimaatverandering (droogte, wateroverlast en hitte) op de waterkwaliteit, de effecten van specifieke (klimaatadaptatie)maatregelen op de waterkwaliteit, of de maatregelen die genomen kunnen worden om eventuele waterkwaliteitsknelpunten te beperken of op te lossen.

Het tweede product is het voorliggende technische achtergronddocument. Hierin staan de afbakening, werkwijze en methodiek van het project beschreven, is de inhoudelijke uitwerking van het onderzoek (zoals grenswaarden, kentallen en rekenregels) terug te vinden en doen we aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Het derde product of onderdeel van het project is de ontsluiting van de onderzoeksresultaten en het I-report. Alle uitkomsten van het onderzoek zijn terug te vinden op het Kennisportaal Klimaatadaptatienederland.nl in het kennisdossier "Stedelijke Waterkwaliteit". Op deze website zijn het I-report, voorliggende achtergrondrapportage en aanvullende (Excel)tabellen met informatie over water- en klimaatadaptatiemaatregelen, grenswaarden en effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op de stedelijke waterkwaliteit te vinden. Verder zijn voorliggende resultaten, voor zo ver van belang, ook ontsloten via de andere NKWK-onderzoeksprogramma's, kennisbank Groenblauwe Netwerken, het onderzoeksprogramma van het STOWA (bijsluiters waterkwaliteit bij de Klimaatstresstest), de Klimateffectatlas (KEA) en diverse websites.

Vervolgonderzoek 2023

Het onderzoeksconsortium heeft geadviseerd om het voorliggende onderzoek verder te brengen door een stevigere koppeling te leggen met verschillende watertypen (aansluiten op bijvoorbeeld KRW-typen) en functionele kwaliteit van het stedelijke water. Deze kwaliteit is voor bijvoorbeeld zwemmen degelijk anders dan voor wonen of recreëren langs het water. Een tweede aanbeveling is het uitwerken van 1 of 2 kaartverhalen over stedelijke waterkwaliteit binnen de Klimateffectatlas. Als voorbeeld dient de bestaande kaart “watertemperatuur”. Het derde advies is het actief betrekken van gebruikersgroepen om projectdoelen en producten te toetsen op bruikbaarheid (via de netwerken RIONED, KEA, STOWA en ons eigen netwerk).

De mogelijkheden voor vervolgonderzoek worden begin januari 2023 verder verkend met de BC en het PT van NKWK-KBS.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Onderzoekssporen	8
1.3	Leeswijzer.....	9
2	Definities en afbakening	10
2.1	Waterkwaliteit	10
2.2	Watertypen	11
2.3	Functies van oppervlaktewateren.....	13
2.4	Klimaatverandering.....	14
2.5	Schaalniveaus.....	15
2.6	Doelgroep.....	16
2.7	Effectbeoordeling.....	17
3	Waterkwaliteitsaspecten	19
3.1	Indicatoren.....	20
3.2	Stuurvariabelen.....	22
3.3	Grenswaarden kwetsbaarheid watersysteem	23
3.4	Beschikbare tools en modellen	24
4	Klimaatverandering, klimaatadaptatie en waterkwaliteitsmaatregelen.....	26
4.1	Effecten klimaatverandering op stuurvariabelen	26
4.2	Effecten klimaatadaptatie op stuurvariabelen	27
4.3	Beschouwde klimaatadaptatiemaatregelen en clustering	27
4.4	Impact van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit	29
4.5	Waterkwaliteitsmaatregelen	29

5	Producten en aanbevelingen.....	32
5.1	Interactief document	32
5.2	Gegevensontsluiting	33
	A. Klimaat-effectatlas	33
	B. Websites en Climate Café	34
5.3	Aanbeveling voor vervolg	36
6	Referenties.....	38

BIJLAGEN

	Bijlage 1 Effecten klimaatverandering.....	46
	Bijlage 2 Grenswaarden kwetsbaarheid	47
	Bijlage 3 Waterkwaliteitsmaatregelen	48
	Bijlage 4 Klimaatadaptatiemaatregelen	49
	A. Dakbedekking vervangen door groen	49
	B. Verhard oppervlak vervangen of verwijderen	51
	C. Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan gebruiken of infiltreren	60
	D. Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan afvoeren.....	68
	E. Oppervlaktewater creëren.....	75
	F. Primair warmte verlagende maatregelen	79
	Bijlage 5 Locatie van klimaatadaptatiemaatregelen	88
	Bijlage 6 Kwantitatief effect van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit	96

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2021 is het onderzoeksprogramma NKWK-KBS Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie (SWKA) afgerond. In dit programma zijn de effecten van klimaatverandering op de stedelijk waterkwaliteit en het gebruik van het stedelijke water onderzocht. Ook is een verkenning uitgevoerd naar de effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op de stedelijke waterkwaliteit. Tijdens de opstartfase van het voorliggende onderzoek (vraagarticulatie Onderzoeksprogramma 2022), alsmede in het vorige onderzoek, is vastgesteld dat er voor gemeenten en waterschappen nog veel onduidelijk is over:

- De effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit.
- De effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit.
- Het handelingsperspectief om watersystemen (meer) klimaatrobust te maken.

Uit deze drie punten volgt de onderzoeksvraag van het onderzoeksprogramma NKWK-KBS Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie 2022: **Wat zijn de effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatiemaatregelen op de stedelijke waterkwaliteit, wat zijn sturende parameters (indicatoren) en wat is het handelingsperspectief voor de eindgebruiker om met deze effecten om te gaan?**

Er is sterke behoefte om de resultaten op de onderzoeksvraag te ontsluiten in **een bruikbare wegwijzer of handreiking** over het omgaan met klimaatverandering en adaptatiemaatregelen ten behoeve van een goede waterkwaliteit.

1.2 Onderzoekssporen

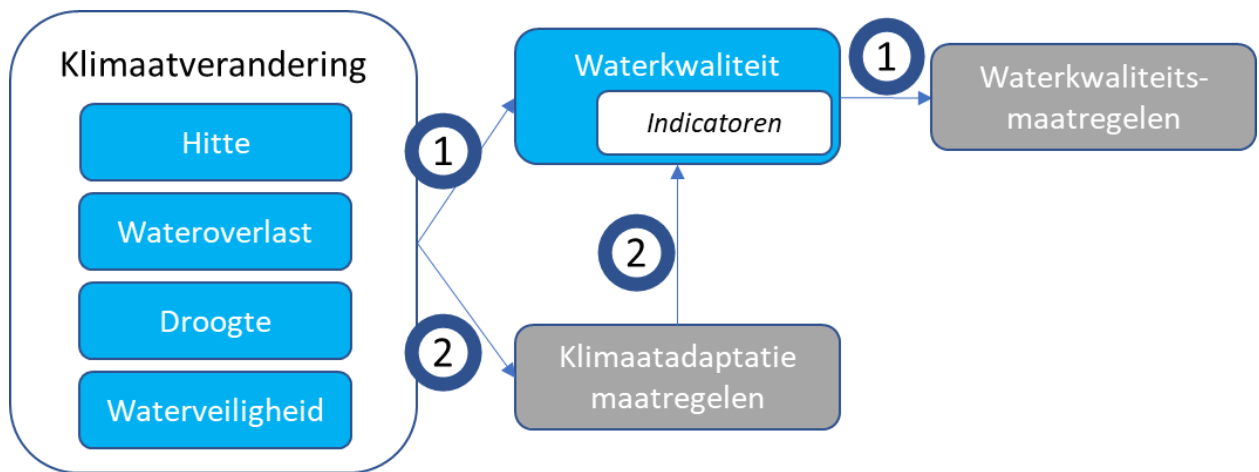
Het consortium bestaande uit Arcadis, Deltares, het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), TAUW, Royal HaskoningDHV (RHDHV) en Stichting CAS heeft het onderzoek aan de hand van twee onderzoekssporen (grotendeels parallel aan elkaar) uitgewerkt:

Spoor 1 Klimaatverandering en waterkwaliteit

- Een nadere verdieping naar de sturende parameters (indicatoren en stuurvariabelen) voor de stedelijke waterkwaliteit.
- Bepaling van effecten van klimaatverandering op de stuurvariabelen.
- Vuistregels ter bepaling van de kwetsbaarheid van een systeem voor klimaatverandering.
- Maatregelen om negatieve effecten van klimaatverandering te verminderen of voorkomen.

Spoor 2 Klimaatadaptatiemaatregelen

- Overzicht en clustering van klimaatadaptatiemaatregelen die genomen worden om de gevolgen van hitte, droogte en wateroverlast te verminderen.
- Bepaling van effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op de stuurvariabelen.
- Maatregelen om negatieve effecten van klimaatadaptatiemaatregelen te verminderen of te voorkomen.



Figuur 1 Twee onderzoekssporen: Spoor 1 Klimaatverandering en waterkwaliteit, en Spoor 2 Klimaatadaptatiemaatregelen. Klimaatverandering (bekeken via vier drukfactoren) beïnvloedt de waterkwaliteit, en is de aanleiding voor het nemen van klimaatadaptatiemaatregelen.

1.3 Leeswijzer

Dit achtergronddocument begint met een beschrijving van belangrijke definities en een afbakening van het project (Hoofdstuk 2). In Hoofdstuk 3 zijn de indicatoren en stuurvariabelen gepresenteerd. Zij vormen de rode draad binnen dit project. Vervolgens zijn Spoor 1 en Spoor 2 uitgewerkt in Hoofdstuk 4. Tenslotte is in Hoofdstuk 5 beschreven welke producten zijn opgeleverd en waar deze ontsloten zijn. Gedetailleerde uitwerkingen van verschillende uitkomsten uit Spoor 1 en 2 zijn opgenomen in de bijlagen.

2 Definities en afbakening

2.1 Waterkwaliteit

In het Europese waterkwaliteitssysteem is waterkwaliteit opgebouwd uit chemische en ecologische aspecten. Volgens de definities van de Kaderrichtlijn Water is de chemische waterkwaliteit een maat voor afwezigheid van 33 specifieke belastende stoffen. De ecologische waterkwaliteit omvat een combinatie van het aanwezige waterleven (biologische kenmerken), eigenschappen als doorzicht, zuurstof en meststoffen (fysisch-chemische kenmerken), een set aan 'overige verontreinigende stoffen' en de vorm van wateren (hydromorfologische kenmerken). Niet iedereen denkt aan precies deze vier aspecten. Als je iemand vraagt naar de definitie van een goede waterkwaliteit, zullen er verschillende antwoorden komen. De bewoner heeft het over helder water, vrij van stank, blauwalg en dode vissen. De waterbeheerder heeft het over een diversiteit van onderwaterleven en afwezigheid van vervuilende stoffen, en sportverenigingen hebben het over water waar je niet ziek van wordt als je erin gaat zwemmen.

Kijkend naar kwaliteiten van stadswateren onderscheiden we drie domeinen: gebruiks- en beeldkwaliteit, (volks)gezondheid, en ecologische kwaliteit. De domeinen overlappen deels. Bijvoorbeeld, blauwalg heeft invloed op de volksgezondheid, beeldkwaliteit én ecologische kwaliteit. Klimaatverandering beïnvloedt elk van deze kwaliteiten, helaas grotendeels ten negatieve. In Figuur 2 worden de (kwaliteits)domeinen gevisualiseerd. Het project is primair afgebakend op deze drie domeinen.



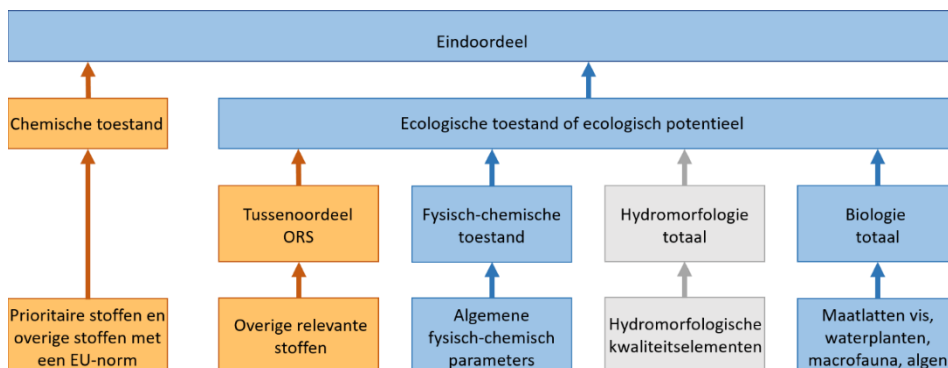
Figuur 2 Drie domeinen van waterkwaliteit

De ecologische waterkwaliteit omvat soortdiversiteit, maar ook uitingen van een slechte waterkwaliteit via overlast van bijvoorbeeld kroos, flab, stank, of dode vogels. Deze overlast is sterk gerelateerd aan de belevingswaarde van water. Ondersteunende fysische chemie is inbegrepen. Voor bovenstaande elementen van de waterkwaliteit kan worden gesteld dat deze direct door klimaatverandering (bijvoorbeeld door een hogere temperatuur) kunnen worden beïnvloed. Daarnaast wordt een aantal overige relevante en prioritaire stoffen beïnvloed door bepaalde aspecten van klimaatverandering zoals hitte en wateroverlast. Bovendien kunnen diverse klimaatadaptatiemaatregelen leiden tot hogere concentraties van bepaalde stoffen in het water. Een

voorbeeld zijn zware metalen en oliën die na afkoppelmaatregelen in verhoogde mate van het wegoppervlak afspoelen. Naast deze genoemde stoffen zijn er nog vele stoffen te benoemen die mogelijk aanwezig zijn in stedelijk water, maar waarvan een directe relatie met klimaatverandering en –adaptatie niet aantoonbaar is. Om voor alle stoffen op zoek te gaan naar eventuele relaties met het klimaat gaat voor dit onderzoek te ver. Het is dan ook niet de bedoeling om eventuele effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatiemaatregelen op alle overige verontreinigende stoffen en prioritair stoffen in beeld te brengen. Alleen waar duidelijke relaties zijn aan te wijzen tussen klimaatverandering en maatregelen enerzijds, en stoffen in het stedelijk oppervlaktewater anderzijds maken deze stoffen wel deel uit van het onderzoek. In Figuur 3 is de afbakening van de ecologische waterkwaliteit weergegeven.

Volksgesondheid vullen we in via de microbiële waterkwaliteit, omdat verwacht wordt dat (wild)zwemmen, sporten en recreëren in stadswateren toe zal nemen door klimaatverandering. Gebruiks- en beeldkwaliteit is gericht op de functies die een stadswater heeft. Ook beleving speelt hierin een belangrijke rol. In het project nemen wij de meest voorkomende functies van stedelijk water mee (Sectie 3.3).

Wat niet primair binnen de kaders van het project valt zijn de hydromorfologische kenmerken van een watersysteem. Ze komen op hoofdlijnen aan de orde (beschrijvend de mate waarin deze kenmerken een systeem gevoeliger of juist minder gevoelig maken voor klimaatverandering), maar worden niet in detail uitgewerkt.



Figuur 3 Schematisch overzicht voor beoordeling van de waterkwaliteit volgens de Kaderrichtlijn Water-systematiek waarin de kleuren de afbakening van dit onderzoek weergeven. Blauw: primaire afbakening, Oranje: alleen meenemen indien er duidelijke relatie is met klimaatverandering en/of adaptatiemaatregelen, Grijs: valt buiten kaders van dit project en wordt hooguit op hoofdlijnen meegenomen.

2.2 Watertypen

Dit onderzoek omvat de wateren binnen het stedelijk gebied. Het gaat dan voornamelijk om wateren die zijn aangemerkt als ‘overig water’. In enkele gevallen zijn de meegenomen wateren aangewezen als KRW-waterlichaam. In de effectbeoordeling maken wij geen onderscheid in deze status en gaat het primair om eigenschappen van het water als breedte en diepte. Wij onderscheiden in het project de watertypen zoals in Tabel 1 opgenomen. Niet jaarrond watervoerende typen, zoals rietmoeras, wadi of zaksloot zijn niet in het project beschouwd. Wel zijn deze meegenomen in Spoor 2 als adaptatiemaatregel. Een rietmoeras in stedelijk gebied is aangelegd voor berging of voor zuivering

van oppervlaktewater. Een groene berging of wadi is een verlaging in het landschap waarin tijdelijk regenwater kan worden opgevangen (en gezuiverd). Dit water kan vervolgens in de bodem infiltreren of kan later worden afgevoerd naar het oppervlaktewater. Een groene berging staat meestal droog. Binnen Spoor 2 komen deze watertypen nadrukkelijk aan de orde, inclusief de resulterende waterkwaliteit.

Tabel 1 Overzicht stadswatertypen

Type	Typering conform KRW	Korte omschrijving
Vijver	M11 (zand/klei) of M25 (veen)	Door de mens aangelegd, polygone vorm. Ligging vaak in parkachtige omgeving, minder dan 3m diep.
Plas	M21	Met water aangevulde uitgraving ingericht voor natuur en recreatie, meer dan 3m diep
Gracht/singel	M6	Aangelegde waterweg met (meestal) cultuurhistorische waarde die wordt gebruikt voor afwatering en transport.
Bovenloop bebouwde kom	R3 (zand/klei) of R11 (veen)	Smalle en ondiepe watergang die water afvoert uit een oorsprongsgebied of uit één of meerdere bronnen.
Midden- of benedenloop bebouwde kom	R5 (zand/klei) of R12 (veen)	Watergang met variatie in stroming en afvoer. Vaak beeldbepalend in een dorp of stad.
(Afvoer)kanaal	M7	Een kanaal is een gegraven lijnvormig waterweg voor verkeer, afwatering of bevloeiing en verbindt plaatsen en/of gebieden over grotere afstanden. Meer dan 15m breed.
Bron	R1 of R2	Een geconcentreerde uitstroom van grondwater dat onder hoge druk wordt opgeperst tot boven het aardoppervlak.
Zaksloot	-	Een zaksloot, oftewel droge (weg)sloot, is een temporaire watergang en dient primair voor de ontwatering van aanliggende gronden of de opvang van afvloeiend hemelwater van terreinen of wegen.
Diepe plas of meer	Diverse M-typen	Een diepe plas is vaak een uitgraving in het landschap ten behoeve van zand- en grindwinning. Het zijn geïsoleerde, wateren met stratificatie in de zomer
Kwelsloot	M1	Een kunstmatig lijnvormig watergang dat aan de binnenkant van een dijk is gegraven om kwelwater op te vangen en af te voeren.
Brede sloot	M3 (zand/klei) of M10 (veen)	Een sloot is een ondiep gegraven watergang die dient om overtollig water af te voeren om wateroverlast te voorkomen. Het is een permanente watergang tussen 8 en 15 m breed.
Smalle Sloot	M1 (zand/klei) of M8 (veen)	Een sloot is een ondiep gegraven watergang die dient om overtollig water af te voeren om wateroverlast te voorkomen. Het is een permanente watergang minder dan 8 m breed

2.3 Functies van oppervlaktewateren

De hierboven genoemde watertypen verschillen van elkaar door hun omvang, vorm of ondergrond. Daarnaast hebben stadswateren één of meerdere functies; ze voeren bijvoorbeeld water af, vormen een speelplek voor kinderen, vergroten de belevingswaarden, of zijn een ‘natuurparel’ in de stad. In dit project beschouwen wij alleen de functies waar klimaatverandering, adaptatiemaatregelen (die veelal getroffen zijn ten behoeve van de hydrologie), en de veranderende stedelijke waterkwaliteit impact op hebben. De selectie in Tabel 2 is een gecombineerde versie vanuit het NKWK-SWKA 2020 project en de Klimaatstresstest Waterkwaliteit (KSW-stad). Proceswater en drinkwater zijn niet meegenomen, omdat deze functies in stedelijk gebied niet of nauwelijks spelen (NKWK, 2020).

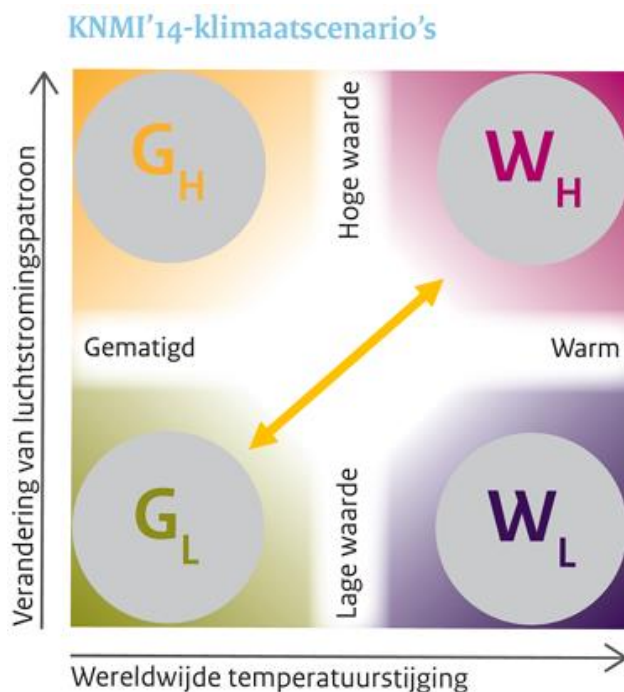
Tabel 2 Overzicht functies van stadswater

Categorie	Functie	Korte omschrijving
Watersysteemfunctie	Opvang riool overstort, berging	Wateren die tijdens (hevige) neerslag rioolwater bergen wanneer het rioolstelsel de maximale capaciteit heeft bereikt.
	Waterafvoer	Watergangen voor de afvoer van water (in natte perioden).
	Energieopwekking	Water en de ruimte op het water dat gebruikt wordt voor het opwekken van duurzame energie. Hieronder valt ook de verzamelterm aquathermie.
	Beregeningswater	Het gebruik van oppervlaktewater voor een beregeningssysteem in de landbouw/moestuinen (irrigatie).
	Ontvangend oppervlaktewaterlozing	Wateren die lozingen ontvangen vanuit het riool, rioolwaterzuivering of bedrijven.
	Scheepsvaart	Wateren met een functie voor transport van goederen over stadswater, bijvoorbeeld van bouwmaterialen of bevoorrading horeca. Ook transport van mensen (watertaxi's).
	Verminderen hittestress	Water in combinatie met stedelijk groen kan hittestress verminderen.
Waterkwaliteits-functie	Zuivering	Wateren met een waterzuiverende functie, bijvoorbeeld met een helofytenfilter.
	Zuurstofverrijking	Wateren met een zuurstofverrijkende functie.
Kijkwater- en belevingsfunctie	Kijkwater en beleving	Wateren met een functie als kijkwater of die een belevingswaarde hebben.
	Cultuurhistorisch	Wateren die belangrijke cultuurhistorische waarden herbergen.
	Wonen op/aan het water	Wonen aan een waterpartij of in een woonboot.
Natuurfunctie	Natuur	Wateren die belangrijke natuurwaarden herbergen.

Recreatiefunctie	Hengelsport	Wateren speciaal ingericht voor recreatief vissen (primaire functie) of wateren waar informeel gevist wordt (secundaire functie).
	Recreatie op de oever	Wateren waar er aan de oever gerecreëerd wordt.
	Speelplek	Speciaal ingerichte wateren waar (kleine) kinderen kunnen spelen.
	Varen	Water met functie voor de recreatievaart. Zowel roeien etc. als doorgaande pleziervaart.
	Zwemmen	Oppervlaktewater dat moet voldoen aan de Europese Zwemwaterrichtlijn (primaire zwemwaterfunctie) of informeel gebruikt wordt als zwemwater (secundaire zwemwaterfunctie).

2.4 Klimaatverandering

Wat klimaatverandering voor de nabije toekomst betekent is door het KNMI zichtbaar gemaakt met vier klimaatscenario's G_H , G_L , W_H en W_L , waarbij verandering van luchtstromingspatronen en de temperatuurstijging sturende factoren zijn (Figuur 4).



Figuur 4 KNMI'14 Klimaatscenario's

Deze scenario's gaan uit van de door het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) gepubliceerde modelresultaten. Inmiddels heeft het IPCC in 2021 eerdere conclusies over de gevolgen van klimaatverandering bevestigd en van meer bewijs voorzien. In het kader van de Nationale Adaptatiestrategie (NAS) zijn voor Nederland vier 'klimaatdrukfactoren' geïdentificeerd:

warmer (hitte), natter (wateroverlast), droger, en zeespiegelstijging (waterveiligheid). Dit zijn de belangrijkste aspecten van klimaatverandering voor Nederland.

Voor deze factoren gaan we in dit project uit van de volgende ontwikkelingen:

- Hitte:
 - De gemiddelde luchttemperatuur neemt verder toe
 - Het groeiseizoen start eerder en loopt langer door
 - De kans op hittegolven neemt toe
 - Er zijn meer tropische dagen en nachten
 - Er zijn minder vorstdagen in de winter

- Wateroverlast:
 - Er valt jaarlijks steeds meer neerslag
 - Er zijn steeds meer wolkbreuken
 - In de winter neemt het neerslagoverschot toe

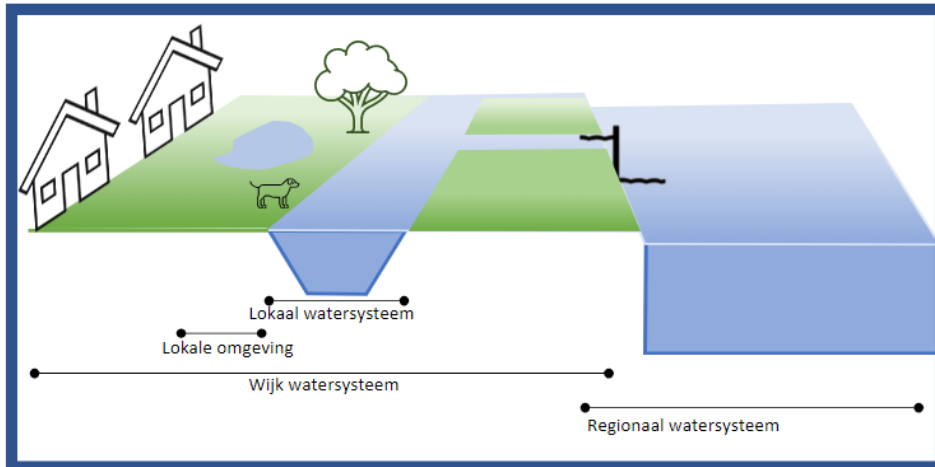
- Droogte:
 - Er is in de zomerperiode een steeds groter neerslagtekort
 - De kans op (langdurige) droogte neemt steeds meer toe
 - De kans op natuurbranden neemt toe

- Waterveiligheid:
 - De waterafvoer van de grote rivieren neemt in de winter toe
 - Door wolkbreuken kan de afvoer van rivieren ook in andere seizoenen problemen veroorzaken
 - De zeespiegelstijging zet door
 - De vochthuishouding en daarmee de stabiliteit in veen- of klei/veendijken wordt bedreigd bij langdurige droogte

2.5 Schaalniveaus

Voor Spoor 1 en Spoor 2 gelden verschillende schaalniveaus.

Voor **Spoor 1** onderscheiden we vier verschillende schaalniveaus waarop waterkwaliteitsmaatregelen genomen worden om het watersysteem robuuster te maken. Het gaat dan om 1) de lokale omgeving, 2) het lokale watersysteem, 3) het wijkwatersysteem en 4) het regionale watersysteem. In Figuur 5 zijn deze schaalniveaus gevisualiseerd.



Figuur 5 De verschillende schaalniveaus waarop waterkwaliteitsmaatregelen kunnen worden getroffen

- *Lokaal watersysteem*: het lokale watersysteem is een watergang, begrensd door een duiker, stuw of andere barrière.
- *Lokale omgeving*: de lokale omgeving is de directe omgeving aan de watergang. Het gaat dan bijvoorbeeld om de oevers, wandelpaden, wegen, bomen die van invloed zijn op de watergang.
- *Wijk watersysteem*: het wijk watersysteem bestaat uit een serie van met duikers of stuwen aan elkaar geschakelde watergangen en waterpartijen.
- *Regionaal watersysteem*: het regionale watersysteem omvat, naast het wijk watersysteem, tevens het grotere watersysteem (rivier, boezem, kanaal).

Voor **Spoor 2** richtten we ons op de klimaatadaptatiemaatregel zelf. Het schaalniveau in dit spoor loopt meestal van kavel- tot straatniveau. We achtten het niet zinvol om klimaatadaptatiemaatregelen 'in huis' (denk aan minderen op gebruik van energie en drinkwater) te behandelen als bij voorbaat duidelijk is dat effecten op de waterkwaliteit in stedelijke water niet aantoonbaar zijn. Evenmin behandelen we klimaatadaptatiemaatregelen die op veel grotere schaal dan het stedelijk gebied effecten hebben, zoals landelijke verduurzamingsprojecten. De volgende schaalniveaus zijn onderscheiden: 1) gebouw, 2) perceel, 3) straat en 4) buurt.

2.6 Doelgroep

Schoon en gezond water is essentieel voor veel verschillende sectoren, zoals de landbouw en visserij, industrie, transport en huishoudens. Deze sectoren hebben verschillende rollen in het waterbeheer. Ze kunnen beleid maken, maatregelen nemen, of zijn gebruiker. In dit project zijn de producten vooral gericht op de sectoren die actief bezig zijn om de waterkwaliteit te verbeteren. Zij kunnen de producten gebruiken in hun afwegingen voor effectieve waterkwaliteitsverbetering en vormen de primaire doelgroep. Gebruikers in de primaire doelgroep zijn te vinden bij gemeenten, waterschappen en provincies. Het betreft met name medewerkers in de beleidsvelden

klimaatadaptatie, water, stedenbouw, landschap, ruimtelijke ordening, ecologie, recreatie (zwemwater) en rioolbeheer.

Naast de primaire doelgroep die actief met de producten zal gaan werken is er een secundaire doelgroep, bestaande uit sectoren die de resultaten of inzichten die uit de producten komen willen gebruiken in hun afwegingen. Denk aan een beleidsmaker van een waterschap die kwetsbare plekken in de stad op een kaart wil zien. Of een evenementenorganisator die geïnteresseerd is in locaties waar de zwemwaterkwaliteit goed is. Ten slotte is een tertiaire doelgroep gedefinieerd. Dit zijn partijen die belang hebben bij een goede waterkwaliteit en voor wie het nuttig is kennis te nemen van de mogelijke effecten van klimaatverandering en van klimaatadaptatiemaatregelen op de waterkwaliteit in de stad. In Tabel 3 zijn de doelgroepen weergegeven.

Tabel 3 Doelgroep met onderscheid tussen primaire, secundaire en tertiaire doelgroep

Doelgroep	Primair	Secundair	Tertiair
Gemeenten	x		
Waterschappen	x		
Provincies	x		
Rijkswaterstaat		x	
Diverse ministeries		x	
Unie van Waterschappen		x	
Sport: vereniging, evenementen		x	
Terreinbeherende Organisaties		x	
Recreatieschappen		x	
Sportvisserij			x
Recreanten			x
Bewoners/ burgers			x
Hulpdiensten			x
Stadslandbouw			x
Horeca			x
Bedrijven			x
Beroepsscheepvaart			x

2.7 Effectbeoordeling

In deze studie zijn de effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatie op stedelijke waterkwaliteit in beeld gebracht. Daarbij is vooralsnog geen onderscheid gemaakt in watertypen, functies of lokale omstandigheden van een watersysteem. Ook zijn de effecten van elk van de stuurvariabelen nog niet in samenhang beschouwd. In de praktijk is het daadwerkelijke effect natuurlijk wel een optelsom van effecten via verschillende stuurfactoren, en spelen watertype, functie, en lokale omstandigheden wel een rol bij de aard en omvang van de effecten. Dit project

geeft op hoofdlijnen eerste inzichten van effecten die optreden. De effectbeoordeling is 'kwalitatief' uitgevoerd met een detailniveau van 'niet kwetsbaar', 'kwetsbaar' of 'zeer kwetsbaar'. Detaillering van de effectbeoordeling via de samenhang van verschillende effecten en specificatie naar lokale omstandigheden is opgenomen in de aanbevelingen voor vervolg (Hoofdstuk 5).

3 Waterkwaliteitsaspecten

Bepaalde eigenschappen van een watersysteem maken het in meer of mindere mate gevoelig voor klimaatverandering. Zogenaamde ‘robuuste’ systemen zijn niet of weinig gevoelig voor klimaatverandering en negatieve veranderingen in waterkwaliteit als gevolg van klimaatverandering zijn minimaal. ‘Zeer kwetsbare’ watersystemen reageren sterk op klimaatveranderingen en negatieve effecten treden met grote zekerheid op. Tussen robuust en zeer kwetsbaar zijn veel variaties te vinden. Het is waardevol om te weten of een watersysteem robuust is, zeer kwetsbaar of iets ertussen in. De kwetsbaarheid wordt bepaald door de eigenschappen van het watersysteem en de omgeving. Bijvoorbeeld, een ondiep systeem warmt snel op. Dat vergroot de gevoeligheid van dit systeem voor blauwalgbloei. Een watersysteem met een korte verblijftijd en voeding van nutriëntenarm water is juist minder gevoelig voor groei van blauwalgen of kroos.

Om de kwetsbaarheid van een systeem voor klimaatverandering te bepalen, is het nodig om de eigenschappen van het systeem in kaart te brengen en daarvan te bepalen of deze eigenschappen het systeem kwetsbaar maken of niet. Deze eigenschappen zijn geordend in zes indicatoren met onderliggende stuurvariabelen. Indicatoren zijn toestandsvariabelen die bepalend zijn voor de waterkwaliteit én gevoelig zijn voor klimaatverandering. Stuurvariabelen zijn onderliggende factoren die de toestand van de indicatoren bepalen. Deze variabelen kunnen met maatregelen beïnvloed worden.

Per stuurvariabele zijn vervolgens grenswaarden geformuleerd waarmee kan worden aangegeven wanneer een watersysteem kwetsbaar is voor een minder goede waterkwaliteit.

Onderzocht is in hoeverre kwantificering van de grenswaarden mogelijk is: voor de verschillende indicatoren is gezocht naar modellen, rekenregels en kentallen.

Indicatoren en stuurvariabelen zijn geselecteerd op basis van een aantal criteria (Tabel 4). Een geschikte indicator of stuurvariabele is relevant, reproduceerbaar, temporeel en ruimtelijk representatief, en er zijn (of komen) betrouwbare en actuele data over beschikbaar.

Tabel 4 Criteria ten behoeve van vaststellen bepalende indicatoren en stuurvariabelen

Criterium	Beschrijving
Relevant	De indicator heeft belangrijke impact op waterkwaliteit, zoals in literatuur beschreven
	De indicator wordt beïnvloed door klimaatverandering, zoals in literatuur beschreven
Reproduceerbaar	De indicator is te kwantificeren of duidelijk kwalitatief te omschrijven
Temporeel representatief	De indicator geeft inzicht in variaties over tijd
Ruimtelijk representatief	De indicator geeft inzicht op relevante ruimtelijke schaal
Betrouwbare en actuele bronnen	Er is data beschikbaar van betrouwbare bronnen, zoals overheidsdatabases en databases van onderzoeksinstituten. Deze databases worden regelmatig geactualiseerd. Als de data er nog niet is, kan deze wel verzameld worden.

3.1 Indicatoren

De waterkwaliteit in een stedelijk watersysteem kan door veel verschillende factoren worden beïnvloed. Indicatoren aan de hand waarvan de stedelijke waterkwaliteit kan worden gekenmerkt betreffen voedselrijkdom, doorstroming, watertemperatuur, zuurstofgehalte, zoutgehalte, en verontreiniging (Figuur 6).



Figuur 6 Overzicht indicatoren.

Indicator 1. Voedselrijkdom Een hoge voedselrijkdom staat aan de basis van veel waterkwaliteitsproblemen. Algen en kroos maken graag gebruik van de hoge beschikbaarheid van nutriënten en concurreren waterplanten weg. Woekering van dominant voorkomende waterplanten vindt ook plaats in eutrofe systemen. Klimaatverandering zal effect hebben op de voedselrijkdom van watersystemen via hitte (bijvoorbeeld verhoogde concentraties via verdamping), droogte (bijvoorbeeld inlaat voedselrijk water) en wateroverlast (bijvoorbeeld overstorten).

Indicator 2. Doorstroming Een systeem waarin water stilstaat is gevoeliger voor overlast. Een lange verblijftijd geeft algen en kroos de tijd om lokaal te kunnen bloeien. Klimaatverandering zal effect hebben op de doorstroming van watersystemen via hitte (bijvoorbeeld verdamping), droogte (bijvoorbeeld vermindering kweldruk of inlaat gebiedsvreemd water) en wateroverlast (bijvoorbeeld vergroting waterafvoer).

Indicator 3. Watertemperatuur Algen en kroos groeien sneller bij hogere watertemperaturen. Overlast door vissterfte, blauwalgen of muggen kan ook vaker voorkomen. Klimaatverandering heeft direct effect op de watertemperatuur via opwarming, het afnemen van het aantal vorstdagen, maar ook indirect door vermindering van (koude) kweldruk.

Indicator 4. Zuurstofgehalte Een zuurstofdynamiek waarin te vaak zuurstofarme of -loze omstandigheden ontstaan kan stank, vissterfte en groei van schadelijke blauwalgen tot gevolg

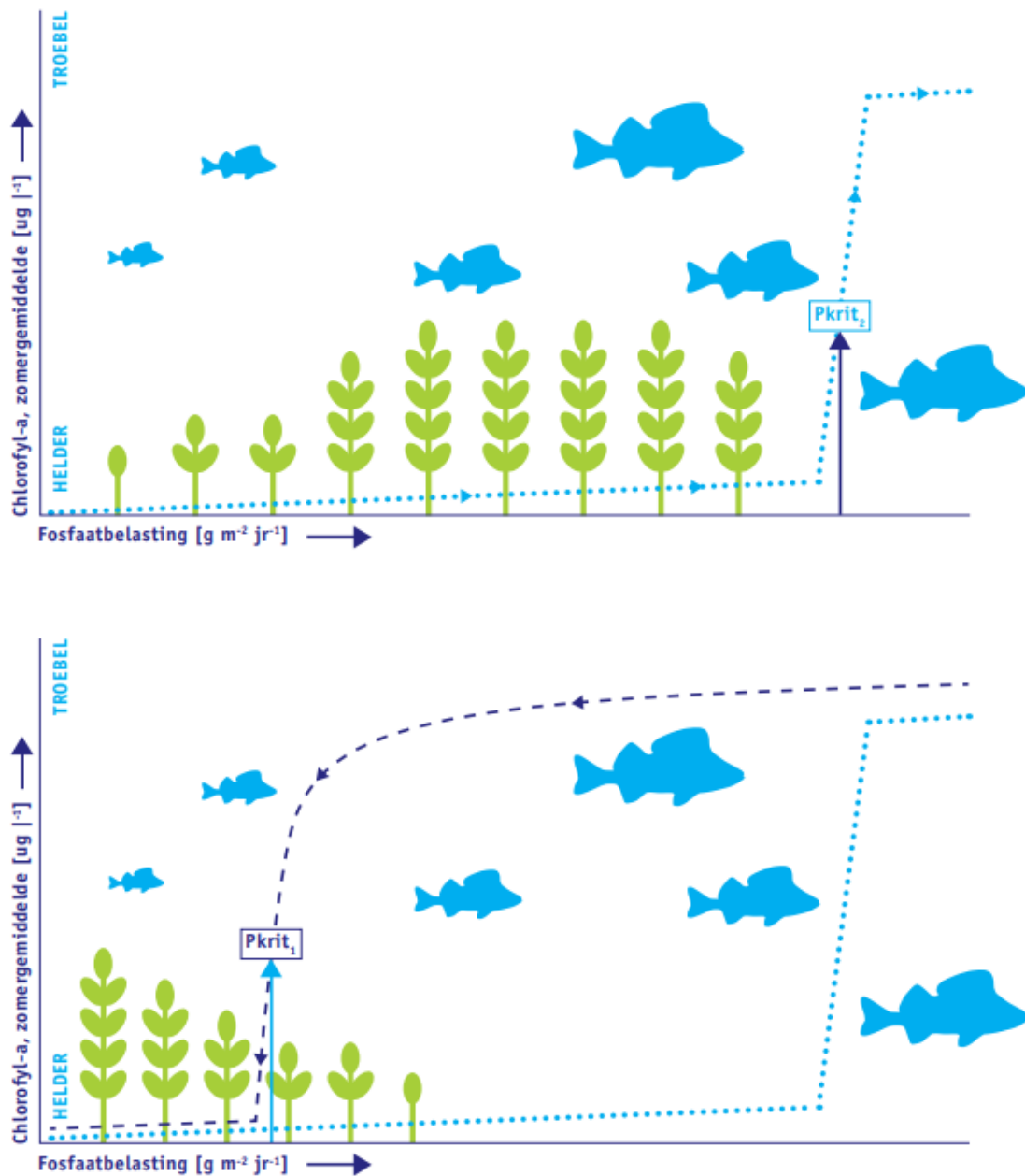
hebben. Klimaatverandering heeft effect op de zuurstofdynamiek in watersystemen via hitte (bijvoorbeeld verhoogde mineralisatie) en wateroverlast (bijvoorbeeld overstorten).

Indicator 5. Zoutgehalte Het zoutgehalte van een watersysteem bepaalt welke waterplanten en – dieren voorkomen in een watersysteem. Door klimaatverandering neemt verzilting vooral toe in gebieden aan de kust. Dat komt onder andere doordat er door de stijgende zeespiegel en dalende bodem steeds meer zoute kwel het zoetwater in stroomt en de zouttong zich in oostelijke richting uitbreidt. Ook droogte en hitte kunnen verzilting van het oppervlaktewater veroorzaken. Zo laten we in droge periodes weleens ‘gebiedsvreemd water’ in vanuit de grote rivieren, terwijl het zoutgehalte van dat water in de zomer soms erg hoog is. Daarnaast verdampt er meer water in warme perioden, waardoor het zoutgehalte van het water nog verder stijgt. Voor de natuur, agrariërs, industrie, en drinkwaterbedrijven kan verzilting een probleem zijn.

Indicator 6. Verontreiniging (Micro)verontreinigingen als zware metalen, medicijnresten en gewasbeschermingsmiddelen zijn schadelijk voor het leven in en om het oppervlaktewater. Verontreiniging met ziekteverwekkers (zoals fecale bacteriën) is schadelijk voor de volksgezondheid: zwemmers of waterrecreanten kunnen hier ziek van worden. Door klimaatverandering kunnen er meer verontreinigingen in het stedelijk oppervlaktewater terechtkomen, door afspoeling van (verhard) oppervlak of door riooloverstorting bij een piekbui.

Indicatoren staan niet op zichzelf, maar beïnvloeden elkaar ook. Zo leidt een hoge voedselrijkdom in een stilstaand systeem tot meer waterkwaliteitsproblemen dan in een systeem dat voldoende doorstroomt. De koppeling van de indicatoren met versterking of verzwakking van effecten is niet uitgewerkt in dit project. Zonder koppeling krijgt de waterbeheerder inzicht in indicatoren en stuurvariabelen die het systeem (in principe) kwetsbaar maken. Met *expert judgement* kunnen vervolgens nuances aangebracht worden.

Een ander aspect dat een rol speelt bij de waterkwaliteit is ‘hysterese’ (Figuur 7). Dit is het verschijnsel dat een systeem verschillende stabiele toestanden kan kennen, waarbij er omslagpunten zijn te onderscheiden. Voorbeelden van stabiele toestanden zijn enerzijds een troebele, voedselrijke toestand en anderzijds een heldere voedselarme toestand. Bijzonder aan hysterese is dat een watersysteem dat na een lange opbouw van nutriëntenaanvoer is omgeslagen naar een troebele toestand pas weer kan terugkeren naar een heldere toestand als de voedselrijkdom tot ver beneden het oorspronkelijk omslagpunt wordt teruggebracht.



Figuur 7 Hysteresis: alternatieve stabiele toestanden. De lichtblauwe lijn geeft de omslag van helder naar troebel weer, de donkerblauwe lijn laat de weg 'terug' zien.

3.2 Stuurvariabelen

Aan elke indicator zijn stuurvariabelen gekoppeld (Tabel 5). De lijst van stuurvariabelen die invloed hebben op een indicator kan zeer lang zijn. Ecosystemen bestaan immers uit complexe interacties tussen tal van biologische en fysisch-chemische factoren. Voor overzicht en toepasbaarheid is een selectie gemaakt van stuurvariabelen op basis van een aantal uitgangspunten. Van de stuurvariabelen

zijn relatief gemakkelijk data te verkrijgen via meetgegevens, ecoscans, legger of een veldbezoek. De stuurvariabelen kunnen (met enkele uitzonderingen) met maatregelen gestuurd worden.

Tabel 5 Stuurvariabelen die de toestand van de indicatoren bepalen

1. Voedselrijkdom	2. Doorstroming	3. Watertemperatuur
Voedselrijkdom bodem (type)	Doodlopende watergang	Diepte
Riooloverstort	Inlaat water	Inval zonlicht
Inlaat (voedselrijk water)	Grondwateraanvoer	Aanvoer koud kwelwater
Voedselrijkdom bodem (slib)	Weerstand onderste waterlaag door waterplanten	Luchttemperatuur
Afspoeling hondenpoep	Weerstand bovenste waterlaag door duikerligging	
Instroom vogelpoep	Weerstand door krappe duiker	
Bemesting omgeving		
Bladinval		
4. Zuurstofgehalte	5. Zoutgehalte	6. Verontreiniging
Organische belasting via riooloverstort	Zouttong	Afspoeling van verhard oppervlak
Organische belasting via bladinval	Inlaat oppervlaktewater	Openheid verhard oppervlak
Organische belasting via vogelpoep	Kwel	Riooloverstort
Zuurstofverbruik waterplanten		Afspoeling hondenpoep
Watertemperatuur		Instroom vogelpoep
		Scheepvaart
		Onkruidbestrijdingsmiddelen
		Lekkage riolering
		Zwemmers

3.3 Grenswaarden kwetsbaarheid watersysteem

In secties 3.1 en 3.2 is beschreven dat de eigenschappen van een watersysteem bepalend zijn voor de gevoeligheid van een watersysteem in relatie tot klimaatverandering. De eigenschappen zijn geordend in zes indicatoren met onderliggende stuurvariabelen. Voor elk van de stuurvariabelen zijn grenswaarden bepaald voor de oordelen 'zeer kwetsbaar', 'kwetsbaar' en 'niet kwetsbaar'. De tabel met grenswaarden is opgenomen in Bijlage 2. Als verdere toelichting op de tabel kunnen de volgende punten worden geraadpleegd:

- De grenswaarden moeten worden gezien als vuistregel. Dit betekent dat ze een ordegrootte aangeven van de categorieën 'zeer kwetsbaar', 'kwetsbaar' en 'niet kwetsbaar'. Voor gebruikers die weinig kennis van de inhoud hebben, zijn de grenswaarden een goed uitgangspunt voor de beoordeling. Als een gebruiker van de grenswaardentabel op basis van eigen onderzoek of ervaring de grenswaarden anders inschat, dan kan ervoor gekozen worden die te gebruiken.
- De grenswaarden zijn bepaald op basis van literatuur en/of expert judgement. De gebruikte literatuur is aangegeven in de tabel in Bijlage 2.
- De grenswaarden zijn kwantitatief of (in geval het niet mogelijk was te kwantificeren) kwalitatief beschreven. In sommige gevallen zijn voor een stuurvariabele zowel kwantitatieve als

kwalitatieve grenswaarden opgenomen. Met de kwalitatieve beschrijving kan ook zonder data een oordeel gegeven worden over de kwetsbaarheid.

- De grenswaarden geven (met uitzondering van enkele stuurvariabelen) geen onderscheid voor verschillende watertypen en functies in een watersysteem. Verdere uitwerking in deze richting vindt plaats in 2023.

3.4 Beschikbare tools en modellen

Om kwantitatief inzicht te krijgen in de effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit (via de geïdentificeerde indicatoren) is onderzocht welke tools en modellen hiervoor beschikbaar zijn.

- *Voedselrijkdom*
Om de voedselrijkdom van het water beter in kaart te brengen kan gebruik worden gemaakt van de modellen PCLake en PCDitch. Met deze modellen kan de kritische nutriëntenbelasting worden bepaald. De kritische belasting geeft het omslagpunt weer tussen helder en troebel. Dit model is beschikbaar via: www.stowa.nl.
- *Doorstroming*
Door klimaatverandering kan de doorstroming van water op locaties veranderen. Door droogte kan het afnemen en door een verhoogde afvoer of overstromingen kan het juist toenemen. Bekend is dat op plekken waar de doorstroming afneemt of zelfs stopt sneller waterkwaliteitsproblemen kunnen ontstaan. Om deze knelpunten te lokaliseren is het van belang om een goed inzicht te hebben op het watersysteem. Voor veel watersystemen (met name de systemen die bijvoorbeeld een bergings- of afvoerfunctie hebben) is deze informatie beschikbaar bij het waterschap. De waterbeheerder beschikt ook verschillende hydrologische modellen, waarmee in de toekomst potentieel stilvallende locaties kunnen worden gelokaliseerd.
- *Watertemperatuur*
Voor de verandering in watertemperatuur zijn geen geschikte modellen gevonden voor het Nederlandse watersysteem. In 2014 is er wel een kaart gemaakt in de Klimateffectatlas waarin de verandering van watertemperatuur als gevolg van klimaatverandering is weergegeven in het aantal dagen dat de temperatuur achtereen boven de 20°C komt. Dit is destijds berekend met behulp van Cool Water Tool (CWT). Dit model is vooral in ondiep water toepasbaar. Bij grotere dieptes kloppen de uitkomsten minder omdat er in de praktijk gelaagdheid optreedt, wat niet in de tool is opgenomen.
- *Zuurstofgehalte*
Voor het inschatten van het zuurstofgehalte in de toekomst zijn geen geschikte modellen gevonden die aandacht besteden aan de verschillende variabelen die het zuurstofgehalte kunnen beïnvloeden. Online zijn er wel verschillende tools beschikbaar om enig inzicht te krijgen in de invloed van enkele variabelen. Zo is in opdracht van STOWA in 2010 de tool Oxy-val ontwikkeld om de effecten van overstorten in een systeem beter in beeld te brengen (STOWA 2010-17). Deze tool geeft aan op welke locaties het zuurstofgehalte drastisch kan dalen vanwege een of meerdere overstorten. In deze tool wordt ook rekening gehouden met de invloed van meerdere

overstorten achter elkaar. Met behulp van Oxy-val kan men een beter inzicht krijgen in de relatie tussen de organische belasting en de zuurstofhuishouding van een waterlichaam. Aan de hand van enkele variabelen (hydrologisch, overstorten, bronnen nutriënten) kan een beter inzicht verkregen worden op de zuurstofgehalten van het systeem. De tool hiervoor is te vinden op: STOWA ESF - Stilstaande wateren - Deltares downloads

- *Zoutgehalte*

Omdat zout een inerte stof is zijn modellen niet nodig voor eenvoudige berekeningen van de resulterende zoutconcentratie na menging van twee waterstromen met verschillende zoutconcentraties. Gradiënten van zoutgehaltenes in ruimtelijke zin (horizontaal en verticaal) kunnen alleen in beeld worden gebracht met hydrologische 2D of 3D-modellering. Voor stedelijke watersystemen is dit naar verwachting niet vaak aan de orde.

- *Verontreiniging*

Verontreinigende stoffen zijn zo divers van aard dat voor 'verontreiniging' in het algemeen geen modellen beschikbaar zijn.

4 Klimaatverandering, klimaatadaptatie en waterkwaliteitsmaatregelen

In Spoor 1 zijn de effecten van klimaatverandering op stedelijke waterkwaliteit onderzocht. Op basis van eerder onderzoek en *expert judgement* zijn voor alle stuurvariabelen (Sectie 4.1) de effecten van klimaatverandering op deze stuurvariabelen beschreven.

In Spoor 2 komen de klimaatadaptatiemaatregelen aan bod. Deze maatregelen worden genomen om ons aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering. Onderzocht is welke maatregelen worden genomen in het stedelijk gebied. Per maatregel zijn het karakter van de maatregel, de reden waarom de maatregel wordt genomen (bestrijding wateroverlast, droogte of hitte) en welke mogelijke effecten er zijn op de oppervlaktewaterkwaliteit aangegeven (secties 4.2-4.4).

Ten slotte is onderzocht welke waterkwaliteitsmaatregelen kunnen worden genomen die eraan kunnen bijdragen dat het stedelijk watersysteem robuuster wordt om negatieve waterkwaliteitseffecten van klimaatverandering tegen te gaan dan wel eventuele negatieve effecten van klimaatadaptatiemaatregelen te mitigeren (Sectie 4.5).

Dit hoofdstuk beschrijft met name onze aanpak. De volledige resultaten zijn opgenomen in de bijlagen.

4.1 Effecten klimaatverandering op stuurvariabelen

Klimaatverandering heeft invloed op elk van de geïdentificeerde stuurvariabelen en daarmee op (de toestand van) de indicatoren. In dit project is het effect bepaald aan de hand van literatuur, eerdere studies (bijvoorbeeld Kennisportaal Klimaatadaptatie (2022), TAUW (2021) en Van der Kamp et al. (2021)) en expert judgement. Het volledige overzicht van de effecten van klimaatverandering op de stuurvariabelen en daarmee op de waterkwaliteit is opgenomen in Bijlage 1. Het effect is weergegeven als één van vier oordelen (Tabel 6).

Tabel 6 Oordelen behorend bij beschrijving van effecten op stuurvariabelen en waterkwaliteit

Oordeel	Beschrijving van het effect
Toename (T)	De stuurvariabele neemt toe in grootte en deze toename is negatief voor de waterkwaliteit.
Toename (T)	De stuurvariabele neemt toe in grootte en deze toename is positief voor de waterkwaliteit.
Afname (A)	De stuurvariabele neemt af in grootte en deze afname is negatief voor de waterkwaliteit.
Afname (A)	De stuurvariabele neemt af in grootte en deze afname is positief voor de waterkwaliteit.

Het effect op de stuurvariabelen is per klimaatdrukfactor hitte, wateroverlast, droogte en waterveiligheid (zie ook Sectie 2.4) vastgesteld. In een begeleidende tekst is kort beschreven welk effect er optreedt.

4.2 Effecten klimaatadaptatie op stuurvariabelen

In dit spoor zijn de (mogelijke) effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit in kaart gebracht. Relevante maatregelen, met een mogelijk (bedoeld en onbedoeld) effect op waterkwaliteit, zijn overgenomen uit het vorige NKWK-KBS SWKA onderzoek (2021), en aangevuld vanuit het overzicht op Groenblauwe Netwerken (Groenblauwe netwerken (urbangreenbluegrids.com)). Maatregelen zijn geclusterd op basis van het type maatregelen en de beoogde effecten. Per maatregel is op basis van wetenschappelijke literatuur en *expert judgement* voor elke stuurvariabele een kwalitatieve beoordeling gemaakt van een mogelijk effect (geen/positief/negatief). Omdat deze effecten vaak binnen een cluster vergelijkbaar zijn, is per cluster een kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving opgesteld over de impact van de maatregelen op waterkwaliteit.

4.3 Beschouwde klimaatadaptatiemaatregelen en clustering

Binnen het stedelijk gebied kunnen er veel klimaatadaptatiemaatregelen met mogelijke effecten op de waterkwaliteit worden genomen. Afhankelijk van het type maatregel, de plek waar deze wordt genomen en het mogelijke effect is de volgende clustering gemaakt:

- A. Dakbedekking vervangen door groen
- B. Verhard oppervlak verwijderen en vervangen door groen óf vervangen door infiltreerbare verharding
- C. Water 'technisch' vasthouden/afkoppelen en dan gebruiken of infiltreren
- D. Water 'technisch' vasthouden en dan alsnog afvoeren
- E. Meer oppervlaktewater creëren
- F. Maatregelen die primair zijn gericht op verlaging van warmteoverlast

Binnen deze clusters vallen verschillende specifieke maatregelen (Tabel 7).

Tabel 7 Overzicht beschouwde maatregelen, clustering, en schaalniveau

Cluster	Maatregel	Schaal
A. Dakbedekking vervangen door groen	Groen dak (extensief)	Gebouw
	Groen dak (intensief)	Gebouw
	Groen-blauw dak	Gebouw
	Retentiedak	Gebouw
	Polderdak	Gebouw
B. Verhard oppervlak verwijderen en vervangen door groen of vervangen door infiltreerbare verharding	Tegels eruit/groen erin	Perceel
	Geveltuintje	Perceel
	Waterdoorlatende/-passerende verharding	Perceel
	Infiltratieveld of strook (met opslag)	Straat
	Wadi (met drain)	Straat
	Waterbergende (doorlatende) wegfundering	Straat
	Afkoppelen naar regenton/regentank/schutting	Gebouw
	Afkoppelen naar tuin	Gebouw

C. Water technisch vasthouden/afkoppelen en dan infiltreren	Regentuin (<i>raingarden</i>)	Perceel
	Verlaagd terras	Perceel
	Verlaagde tuin(deel)/regenwatervijver	Perceel
	Greppel	Straat
	Grindkoffer	Straat
	Drainage-Infiltratie-Transport (DIT)riolen	Straat
	Diepe grondwaterinfiltratie	Buurt
D. Water technisch vasthouden/afkoppelen en dan alsnog afvoeren	Water (Blauw) dak	Gebouw
	Regenwaterberging onder gebouw	Gebouw
	Infiltratiekrat	Perceel
	Infiltratiekragen	Straat
	Holle/schuine weg	Straat
	Waterplein	Buurt
	Bergingsbassin regenwater (geen bbb)	Buurt
Bergbezinkbassin	Buurt	
E. Meer oppervlaktewater creëren	Extra berghoogte (in opp. water)	Buurt
	Bergingsvijver (permanente vijver)	Buurt
	Extra oppervlaktewater (aanleggen stedelijke waterloop)	Buurt
	Urban wetland/helofytenfilter	Buurt
	Natuurlijke oevers	Straat
F. Primair warmteverlagende maatregelen	Groene gevel	Gebouw
	Koele materialen (hoog albedo)	Gebouw
	Creëren van schaduw	Gebouw
	Fontein, watermuur (koeling)	Perceel
	Bomen planten	Perceel
	Straatbomen en bomenlanen	Straat
	Droogtebestendige planten en bomen	Buurt
Stadsbos	Buurt	

Alle bovenstaande maatregelen zijn nader beschreven in Bijlage 4. Per maatregel zijn het karakter van de maatregel, de reden waarom de maatregel wordt genomen (bestrijding wateroverlast, droogte of hitte) en welke mogelijke effecten er zijn op de oppervlaktewaterkwaliteit aangegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van diverse literatuurbronnen.

Hoe vaak en waar de verschillende typen klimaatadaptatiemaatregelen worden toegepast is uitgewerkt in Bijlage 5. Hierin zijn de locaties van toegepaste klimaatadaptatiemaatregelen op basis van data uit Climatescan (Climatescan.nl) geanalyseerd. Hieruit blijkt in welke wijktypen van Nederland bepaalde maatregelen vaker te vinden zijn. De analyse laat ook zien dat elke maatregel in elke wijk kan voorkomen als de omstandigheden, zoals voldoende ruimtebeschikbaarheid, helling van het gebied, bodemsoort, en grondwaterstand er geschikt voor zijn

4.4 Impact van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit

Het kwantitatieve effect van de klimaatadaptatieregelen op waterkwaliteit is beschreven in Bijlage 6. De 'rendementen' in de tabel in Bijlage 6 zijn afkomstig uit de KBS toolbox ([Klimaatbestendige Stad Toolbox \(kbstoolbox.nl\)](#)) en in drie groepen van indicatoren geclusterd: nutriënten, geabsorbeerde verontreinigingen, en pathogenen. De cijfers geven een schatting van het zuiveringsrendement op basis van literatuur en expert judgement. Een negatief rendement betekent dat de maatregel leidt tot een verslechtering van de waterkwaliteit. Een uitdaging voor de kwantificering van de effecten op de waterkwaliteit is dat zij sterk afhankelijk zijn van locatie, ontwerp, geohydrologie, soort verontreiniging, externe omstandigheden zoals weer, en onderhoud. De tabel geeft een schatting van mogelijke rendementen in het geval van een juiste aanleg en juist beheer. Bijna alle maatregelen kunnen een positief effect hebben op de waterkwaliteit, mits ze goed worden aangelegd, gebruikt, en onderhouden. In de praktijk is dat vaak niet het geval waardoor maatregelen slechts een beperkt positief of zelfs een negatief effect op de waterkwaliteit hebben. Om het best mogelijke positieve effect van de maatregelen te halen, is in de tabel in Bijlage 6 een verbinding met de stuurvariabelen gemaakt en worden er mogelijke aandachtspunten en verwijzingen voor aanleg en beheer genoemd.

4.5 Waterkwaliteitsmaatregelen

Waterkwaliteitsmaatregelen zijn erop gericht om een watersysteem robuuster te maken. Dus om overlast zoveel mogelijk te voorkomen, ook wanneer het klimaat verandert. Een watersysteem is het meest robuust wanneer alle stuurvariabelen 'op groen' staan. In de tabel in Bijlage 3 zijn voor elke stuurvariabele maatregelen benoemd die in de basis een positief effect hebben op de stuurvariabele. In een enkel geval heeft een maatregel een negatief neveneffect op een andere stuurvariabele. Het effect is weergegeven als één van de vier oordelen (Tabel 6).

Keuze maatregelen en clustering

Er zijn tal van maatregelen te bedenken om de waarde van stuurvariabelen te veranderen. De tabel (Bijlage 3) waarin voor verschillende maatregelen de effecten op stuurvariabelen wordt aangegeven is dan ook niet uitputtend. Deze tabel moet vooral als inspiratie worden gezien, en is de start van een discussie over de meest effectieve manieren om het systeem robuuster te maken.

De maatregelen zijn geclusterd:

- *Beheer en onderhoud.* Deze maatregelen zijn gericht op het wijzigen van het beheer en onderhoud van het watersysteem. Maaibeheer, baggerbeheer, maar ook onkruidbestrijding.
- *Waterketen.* Deze groep maatregelen richt zich op aanpak van de waterketen. Aanpassingen aan het rioolsysteem of wijziging van afspoeling.
- *Hydrologisch functioneren.* Deze maatregelen verbeteren het hydrologische functioneren waardoor het water vrij kan stromen en inlaat mogelijk is ten behoeve van de waterkwaliteit.
- *Inrichting.* Inrichtingsmaatregelen wijzigen het profiel van het systeem. Verdiepen, verondiepen, of verbinden van waterpartijen.

- *Communicatie en acceptatie.* Wanneer overlast niet (altijd) voorkomen kan worden, helpt het om daar helder over de communiceren, richting gebruikers van het water. Acceptatie dat een bepaald gebruik niet altijd mogelijk is kan ook een maatregel zijn.
- *Alternatief gebruik.* Wanneer bepaalde functies, vanwege verandering van de waterkwaliteit, niet meer mogelijk zijn, kan gedacht worden aan alternatief gebruik.

Maatregeltype

In de tabel zijn de maatregelen verdeeld over drie categorieën:

- *Preventie:* met deze maatregelen kun je voorkómen dat de waterkwaliteit verslechtert. Bijvoorbeeld water met microverontreinigingen filteren voordat het afstroomt, regenwater afkoppelen om riooloverstorten te voorkomen, of een buffersysteem aanleggen in gebieden die afhankelijk zijn van rivierwater.
- *Adaptatie:* deze maatregelen kunnen een probleem niet voorkomen, maar het negatieve effect van klimaatverandering wel beperken. Bijvoorbeeld oppervlaktewater met een verslechterde kwaliteit vaker doorspoelen, of schaduw toevoegen rondom oppervlaktewater.
- *Acceptatie:* je accepteert dat de waterkwaliteit verandert, en maakt gebruik van deze veranderingen of maakt mensen bewust van de risico's waardoor hun gedrag verandert. Verzilting van water kan bijvoorbeeld kansen bieden voor zilte landbouw, of zwemmers kunnen beter geïnformeerd worden over risico's door ziekteverwekkers op niet-officiële zwemlocaties.

Schaalniveau

De waterkwaliteitsmaatregelen zijn gekoppeld aan verschillende schaalniveaus waarop ze genomen worden. Deze schaalniveaus zijn direct gerelateerd aan de initiatiefnemer van de maatregelen (zie 'Initiatiefnemer'). In Sectie 2.5 zijn de schaalniveaus gevisualiseerd.

Initiatiefnemer

Aan elk van de maatregelen is een initiatiefnemer gekoppeld. Dit is de partij die het initiatief neemt tot het uitvoeren van de maatregelen. Financiering door (ook) andere partijen (bijvoorbeeld terreinbeheerende organisaties) kan van toepassing zijn.

- *Gemeente:* de gemeente is initiatiefnemer voor maatregelen op lokaal niveau. Het gaat dan om lokale inrichtingsmaatregelen, beheer en onderhoud en communicatie.
- *Waterschap:* het waterschap is initiatiefnemer voor maatregelen in het regionale watersysteem. Denk aan wijziging van inlaatbeleid.

Uiteraard is het wenselijk dat gemeente en waterschap zo veel mogelijk samenwerken in het afwegen en uitvoeren van maatregelen. Een goede afstemming leidt tot de beste verbetering.

Effectgerichte en brongericht maatregelen

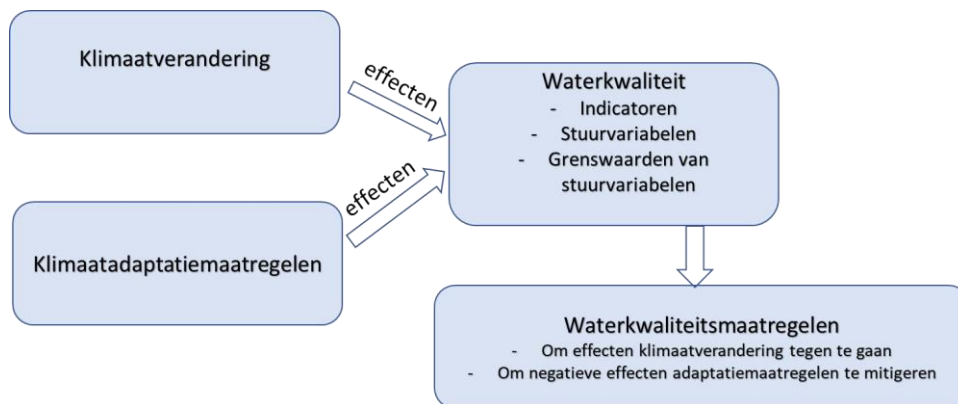
In de maatregeltabel is onderscheid gemaakt in effectgerichte maatregelen en brongerichte maatregelen

- *Effectgerichte maatregel*: maatregelen die erop zijn gericht de negatieve effecten van klimaatverandering weg te nemen of terug te dringen zonder wijzigingen aan te brengen de bronnen van die negatieve effecten. De effectgerichte maatregelen beïnvloeden de indicatoren als geheel en niet de separate stuurvariabelen.
- *Brongerichte maatregel*: maatregelen die erop gericht zijn om de bron van negatieve effecten weg te nemen. Ze grijpen dus in op een specifieke stuurvariabele.

5 Producten en aanbevelingen

5.1 Interactief document

Het hoofdproduct van dit project is een interactief document waarmee gebruikers snel en gemakkelijk inzicht kunnen krijgen in de mogelijke effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatie op de stedelijke waterkwaliteit. In Figuur 8 zijn de elementen van het interactief document weergegeven. Het document wordt ontsloten via de website klimaatadaptatienederland.nl. De informatie die is gebruikt voor het vullen van het interactief document is in deze rapportage opgenomen.



Figuur 8 Schematische weergave van de onderdelen van het interactieve document

Afhankelijk van het doel kiest de gebruiker één van de volgende ingangen:

Ingang Spoor 1: klimaatverandering

Deze route geeft antwoord op de volgende vragen: Welk effect hebben de verschillende aspecten van klimaatverandering (droogte, wateroverlast en hitte) op de waterkwaliteit? Welke stuurvariabelen worden beïnvloed (voedselrijkdom, doorstroming, watertemperatuur, zuurstofgehalte, zoutgehalte, verontreiniging)? Is er sprake van overschrijding van grenswaarden voor één of meerdere van de domeinen volksgezondheid, ecologische waterkwaliteit of gebruiksfunctie? En welke waterkwaliteitsmaatregelen kan ik nemen als specifieke grenswaarden worden overschreden?

Ingang Spoor 2: klimaatadaptatie

Deze route geeft antwoord op de volgende vragen: Welke effecten hebben specifieke klimaatadaptatiemaatregelen op de waterkwaliteit? Welke stuurvariabelen worden beïnvloed (voedselrijkdom, doorstroming, watertemperatuur, zuurstofgehalte, zoutgehalte, verontreiniging)? Is er sprake van overschrijding van grenswaarden voor één of meerdere van de domeinen volksgezondheid, ecologische waterkwaliteit of gebruiksfunctie? En welke mitigerende maatregelen kan ik nemen als er negatieve effecten zijn en als grenswaarden worden overschreden?

Ingang 'andersom': stuurvariabelen

Het product kan ook worden gebruikt om te kijken welke klimaatfactoren en/of adaptatiemaatregelen mogelijk verantwoordelijk zijn voor een waargenomen slechte waterkwaliteit. Daarvoor wordt de route 'andersom' afgelegd. Ook toont het product de diverse relaties tussen stuurvariabelen en gebruiksfuncties en tussen maatregelen en stuurvariabelen.

5.2 Gegevensontsluiting

A. *Klimaat-effectatlas*

Om na te gaan of behoeften aansloten bij de mogelijkheden voor gebruikers met de geselecteerde indicatoren en stuurvariabelen, is in beeld gebracht welke themakaarten gebruikers in de Klimaat-effectatlas terug willen zien. Hiertoe is een behoefteonderzoek uitgevoerd, met een breed digitaal onderzoek gevolgd door een verdiepende gebruikersbijeenkomst.

In het behoefteonderzoek is bepaald welke informatie gewenst is in de Klimaat-effectatlas:

- **Uitleg over de zes indicatoren** met bijbehorende stuurvariabelen. Dit maakt inzichtelijk hoe klimaatverandering waterkwaliteit beïnvloedt. Dit kan in de vorm van plaatjes met tekst.
- **Kaarten en kaartverhalen** van bepalende stuurvariabelen
 1. **Kaart van watertemperatuur** – De watertemperatuur is zeer bepalend voor de ecologische toestand en voor diverse gebruiksfuncties. Ook is deze sterk gerelateerd aan klimaatverandering.
 2. **Kaart van dimensies van watergangen** – De kwetsbaarheid van een watersysteem is afhankelijk van de lokale dimensies. In het algemeen geldt dat hoe groter de dimensies, hoe meer robuust het watersysteem en hoe minder gevoelig voor klimaatverandering. Let wel dat een grote oppervlak met minder diepte juist gevoelig kan zijn. Het gaat dus voornamelijk om het volume met een bepaalde minimale diepte dat het systeem meer robuust maakt.
 3. **Kaart van luwe plekken in het watersysteem** – De grootste waterkwaliteitsproblemen, ook in relatie tot klimaatverandering, ontstaan vaak op 'luwe' plekken in het watersysteem. Dit zijn de delen waar het water stilstaat en/of niet verder kan stromen. Denk aan doodlopende watergangen en dode hoeken.
 4. **Kaart van zoutgehalte/-indringing** – De verzilting van watersystemen neemt naar verwachting toe met klimaatverandering en dat heeft gevolgen voor de ecologische toestand en diverse gebruiksfuncties. Dit probleem speelt met name in het westen van Nederland.

In dit project zijn de ingrediënten bepaald die nodig zijn om de vier genoemde kaarten met landelijke dekking te maken. Deze zijn hieronder beschreven. Idealiter wordt bovengenoemde informatie in een gecombineerde kaart opgenomen. In een vervolgproject (zie ook Sectie 5.3) zal blijken of de set aan ingrediënten compleet is en deze ingrediënten beschikbaar zijn om de kaarten daadwerkelijk te maken. Dan blijkt ook welke informatie gebundeld kan worden.

1. In de Klimaateffectatlas is reeds een kaart van watertemperatuur opgenomen, met de eenheid 'langste reeks dagen oppervlaktewater >20 graden C', berekend met de Cool Water Tool. De huidige kaart (en achtergrondinformatie) is volgens gebruikers niet toereikend voor toepassing op lokaal niveau. In plaats van het bepalen van ingrediënten voor een watertemperatuurkaart wordt aangesloten bij de bestaande kaart. In een vervolgproject wordt onderzocht hoe de huidige watertemperatuurkaart in de Klimaateffectatlas tot stand gekomen is, of er nieuwe data is om de kaart te updaten en of de kaart ook met andere eenheden (zoals maximale temperatuur) gemaakt kan worden.
2. Om een dimensiekaart te maken zijn de volgende ingrediënten nodig voor een lijnvormige watergang:
 - Diepte (uit legger van een waterschap)
 - Breedte (uit legger van een waterschap)

De volgende ingrediënten zijn nodig voor een vlakvormige waterpartij:

- Diepte (uit legger van een waterschap)
 - Oppervlakte (uit legger van een waterschap)
3. Om een luwtekaart te maken zijn de volgende ingrediënten nodig:
 - Breedte (uit legger van een waterschap)
 - Diepte of oppervlak (uit legger van een waterschap)
 - Kunstwerkenkaart (van een waterschap)
 - Bomenkaart (Atlas Natuurlijk Kapitaal kaart 'Bomen in Nederland', 2016)
 - Kwelkaart zomerhalfjaar (Klimaateffectatlas kaart 'kwel en wegzijging, 2016)
 4. Om een zoutindringingskaart te maken zijn de volgende ingrediënten nodig:
 - Kunstwerkenkaart (van een waterschap)
 - Kwelkaart zomerhalfjaar (Klimaateffectatlas kaart 'kwel en wegzijging, 2016)
 - Chloridemeetnet Rijkswaterstaat (www.waterinfo.rws.nl)
 - Verzilting grondwater (Atlas Natuurlijk Kapitaal kaart 'Verzilting grondwater', 2015)

B. Websites en Climate Café

1. Kennisportaal Klimaatadaptatie

Het Kennisportaal Klimaatadaptatie is een belangrijke informatiebron voor iedereen die werkt aan klimaatadaptatie. In 2021 zijn de resultaten van het NKWK-onderzoek 'Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie' uit 2020 gebruikt om een eerste kennisdossier 'Stedelijke Waterkwaliteit' op het kennisportaal te ontwikkelen.

Dit kennisdossier is eind 2022 aangepast/uitgebreid met de nieuwe kennis uit dit onderzoek. Enkele voorbeelden van aanpassingen in het kennisdossier zijn:

- De interactieve PDF heeft een prominente plek in het kennisdossier.

- Deze achtergrondrapportage is – aanvullend op de eerdere achtergrondrapportage uit 2020 - beschikbaar gesteld via het kennisdossier.
- De tabellen met klimaatadaptatiemaatregelen, waterkwaliteitsmaatregelen, grenswaarden en effecten van klimaatverandering zijn door bezoekers van het kennisdossier te downloaden.
- Onderdelen uit deze achtergrondrapportage zijn integraal onderdeel van het kennisdossier, zoals de informatie over indicatoren en stuurvariabelen, én de informatie over de waterkwaliteitsmaatregelen.

2. Kennisbank Groenblauwe Netwerken

De [Kennisbank Groenblauwe Netwerken](#) bevat samenvattingen en *highlights* van wetenschappelijke onderzoeken op het gebied van adaptatiemaatregelen. Ook kun je per maatregel lezen wat er bekend is over de effectiviteit ervan. Tot nu toe ontbreekt vaak nog informatie over het effect van een adaptatiemaatregel op de waterkwaliteit. Daarom is eind 2022 de beschikbare kennis uit dit onderzoek gebruikt om de informatie per adaptatiemaatregel aan te vullen met het effect van de maatregel op de waterkwaliteit. In totaal zitten er ongeveer 20 adaptatiemaatregelen in de kennisbank.

3. Website van RIONED

De resultaten uit dit onderzoek zijn na afronding beschikbaar gesteld aan RIONED, zodat zij de kennis kunnen ontsluiten via hun eigen website. Op 20 september 2022 is een overleg geweest met RIONED over het uitwisselen van de resultaten uit dit onderzoek voor op de RIONED-website.

4. Website van STOWA

De resultaten uit dit onderzoek zijn na afronding beschikbaar gesteld aan STOWA, zodat zij de kennis kunnen ontsluiten via hun eigen website. Op 20 oktober 2022 is overleg gevoerd met STOWA over het uitwisselen van de resultaten uit dit onderzoek voor op de STOWA-website. Naast het uitwisselen van resultaten is ook afgestemd over de producten, zodat de beschikbare kennis vanuit dit onderzoek kan worden gebruikt voor het ontwikkelen van de bijsluiters stresstest voor waterkwaliteit, een traject dat vanuit STOWA wordt gecoördineerd.

5. Klimateffectatlas

De [Klimateffectatlas](#) bevat kaartinformatie over de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland. Via de kaartviewer van de atlas kun je inzoomen op een bepaald gebied, en de gevolgen van klimaatverandering voor dat gebied bekijken. Daarnaast bevat de atlas kaartverhalen die gebruikers helpen om beter te begrijpen wat je op de kaarten ziet.

De resultaten uit dit onderzoek kunnen nog niet direct worden gebruikt voor opname in de Klimateffectatlas. Het geeft echter wel een goed beeld van de behoefte en mogelijkheden om kaarten over waterkwaliteit in de Klimateffectatlas op te nemen. Op basis van de geselecteerde kaarten en de ingrediënten kan in het plan voor volgend jaar worden opgenomen om enkele kaarten/kaartverhalen voor het thema waterkwaliteit te ontwikkelen. Dit zal in nauwe samenwerking

met andere trajecten rondom de Klimateffectatlas gebeuren, zoals ook de bijsluiters stresstest waterkwaliteit.

6. Climate Café

Naast het ontsluiten van de kennis uit dit onderzoek op verschillende onderdelen van de online kennisinfrastructuur voor klimaatadaptatie, hebben we op 8 november 2022 tijdens een Climate Café de resultaten uit het onderzoek gepresenteerd. Onder leiding van Floris Boogaard zijn de onderzoeksresultaten gedeeld en zijn de bezoekers gevraagd om feedback te geven.

5.3 Aanbeveling voor vervolg

Het interactieve document (de handreiking) en dit bijbehorende achtergrondrapport geven een beeld van de kennis die verzameld is in 2022. Het is een eerste stap in het ontsluiten van relevante kennis. Er is echter ook meer specifieke kennis beschikbaar over waterkwaliteitseffecten van klimaatverandering en klimaatadaptatie voor verschillende watertypen en functies. Beide documenten kunnen verder worden aangevuld met specifieke kennis. Ook zijn er vervolgstappen te zetten in het ontsluiten van informatie en optimaliseren van de gebruiksvriendelijkheid van de handreiking. De belangrijkste aanbevelingen voor verdere ontwikkeling van de handreiking worden hieronder beschreven. Wij adviseren om de aanbevelingen uit dit project in samenhang te bekijken met aanbevelingen uit een STOWA project over waterkwaliteit en klimaatverandering dat eind 2022 van start is gegaan en medio 2023 wordt afgerond.

A. *Vaststellen effect klimaatverandering op verschillende watertypen en gebruiksfuncties.*

Het achtergronddocument en de handreiking geven generieke informatie over de impact van klimaatverandering en -adaptatiemaatregelen op waterkwaliteit. Dat is een nuttige eerste stap, omdat nog niet eerder op deze schaal relevante informatie bijeen is gebracht. Het belang van veranderingen in de waterkwaliteit verschilt echter per watertype en is ook afhankelijk van de gewenste ecologische- en gebruikskwaliteit (gebruiksfuncties). In 2023 kan verder worden uitgediept wat de mogelijke impact op verschillende watertypen en gebruiksfuncties is. Hierbij is het ook wenselijk om grenswaarden te kwantificeren die duidelijk maken hoe goed of hoe slecht een verandering in waterkwaliteit is. In 2022 zijn per stuurvariabele al 'grenswaarden' benoemd, waarmee de kwetsbaarheid van een watersysteem kan worden aangeduid. Veelal zijn deze grenswaarden kwalitatief beschreven omdat het algemene grenswaarden betreft voor de gehele set aan watertypen en functies. In 2023 worden de grenswaarden verder gespecificeerd (en zoveel mogelijk gekwantificeerd) naar watertype en functie. Op grond daarvan kunnen besluiten worden genomen over het al dan niet treffen van (aanvullende) waterkwaliteitsmaatregelen.

B. *Opstellen een of twee kaartverhalen t.b.v. de Klimateffectatlas*

In dit project is middels een behoefteonderzoek achterhaald welke kaarten gebruikers graag opgenomen of verder ontwikkeld willen zien in de Klimateffectatlas. Op een rij is gezet welke ingrediënten (data) nodig zijn (en dus moeten worden verzameld) om deze kaarten te kunnen samenstellen. Uit een vervolgproject zal moeten blijken of de set aan ingrediënten compleet is en of de benodigde ingrediënten beschikbaar zijn en ook ontsloten kunnen worden. Het streven is om daadwerkelijk één of twee kaarten te maken die in de Klimateffectatlas opgenomen kunnen worden. Het heeft de

voorkeur om informatie zoveel mogelijk te combineren in één kaart. Hierbij dient de bestaande kaart over watertemperatuur als voorbeeld.

C. Casuïstiek - Optimaliseren interactieve handreiking

Hoewel veel tijd en moeite is gestoken in het gebruiksvriendelijk maken van de interactieve handreiking is het gebruiksgemak nog niet in de praktijk getoetst. In 2023 zal de handreiking daarom door enkele gebruikers in casussen worden toegepast. Daarbij zullen knelpunten en aanvullende wensen worden geïdentificeerd. Op grond daarvan kan de handreiking worden geoptimaliseerd. Beoogde gebruikers van de handreiking kunnen via netwerken als RIONED, KEA, STOWA en DPRA worden uitgenodigd om deze te testen.

6 Referenties

- Adeniyi, I. F., & Olabanji, I. O. (2005). The physico-chemical and bacteriological quality of rainwater collected over different roofing materials in Ile-Ife, southwestern Nigeria. *Chemistry and Ecology*, 21(3), 149–166.
- Akbari, H., Matthews, H. D., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024004.
- Amsterdam Rainproof (2022a): Regenwaterschutting [Regenwaterschutting \(rainproof.nl\)](https://rainproof.nl) (bezocht 18.08.2022)
- Amsterdam Rainproof (2022b): Regenpijp afkoppelen, [Regenpijp afkoppelen | Amsterdam Rainproof](https://rainproof.nl) (bezocht 01.09.2022)
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 282-286.
- Bakker, K., Onderdelinden, G., & Timmer, J. L. (1989). Vergelijking vuilemissies van rioolstelsels met en zonder bergbezinkbassins.
- Bakx, M. (2020). Klimaatadaptatie is geen nieuw, maar juist een eeuwenoud fenomeen.
- Bleuten, W., Brouwer, E., Loeb, R., & Jansen, A. J. M. (2015). Verbetering waterkwaliteit en duurzame inrichting vijvers Jachtslot Sint Hubertus (Het Nationale Park De Hoge Veluwe).
- Boezeman, D., Donkers, H., & Vijfeijken, B. van. (2018). Hitte wordt hot.
- Boezeman, D., Ganzevoort, W., Lier, M. van, & Louwers, P. (2014). De klimaatbestendige stad. Adaptatiestrategieën van Europese koplopers.
- Boogaard, F.; Wentink, R. (2005): Richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer van wadi's, Rioleringswetenschap
- Boogaard, F., & Wentink, R. (2011). (Inter)nationale ervaringen met ondergrondse infiltratievoorzieningen: een overzicht van 20 jaar monitoring in Nederland en een aanzet tot richtlijnen. *WT-afvalwater*, 11(5), 99-113.
- Boogaard FC (2015) Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in The Netherlands. PhD Thesis Delft University of technology, ISBN: 978-94-6259-745-7
- Boogaard (2020): Leren van twintig jaar wadi's in Nederland, *Land + Water*. (bezocht: 27.07.2022)
- Boogaard (2021): 'Een Wadi kun je eigenlijk overal aanleggen', Kennisportaal Klimaatadaptatie, <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/wadi/> (bezocht 18.08.2022)
- Boogaard (2022): De raingarden biedt net als de wadi veel kansen voor Nederland, Kennisportaal Klimaatadaptatie, <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/raingarden-interview-floris-boogaard/> (bezocht 09.08.2022)

- Borella, P., Guerrieri, E., Marchesi, I., Bondi, M., & Messi, P. (2005). Water ecology of Legionella and protozoan: Environmental and public health perspectives. *Biotechnology Annual Review*, 11, 355–380.
- Bratt AR, Finlay JC, Hobbie SE, Janke BD, Worm AC, Kemmitt KL. Contribution of Leaf Litter to Nutrient Export during Winter Months in an Urban Residential Watershed. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(6):3138-47.
- Breevoort, R. (2020). Een (water) plein tegen hittestress, droogte én piekbuien [PhD Thesis]. foaf: name.
- Burgis CR, Hayes GM, Henderson DA, Zhang W, Smith JA. Green stormwater infrastructure redirects deicing salt from surface water to groundwater. *Science of The Total Environment*. 2020; 729:138736.
- Chang, M., McBroom, M. W., & Beasley, R. S. (2004). Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management*, 73(4), 307–315.
- Chen, L., Zhang, Z., & Ewers, B. E. (2012). Urban tree species show the same hydraulic response to vapor pressure deficit across varying tree size and environmental conditions. *PLoS one*, 7(10), e47882.
- Climatescan.nl, <https://www.climatescan.nl/>
- Crockford, R. H., & Richardson, D. P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological processes*, 14(16-17), 2903-2920.
- De Man H, Leenen I. Water in de openbare ruimte heeft risico's voor de gezondheid. STOWA en Stichting RIONED; 2014.
- De Man H, Van Den Berg HHJL, Leenen EJTM, Schijven JF, Schets FM, Van Der Vliet JC, et al. Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. *Water Research*. 2014;48(1):90-9.
- De Man, H., & Leenen, I. (2016). Gezondheidsrisico's van fonteinen in overstortvijvers beoordelen met RainTools.
- De Urbanisten, & TAUW. (2018). Klimaatadaptatie strategie Delft—Toolbox klimaatadaptatie.
- De Vree, J. (n.d.). Bergbezinkbassins.
- Dirven-van Breemen, E. M., Hollander, A., & Claessens, J. W. (2011). Klimaatverandering in het stedelijk gebied: Groen en waterberging in relatie tot de bodem.
- Dirven-van Breemen, E., Hollander, A., & Claessens, J. W. (2011). Klimaatverandering in het stedelijk gebied: Groen en waterberging in relatie tot de bodem.
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Von Sperling, M. (2017). *Treatment wetlands*. IWA publishing.
- Eisenberg, B. and Polcher, V. (2019). *Nature-Based Solutions Technical Handbook*. UNaLab Horizon. <https://unalab.eu/system/files/2020-02/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions2020-02-17.pdf> (bezocht 25.07.2022)

- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45(10), 3245–3254.
- Febestral (2022): Waterdoorlatende verhardingen met betonstenen, <https://www.febe.be/frontend/files/userfiles/files/Andere%20Publicaties/publication-techniques/Waterdoorlatende%20bestratingen.pdf>
- Förster, J. (1999). Variability of roof runoff quality. *Water Science and Technology*, 39(5), 137–144.
- Gallo, E. L., Lohse, K. A., Brooks, P. D., McIntosh, J. C., Meixner, T., & McLain, J. E. (2012). Quantifying the effects of stream channels on storm water quality in a semi-arid urban environment. *Journal of Hydrology*, 470, 98-110.
- Geisler D and Barjenbruch M (2015) (personal communication) Literature review on key characteristics of blue-green adaptation measures, made for the Climate KIC project Blue Green Dream. TU Berlin
- GroenBlauw. (n.d.). Regenwaterbuffervijver. <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/regenwaterbuffer/>
- Groenblauwe Netwerken (2022a) [Waterdoorlatende verhardingsmaterialen | Groenblauwe netwerken \(urbangreenbluegrids.com\)](#) (bezocht 25.07.2022)
- Groenblauwe Netwerken (2022b) [Aanleggen van geveltuintjes | Groenblauwe netwerken \(urbangreenbluegrids.com\)](#) (bezocht 25.07.2022)
- Groenblauwe Netwerken (2022c) Rainwater tanks <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/rainwater/rainwater-tanks/>
- Hiemstra, J. A. (2018). Groen in de stad: Soortentabel.
- Hobbie, S. E., Baker, L. A., Buyarski, C., Nidzgorski, D., & Finlay, J. C. (2014). Decomposition of tree leaf litter on pavement: implications for urban water quality. *Urban Ecosystems*, 17(2), 369-385.
- Holleman, J., & Moons, K. (2010). Debat: Riooloverstorten zijn een ecologische ramp en moeten verdwijnen.
- Hop, M. E. C. M. (2009). Klimplanten-sierlijk en functioneel. *Dendroflora*, 46, 4-24.
- Hop, M.E.C.M. and Hiemstra, J.A. (2012), July. Contribution of green roofs and green walls to ecosystem services of urban green. In: II International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone 990:475–480.
- Inkiläinen, E. N., McHale, M. R., Blank, G. B., James, A. L., & Nikinmaa, E. (2013). The role of the residential urban forest in regulating throughfall: A case study in Raleigh, North Carolina, USA. *Landscape and urban planning*, 119, 91-103.
- Jacobs, C., Klok, L., Bruse, M., Cortesão, J., Lenzholzer, S., & Kluck, J. (2020). Are urban water bodies really cooling? *Urban Climate*, 32, 100607.
- Janke BD, Finlay JC, Hobbie SE. Trees and Streets as Drivers of Urban Stormwater Nutrient Pollution (2017). *Environmental Science & Technology*. 2017;51(17):9569-79.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC press.

- Kaimowitz, D. (2004). Forests and water: a policy perspective. *Journal of Forest Research*, 9(4), 289-291.
- Kasprzyk, M., Wojciech Szpakowski, Eliza Poznańska, Floris C. Boogaard, Katarzyna Bobkowska, Magdalena Gajewska, (2022). Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study, *Science of The Total Environment*, Volume 835, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155487>
- Kennisportaal Klimaatadaptatie (2020) 'Infiltrerende bestrating kan overal, als je de juiste keuzes maakt' - Klimaatadaptatie (klimaatadaptatienederland.nl) (bezocht 25.07.2022)
- Kennisportaal Klimaatadaptatie (2022) Hoe kunnen adaptatiemaatregelen de stedelijke waterkwaliteit beïnvloeden? - Klimaatadaptatie (klimaatadaptatienederland.nl) (bezocht 25.07.2022)
- Kennisportaal Klimaatadaptatie (2022) Wat is de invloed van klimaatverandering op de ecologische kwaliteit? - Klimaatadaptatie (klimaatadaptatienederland.nl) (bezocht 19.10.2022)
- Kermavnar, J. (2015). Sestojne padavine v izbranih urbanih gozdovih Ljubljane: magistrsko delo - (magistrski študij-2. stopnja) (Doctoral dissertation, [J. Kermavnar]).
- Klimaateffectatlas (2022) Wijktypologie - Klimaateffectatlas
- Kleerekoper, L. (2016): Urban climate design: Improving thermal comfort in Dutch neighbourhoods. Doctoral dissertation. TU Delft, DOI: <https://doi.org/10.7480/isbn.9789461866820>
- Kluck et. al (2017): Het klimaat past ook in uw straatje – De waarde van klimaatbestendig inrichten, Voorbeeldenboek. Hogeschool Amsterdam, <https://www.bouwendnederland.nl/media/5124/het-klimaat-past-ook-in-uw-straatje.pdf>
- Kluck, J., Klok, L., Solcerová, A., Kleerekoper, L., Wilschut, L., Jacobs, C., Loeve, R., Daniels, E., & Dankers, R. (2020). De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte. Hogeschool van Amsterdam.
- Kuoppamäki K, Lehvävirta S (2016). Mitigating nutrient leaching from green roofs with biochar. *Landscape and Urban Planning*. 2016;152:39
- Kwakernaak, C., Wintjes, A., & Van der Haar, M. (2000). Waterberging in beeld. Mogelijkheden voor inrichting en gebruik van waterretentie-gebieden in Gelderland. <https://edepot.wur.nl/347533>
- Lampén H, van Leuken J, Schets FM, de Man H, de Roda Husman AM (2018). Integrale benadering van klimaatadaptatiemaatregelen voor gezondheid in de stedelijke leefomgeving. RIVM
- Langeveld JG, Geelen F, Boogaard FC (2012), Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling, *Water Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.001>
- Le Pape, P., Ayrault, S., & Quantin, C. (2012). Trace element behavior and partition versus urbanization gradient in an urban river (Orge River, France). *Journal of Hydrology*, 472, 99-110.
- Livesley, S. J., Baudinette, B., & Glover, D. (2014). Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees—The impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(1), 192-197.
- Löhmus M, Balbus J. Making green infrastructure healthier infrastructure (2015). *Infection Ecology & Epidemiology*. 2015;5(1):30082.

- Löhmus, M., & Balbus, J. (2015). Making green infrastructure healthier infrastructure. *Infection Ecology & Epidemiology*, 5(1), 30082.
- Lu, W., Qin, X., & Yu, J. (2019). On comparison of two-level and global optimization schemes for layout design of storage ponds. *Journal of Hydrology*, 570, 544–554.
- Mees, J. (2018). Tiny Forests helpen 's-Hertogenbosch klimaatbestendig te worden. <https://klimaatadaptatienederland.nl/?ActLbl=tiny-forests-helpen&ActItmIdt=202004>
- Milieu Centraal: Klimaatadaptatie, <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/klimaatadaptatie/#Wat-kun-je-zelf-doen>
- Mitchell ME, Matter SF, Durtsche RD, Buffam I. Elevated phosphorus: dynamics during four years of green roof development. *Urban Ecosystems*. 2017;20(5):1121-33.
- Mitchell, K. (2003). A study of roof runoff quality in Auckland New Zealand, Implications for Stormwater Management. Prepared for Auckland Regional Council.
- Muerdter CP, Wong CK, Lefevre GH (2018). Emerging investigator series: The role of vegetation in bioretention for stormwater treatment in the built environment: Pollutant removal, hydrologic function, and ancillary benefits. *Environmental Science: Water Research and Technology*. 2018;4(5):592-612.
- Newham M, Fellows C, Sheldon F (2011). Functions of riparian forest in urban catchments: a case study from sub-tropical Brisbane, Australia. *Urban Ecosyst* 14:165–180
- NKWK (2021). Stedelijke Waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie, NKWK Klimaatbestendige Stad, Achtergrondrapport
- NWRM (2013). Individual NWRM – bioswales, Natural Water Retention Measures, European Commission, [u4_-_swales.pdf \(nwrmeu\)](https://www.nwrmeu.org/2013/04/04/u4_-_swales.pdf)
- Ottburg, F., Lammertsma, D., Bloem, J., Dimmers, W., Jansman, H., & Wegman, R. (2017). Tiny Forest Zaanstad: citizen science en het bepalen van biodiversiteit in Tiny Forest Zaanstad (No. 2870). Wageningen Environmental Research.
- Peeters, E., Wilhelm, M., Gerritsen, A., Rienks, F., Seelen, L., & Venema, J. (2022). Diepte tuinvijvers belangrijk voor diversiteit aan waterdieren.
- Pohl, I., Schenk, S., Rodenburg, A., Vergroesen, T., & Buijs, S. (2016). MKBA Klimaatadaptatiestrategie Casus: Bergpolder Zuid.
- Pötz, H., & Mouwen, W. (2021). Aan de slag met klimaatadaptatie.
- Pradhan, S., Al-Ghamdi, S. G., & Mackey, H. R. (2019). Greywater recycling in buildings using living walls and green roofs: A review of the applicability and challenges. *Science of The Total Environment*, 652, 330–344.
- Rainproof. (n.d.-a). Geveltuintje. <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/geveltuintje>
- Rainproof. (n.d.-b). Holle weg. <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/holle-weg>
- Rainproof. (n.d.-c). Koele verhardingsmaterialen. <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/koele-verhardingsmaterialen>
- Rainproof. (n.d.-d). Regenwatergebruik in utiliteitsgebouwen. <https://www.rainproof.nl/node/175>

- Rainproof. (n.d.-e). Seizoensberging. <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/seizoensberging>
- Rainproof. (n.d.-f). Stedelijke waterlopen. <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/stedelijke-waterlopen>
- Rainproof. (n.d.-g). Waterdaken. <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/waterdaken>
- Restemeyer, B.; Boogaard, F.C. (2021). Potentials and Pitfalls of Mapping Nature-Based Solutions with the Online Citizen Science Platform ClimateScan. *Land* 2021, 10, 5. <https://dx.doi.org/10.3390/land10010005>
- Rijkswaterstaat. (2012). Maatregelenmatrix. Een overzicht met 155 klimaatmaatregelen: Fysieke maatregelen die genomen kunnen worden ter voorkoming van overlast door water, droogte en hitte en maatregelen die schade bij een eventuele overstroming kunnen beperken. https://ruimtelijkeadaptatie.nl/publish/pages/115023/maatregelenmatrix_factsheets.pdf
- RIONED (2006). Wadi, Aanleg en beheer; <https://www.riool.net/wadi-1>
- RIONED (2008). Helofytenfilter, <https://www.riool.net/helofytenfilter>
- RIONED & STOWA (2009). Regenwater in de tuin? Mooi wel; <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202000-2010/Publicaties%202005-2009/STOWA%202009-02%20RIONED.pdf>
- RIONED (2020). Fonteinen in oppervlaktewater. <https://www.riool.net/fonteinen-in-oppervlaktewater>
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2100–2110. doi:10.1016/j.envpol.2010.10.029
- Schets, F. M., de Man, H., & others. (2017). De 'waterkwaliteitscheck' voor nieuwe en bestaande stedelijk waterconcepten: Het belang van aandacht voor de microbiologische kwaliteit van water in de stad.
- Schooling, J. T., & Carlyle-Moses, D. E. (2015). The influence of rainfall depth class and deciduous tree traits on stemflow production in an urban park. *Urban ecosystems*, 18(4), 1261-1284.
- Seitz J, Escobedo F (2008). Urban forests in Florida: trees control stormwater runoff and improve water quality. *For* 239:1–4
- Siegert CM, Levia DF, Hudson SA et al (2016). Small-scale topographic variability influences tree species distribution and canopy throughfall partitioning in a temperate deciduous forest. *For Ecol Manag* 359:109–117
- Sollie, S., Brouwer, E., & De Kwaadsteniet, P. (2011). Handreiking natuurvriendelijke oevers: Een standplaatsbenadering. Stowa Rapport 2011-19, Isbn 978.90. 5773.521. 9.
- Spoelstra, J., & Truijten, G. (2010). Handboek Groene waterzuivering (p. 134).
- Šraj, M., Lah, A., & Brilly, M. (2008). Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju. *Gozdarski vestnik*, 9(66), 406-416.
- STOWA (2010). Knelpuntenbeoordelingsmethode waterkwaliteitsspoor overstorten. STOWA 2010-17. [STOWA 2010-17.pdf](https://www.stowa.nl/sites/default/files/STOWA%202010-17.pdf)

- STOWA (2015). Groene daken nader beschouwd - Over de effecten van begroeide daken in breed perspectief met de nadruk op de stedelijke waterhuishouding, <https://www.stowa.nl/publicaties/groene-daken-nader-beschouwd>
- STOWA (2019). Afkoppelen: Kansen en Risico's van Anders Omgaan met Hemelwater in de Stad. Amersfoort: STOWA; \
- STOWA. (2019). Ondergrondse waterberging. https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Ondergrondse%20waterberging_28-02-2019.pdf
- Stuart, G. W., & Edwards, P. J. (2006). Concepts about forests and water. *Northern Journal of Applied Forestry*, 23(1), 11-19.
- Tanis, H. R., & Van der Kamp, M. (2019). Evaluatie Effectiviteit Natuurvriendelijke Oevers.
- TAUW, 2021. Klimaatverandering en waterkwaliteit in stedelijk gebied. Projectnummer 1276691
- Todorov D, Driscoll CT, Todorova S, Montesdeoca M. (2018). Water quality function of an extensive vegetated roof. *Science of The Total Environment*. 2018;625:928-39.
- Van Herreweghe, J., & Dinne, K. (2020). Rapport over de kwaliteit van het effluentwater van groene wanden (Living Wall Systemen) met aanbevelingen voor het eventuele hergebruik.
- Van de Ven, F.; Snep, R.; Koole, S.; Brolsma, R.; van der Brugge, R.; Spijker, J.; Vergroesen, T. (2016). Adaptation Planning Support Toolbox: Measurable performance information based tools for co-creation of resilient, ecosystem-based urban plans with urban designers, decision-makers and stakeholders, *Environmental Science & Policy*, Volume 6, Pages 427-436, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.010>.
- Van der Kamp., M., T. Cals, M. Ouboter en S. Schep, 2021. Waterkwaliteitsstresstest: gevolgen van klimaatverandering op sleutelfactoren gekwantificeerd. H2O-Online / 10 februari 2021. https://www.h2owaternetwerk.nl/images/2021/februari/H2Oonline_210210_Waterkwaliteitsstresstest.pdf
- Venik, G. & Boogaard, F.C. (2020). XRF quick-scan mapping for heavy metal pollutants in SuDS: a methodological approach, *SCi, Sci2*(1), 5; <https://www.mdpi.com/2413-4155/2/2/21>, March 2020
- Verdonschot, P. F., & Verdonschot, R. C. (2020). Fosforbelasting: Factsheet KIWK. Wageningen Environmental Research, Zoetwaterecosystemen.
- Vilhar, U. (2017). Water regulation and purification. In *The Urban Forest* (pp. 41-47). Springer, Cham.
- Vollaers, V.; Nieuwenhuis, E.; van de Ven, F.; Langevelg, J. (2021). Root causes of failures in sustainable urban drainage systems (SUDS): an exploratory study in 11 municipalities in The Netherlands, *Blue-Green Systems* (2021) 3 (1): 31–48. <https://doi.org/10.2166/bgs.2021.002>
- Vossen, J. van, & Verhagen, D. (2009). Handreiking natuurvriendelijke oevers. Utrecht: STOWA, Stichting.
- Water Europe (2022). Opportunities for hybrid grey & green infrastructure in water management, challenges and ways forward; HGGI-Publication_online.pdf (watereurope.eu)
- Waterschap Scheldestromen. (n.d.). Natuurvriendelijke oevers. <https://scheldestromen.nl/natuurvriendelijke-oevers>

Wilschut, L., Kluck, J., Jacobs, C., Vrouwe, A., & Heideveld, M. (2018). Verlaagt het verdiepen van vijvers de watertemperatuur? H2O: Tijdschrift Voor Watervoorziening En Afvalwaterbehandeling, 51(9), 36–37.

Witteveen, S. (2021). Watersysteem Groene Long Laarbeek.

Bijlage 1 Effecten klimaatverandering

Zie Excel tabblad "Bijlage 1-Klimaatverandering"

Bijlage 2 Grenswaarden kwetsbaarheid

Zie Excel tabblad "Bijlage 2-Grenswaarden"

Bijlage 3 Waterkwaliteitsmaatregelen

Zie Excel tabblad "Bijlage 3-Waterkwaliteitsmaat"

Bijlage 4 Klimaatadaptatiemaatregelen

A. Dakbedekking vervangen door groen

De term groen dak beschrijft in het algemeen beplante daken op een gebouw die ook beloopbaar kunnen zijn. Ze kunnen hittestress voorkomen via verkoeling door groen en wateroverlast verminderen door het bergen van water in een buffersysteem onder de vegetatielaag (groen-blauw dak). Op deze manier kan het water vertraagd worden afgevoerd. Verder kunnen groene daken bijdragen aan de biodiversiteit wanneer ze worden beplant met diverse inheemse planten (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022). Groene daken zijn er in verschillende vormen.

Tabel 1 Samenvatting waterkwaliteitseffecten van het vervangen van dakbedekking door groen.

Maatregelcluster	Positief	Negatief
Dakbedekking vervangen door groen	Zuivering regenwater Minder rioolwateroverstortingen Afname luchttemperatuur	Toevoeging nutriënten (m.n. bij intensief groen dak)

Overzicht soorten groene daken

Extensief groen dak

Een extensief groen dak (ook wel tuindak of vegetatiedak genoemd) bestaat voornamelijk uit mossen en sedum en wordt toegepast op kleinere oppervlakten (Figuur 1). Het groene dak wordt opgebouwd uit verschillende lagen: wortelvaste bescherming om het dak te beschermen, een drainagelaag met een waterreservoir, een filterlaag, een substraatlaag en een vegetatielaag. De planttypologie bepaalt de dikte en samenstelling van de gelaagde structuur. Extensieve daken zijn niet toegankelijk voor het publiek, en hebben droogteresistente planten die normaal niet worden bewaterd (Eisenberg & Polcher, 2019).



Figuur 1 Voorbeeld van een extensief groen dak (bron: Nanda Sluijsmans).

Intensief groen dak

Op een intensief groen dak groeien naast mossen en sedum ook planten zoals gras, kruiden, struiken en bomen. Een intensief groen dak heeft een dikkere substraatlaag die een grotere variëteit aan vegetatie ondersteunt. Naast het vasthouden van water en het zorgen voor verkoeling kunnen ze ook voorzieningen bieden aan de bewoners van de gebouwen. Deze daken kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden als recreatieplekken of voor een moestuin (Figuur 2). De installatie en onderhoud van een intensief groen dak is duurder dan een extensief groen dak (Eisenberg & Polcher, 2019), maar de reinigingscapaciteit is groter. Bijkomend voordeel van de grotere beplanting zoals bomen op dit dak is het wegvangen van gasvormige luchtvervuiling en het filtreren van verontreinigingen door de wortels (Vilhar, 2017; Rowe, 2011; Kaimowitz, 2004)).



Figuur 2 Voorbeeld van een intensief groen dak (bron: Nanda Sluijsmans).

Groen-blauw dak

Een groen-blauw dak is in feite een groen dak met waterberging. Het regenwater wordt tijdelijk op het dak gebufferd en komt deels ten goede aan de beplanting. Het overige deel wordt (tijdelijk) op het dak geborgen (Figuur 3). Het water wordt dus vastgehouden of vertraagd afgevoerd. De opslagcapaciteit van een groen-blauw dak is afhankelijk van de constructie van het gebouw.



Figuur 3 Foto van het drainagesysteem onder de vegetatielaag (bron: Merlijn Michon Fotografie).

Retentiedaken

Het primaire doel van retentiedaken is het bergen en bufferen van het regenwater. Ook kan het worden aangebracht onder een groen dak. Het systeem zorgt voor afvoertraging. Dit kan op verschillende manieren, zoals het gebruik van een waterreservoir, watervasthoudend steenwol om water langer vast te houden, of om het water vertraagd af te voeren door gebruik te maken van een versmalling in afvoer of meanderende drainagelaag (NDA, 2022).

Polderdak

Bij een polderdak (ook wel slim groen dak) wordt gewerkt met retentiekraften die onder de vegetatielaag worden aangebracht om regenwater op te slaan en waaruit het water dynamisch wordt afgevoerd (Dakdokters, 2022). Een besturingssysteem meet en regelt het waterniveau en de afvloeit. Ook kan het systeem worden gekoppeld aan de weersverwachting en zo water meer laten afvloeien als er in de toekomst een bui wordt verwacht om dan meer water op te kunnen vangen.

Relatie met waterkwaliteit

Groene daken hebben een positief effect op de waterkwaliteit doordat de gelaagde structuur van groene daken waterfiltratie faciliteert. Regenwater wordt op deze manier gezuiverd (Hop en Hiemstra 2012). Ook zorgt een groen dak voor een vertraagde afvoer van het hemelwater waardoor er minder riooloverstorten optreden (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022). Er zijn echter wel verschillende factoren die de kwaliteit van het afstromende water van groene daken beïnvloeden. Een groen dak, met name een intensief groen dak, kan zorgen voor verontreinigingen van fosfor in het afstromende water (Todorov et al., 2018; Mitchell et al., 2017; Kuoppamäki & Lehvavirta, 2016). Dit komt of door bemesting, vooral als het voor agrarische doeleinden wordt gebruikt, maar vaker door het gebruik van nutriëntenrijk substraat. De uitstroom van fosfor naar het water kan ook hoger zijn na de aanleg van een nieuw groen dak in vergelijking met een groen dak dat al paar jaar oud is. Dit komt doordat het filterend vermogen van de planten en bodem veranderd over de tijd. De uitstroom van nutriënten hangt ook af van de concentratie van kunstmest in de substraatlaag (Rowe, 2011).

Gemiddelde waarden van de verontreiniging zijn niet te geven door de grote verschillen die afhankelijk zijn van de samenstelling van het groen dak. Afhankelijk van het soort beplanting kunnen ook andere nutriënten verontreinigingen veroorzaken, zoals stikstof (Kuoppamäki & Lehvavirta, 2016). De mate van verontreiniging van het afvoerende water hangt samen met de waterbergende capaciteit van het groene dak. Als er een kleine hoeveelheid water wordt afgevoerd met een verhoogde verontreiniging is de invloed op de omgeving beperkt (Klimaatadaptatie portaal, 2022; Kuoppamäki & Lehvavirta, 2016).

B. Verhard oppervlak vervangen of verwijderen

Het vervangen of verwijderen van verhard oppervlak beschrijft de transformatie van betegelde ondergrond naar groen of het installeren van infiltrerende of waterbergende bestrating/ondergrond. Meestal worden deze klimaatadaptatiemaatregelen in het schaalniveau van een perceel of straat geïmplementeerd en dragen ze bij aan het beperken van wateroverlast, hitte en droogte.

Tabel 2 Samenvatting waterkwaliteitseffecten van vervangen of verwijderen verhard oppervlak.

Maatregelcluster verhard oppervlak vervangen of verwijderen	Positief	Negatief
B1 Vervangen door groen	Zuivering regenwater bij infiltratie Minder rioolwateroverstortingen Afname luchttemperatuur	Mogelijk bron van nutriënten
B2 Doorlatende verhardingen	Minder rioolwateroverstortingen Afname luchttemperatuur	-
B3 Infiltratievoorzieningen	Minder rioolwateroverstortingen Afname luchttemperatuur	Mogelijk aanwezigheid ziekteverwekkers (m.n. wadi's)

B1. Verhard oppervlak vervangen door groen

Tegels eruit, groen erin

Door het verwijderen van tegels en het planten van groen kan het regenwater in de bodem infiltreren en zo het grondwater aanvullen (Figuur 4). Verharde oppervlakken worden in de zomer heter dan groene oppervlakken, daarom zorgt het vervangen van tegels door beplanting voor verkoeling. Daarnaast biedt het meer ruimte aan flora, fauna en bodemleven voor meer biodiversiteit.



Figuur 4 Resultaat van het vervangen van tegels voor beplanting (bron: Nanda Sluijsmans).

Geveltuintje

Een geveltuin (ook wel tegeltuin of stoeptuin genoemd) is een kleine tuin aan de straatkant tegen de gevel van een pand (Figuur 5). Het wordt aangelegd door het verwijderen van tegels van de stoep, of door het gebruik van bloempotten. Een geveltuin in de grond heeft een groter effect dan het gebruik van bloempotten, omdat het water in potten niet kan infiltreren in de bodem. Een geveltuintje heeft een positief effect op de biodiversiteit en biedt verkoeling in de zomer. Als er vruchtbare soorten worden geplant, bieden geveltuintjes ook voedsel (Groenblauwe Netwerken, 2022b).



Figuur 5 Geveltuintjes in een straat (Bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Vergroening van straten en tuinen heeft een positief effect op de waterkwaliteit. Door deze maatregelen kan er tijdens een (hevige) regenbui meer water in de bodem worden opgenomen. Hierdoor stroomt er minder regenwater naar het riool zullen er minder riooloverstorten in werking treden (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022). Daardoor komen er minder verontreinigingen in het oppervlaktewater terecht en zullen negatieve gevolgen van deze verontreinigingen (zoals algenbloei, vissterfte, of bodemvervuiling) minder vaak voorkomen (Hollemann & Moons, 2010). Verder zorgt het groen voor verkoeling in de stad door het verlagen van de luchttemperatuur. Uiteindelijk kan dit de watertemperatuur verlagen en hittestress voorkomen.

Een negatief effect van vergroening ontstaat wanneer afgevallen bladeren in het water belanden. Daar zijn ze een bron van nutriënten, vooral fosfor, dat naar de omgeving kan worden afgespoeld. Hoeveel blad er in het water beland is afhankelijk van de locatie van de vergroening, dit vindt voornamelijk plaatst op plekken direct naast het oppervlaktewater. Regelmatig opvegen van afgevallen bladeren kan het probleem al verhelpen (Bratt et al., 2017, Janke et al., 2017). Een ander negatief effect van vergroening kan de extra druk op de watervraag zijn, omdat het groen in droge periodes bewaterd moet worden (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022, NKWK, 2021).

B2. Doorlatende verharding

Infiltrerende bestrating bestaat uit poreus materiaal waardoor regenwater in de ondergrond kan wegzakken. Daarbij kan water zowel in de toplaag (bijvoorbeeld poreus asfalt) als in de fundering worden opgeslagen. Deze maatregelen wordt ingezet om wateroverlast door extreme neerslag tegen te gaan en water vertraagd af te voeren naar het riool, oppervlaktewater of de bodem. Verder kan het water voor droge periodes worden bewaard (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2020). Naast het vertragen van de waterafvoer, kan waterdoorlatende bestrating vervuilende stoffen opvangen en filteren.

Waterdoorlatende/-passerende bestrating

Waterdoorlatende en waterpasserende bestrating zijn de meest gebruikte typen van infiltrerende bestrating (Figuur 6). Het verschil tussen deze twee bestratingen is de manier van infiltratie. Waterdoorlatende bestrating is een poreuze laag van stenen die fungeert als een spons waar het water doorheen zakt naar de wegfundering. Bij waterpasserende bestrating infiltreert het water door de voegen. Waterdoorlatende bestrating heeft een veel grotere capaciteit dan waterpasserende bestrating, maar bestaat vaak uit minder sterke stenen waardoor het minder zwaar te belasten is. Voor de installatie van een infiltrerende bestrating moet er kennis zijn over de ondergrond, grondwaterstand en verkeersintensiteit, omdat deze factoren van invloed zijn op de keuze van het bestratingmateriaal.



Figuur 6 Waterdoorlatende verharding (bron: Nanda Sluisjans).

Grasbetonstenen

Een ander type infiltrerende bestrating is grasbetonsteen. Dit zijn open tegels waar gras tussen kan groeien (Figuur 7). Zo kan regenwater in de grond wegzakken en kan worden bijgedragen aan de vergroening van de stad (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2020). Grasbetonstenen worden regelmatig gebruikt bij parkeervakken en voor bermverharding.



Figuur 7 Voorbeeld van grasbetonstenen op een parkeerplek (bron: Nanda Sluijsmans).

Waterbergende wegfundering

Waterbergende wegen laten het regenwater afstromen in de fundering of wateropvang onder de weg (Figuur 8). Dit gaat via kolken of putjes langs de weg waar het water wordt afgevoerd naar holle ruimtes (bijvoorbeeld grof grind) in een speciale wegfundering. Dit systeem kan bij alle soorten bestrating worden toegepast (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2020).



Figuur 8 Waterbergende wegfundering (bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Een positief effect van infiltrerende bestrating op de waterkwaliteit is het voorkomen van wateroverlast tijdens extreme neerslag waardoor er minder riooloverstorten in werking treden. Desalniettemin kunnen er vervuilingsrisico's ontstaan. Zo kan het afstromende regenwater vervuild zijn (Groenblauwe Netwerken, 2022a), of raakt het regenwater vervuild doordat verontreinigingen van het wegdek (zoals oliën, nutriënten, en strooizout) in het water komen omdat het verblijf langer is. Deze verontreinigen worden via infiltratie, hemelwaterafvoer of overstorten van gemengde riolering in het watersysteem afgevoerd. Hoe dan ook kan deze tijdelijke waterberging een voordeliger alternatief zijn dan een vergroot riool omdat zich in een groot riool makkelijker vuil ophoopt door de lagere stroomsnelheden. Deze vervuiling is groter dan bij waterberging op straat (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2020).

Een andere vervuiling kan ontstaan door verkeerde aanleg van de ondergrond van infiltrerende bestrating. Wanneer het grindmengsel dat onder waterpasserende bestrating wordt gelegd te zwaar wordt belast, is er een kans dat kalkhoudend materiaal in de bodem en grondwater infiltreert. Voor infiltrerende bestrating geldt dat het goed is om milieuvriendelijk materiaal te gebruiken voor de bufferlaag zodat hier geen schadelijke stoffen in het water terechtkomen (Kennisportaal klimaatadaptatie, 2022, NKWK, 2021).

B3. Infiltratievoorzieningen

Een infiltratievoorziening is een meestal verlaagde groenvoorziening waar het regenwater de tijd krijgt om te infiltreren in de bodem en ook vastgehouden kan worden. Door de infiltratie kan de waterkwaliteit verbeteren. Deze voorzieningen worden ingezet tegen wateroverlast en kunnen helpen om de negatieve effecten van droogte te beperken. Deze voorzieningen worden meestal toegepast op het schaalniveau van een straat.

Wadi's

Een wadi is een groene greppel in het stedelijke gebied (Figuur 9), vaak nabij of tussen wegen. Een wadi zorgt primair voor een filtratie en geeft daarnaast een positieve bijdrage aan berging, infiltratie en afvoer van regenwater en helpt zo de wateroverlast te voorkomen en negatieve gevolgen van droogte te beperken. Het is een verlaagde en beplante put met een doorlatende met humus verrijkte bodem en eronder een in geotextiel ingepakte grindkoffer met een infiltratie- en drainagebuis. Bij een flinke bui loopt de wadi vol. Het overtollige water kan worden afgevoerd naar het oppervlaktewater via kolken of slokops die vaak aan de zijkant zijn geïnstalleerd (Boogaard, 2020; Eisenberg & Polcher, 2019). Het meeste water infiltreert door de bodem naar het grondwater. In de bodemlaag met vegetatie wordt het water gefilterd en wordt de meeste vervuiling vastgelegd (Eisenberg & Polcher, 2019). Wadi's die vooral voor de filtrerende werking zijn aangelegd en minder voor infiltratie worden vaak 'bodempassages' genoemd.

Wadi's zijn beplant met inheemse grassen, kruiden, kleine struiken en een enkele boom en zijn beloopbaar, maar niet zwaar belastbaar. Door de beplanting leveren ze een bijdrage aan de biodiversiteit en zorgen ze voor verkoeling van de omgeving. Wadi's kunnen goed in gebieden met

voldoende infiltratiecapaciteit worden ingezet (NKWK, 2021). Zonder neerslag is deze ruimte droog en kan het andere functies hebben (e.g., een speelplek voor kinderen).



Figuur 9 Voorbeeld van een wadi (bron: Nanda Sluijsmans).

Infiltratieveld of strook

Infiltratievelden zijn net als wadi's infiltratievoorzieningen die met grind en zand zijn gevuld. Maar infiltratievelden zijn niet altijd beplant en beloopbaar (Figuur 10). Een infiltratieveld wordt aangebracht naast een verhard oppervlak, zoals fietspaden. Hierdoor kan het afvloeiende hemelwater dat minimaal verontreinigd is tijdelijk worden opgeslagen en infiltreren in de bodem. Naast de hoeveelheid neerslag die gebufferd kan worden is de doorlaatbaarheid van de bodem voor de dimensionering van belang.



Figuur 10 Stedelijk infiltratiestrook (bron: Nanda Sluijsmans).

Raingardens

Raingardens (ook regentuin of regenwatertuin) zijn een soort klein infiltratievak in stedelijke gebieden die vooral een waterbeherende (berging en infiltratie) functie voor hemelwater bieden (Figuur 11). Het afstromende water van daken, wegen en oppervlakken wordt opgeslagen en infiltreert in de grond of in het riool. Raingardens kunnen bestaan uit verschillende elementen zoals zandgrond, granulaat, grasfilterstroken, watervijvers, en planten. Elk element heeft een bepaalde functie, bijvoorbeeld het vertragen, verminderen, filteren en opslaan van hemelwater. Daardoor kunnen hitte, wateroverlast en droogte verminderd worden. Verder hebben regentuinen ook een esthetische functie en kunnen ze de belevingswaarde en biodiversiteit vergroten afhankelijk van de beplanting (Eisenberg & Polcher, 2019). Een bepaalde hoeveelheid water kan ook door planten opgenomen worden. Raingardens zijn net als wadi's faciliteiten voor bioretentie, maar worden overal net weer met andere materialen toegepast, die vaak uit het buitenland komen. Raingardens zijn meestal kleiner dan wadi's, ze hebben een dikke laag granulaat en steile wanden. Verder hebben ze vaak een groter spectrum aan verschillende planten dan een normale wadi (Boogaard, 2022).



Figuur 11 Regentuin (bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Infiltratievoorzieningen kunnen verontreinigen uit het hemelwater filteren en daardoor de waterkwaliteit verbeteren en het grondwater aanvullen (Eisenberg & Polcher, 2019; NWRM, 2013). Voorbeelden van verontreinigde stoffen zijn strooizout, oliën of slijpsels. Onderzoek heeft aangetoond dat de concentraties chloride dat door strooizout het grondwater bereikt lager is door groene infiltratiemaatregelen langs wegen (NKWK, 2021). De concentraties van koper, lood of zink en PAK's andere zware metalen kunnen ook verhoogd zijn in de bodems van wadi's. Deze stoffen komen van het regenwater en van drukke wegen, parkeerplaatsen of dakgoten (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022; Venvik & Boogaard, 2020). De juiste keuze van vegetatie is een essentieel

onderdeel van het hydraulische functioneren en kan eventueel contact van verontreinigde stoffen in het instroomgebied verminderen (Boogaard, 2020). Zo kan de beplanting van een wadi ook aanvullend een grote hoeveelheid van de aanwezige stikstof verwijderen door bioretentie (Muerdter et al., 2018). De beplanting heeft weinig water nodig en hoeft niet vaak te worden bemest, omdat ze al voldoende nutriënten uit het afstromende regenwater opnemen (meer dan traditionele grasvelden).

Naast het verwijderen van verontreinigen uit het hemelwater, kunnen wadi's ziekteverwekkers bevatten en daarmee een risico vormen voor mens en dier. Vanwege de waterbergende functie kunnen bijvoorbeeld kinderen gaan zwemmen in een volgelopen wadi of mensen gebruiken het gras als recreatieplek (Lampén et al., 2018; de Man et al., 2014; de Man & Leenen, 2014). De ziekteverwekkers komen van fecale verontreiniging doordat er bijvoorbeeld honden worden uitgelaten. Dit risico kan worden verlaagd door erop toe te zien dat honden hier niet worden uitgelaten. Een andere bron van ziekteverwekkers zijn foutieve aansluitingen op de hemelwaterafvoer, waardoor in sommige gevallen fecale verontreinigen in het wadi stromen (NKWK, 2021). De vegetatie van de infiltratievoorziening kan ook een habitat vormen voor dieren zoals vogels en ratten die mogelijk een bron zijn van ziekteverwekkers zoals *Campylobacter* of *Leptospirose* (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022; NKWK, 2021; Löhmus & Balbus, 2015).

C. Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan gebruiken of infiltreren

Het 'technische' vasthouden of afkoppelen van water en vervolgens infiltreren beschrijft maatregelen die het water tijdelijk omleiden of bergen en het daarna in het bodem laten infiltreren. Dit kan in een schaalniveau van een perceel, zoals een regenton in de tuin, straat of buurt zijn, zoals een raingarden. Door deze adaptaties kan wateroverlast worden beperkt en hittestress of droogte worden voorkomen (Tabel 3).

Tabel 3 Samenvatting waterkwaliteitseffecten van water 'technisch' vasthouden/afkoppelen en dan infiltreren.

Maatregelcluster	Positief	Negatief
Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan infiltreren	Zuivering regenwater bij infiltratie Minder rioolwateroverstortingen Afname luchttemperatuur Minder afspoeling van verhard oppervlak	Minder openheid verhard oppervlak (diepe grondwaterinfiltratie)

Regenton

De regenton is een eenvoudige voorziening aan de buitenkant van een woning waar het water uit de regenpijp wordt afgevangen en wordt vastgehouden totdat het gebruikt wordt door de eigenaar voor het irrigeren van planten (Figuur 12). Het is makkelijk te installeren en ze vangen gemiddeld 224 liter water op. Wanneer de ton vol is, is er een overstort nodig. Er zijn ook slimme regentonnen die aan de weersverwachting zijn gekoppeld en geleegd worden als er veel neerslag wordt verwacht. Regentonnen kunnen ook worden voorzien van een pomp of automatisch bijvulstelsel, maar blijven toch beperkt in de retentiecapaciteit. Vorst vormt een risico voor de regenton; met name als ze gemaakt zijn van hout kunnen ze ernstig beschadigen. De kunststof modellen zijn minder gevoelig voor bevriezing (Groenblauwe Netwerken, 2022c).



Figuur 12 Regenton (bron: Nanda Sluijsmans).

Regenwaterschutting

Een regenwaterschutting is een platte variant van de regenton en dient tevens als schutting (Figuur 13). De schuttingen kunnen worden aangepast voor de gewenste lengte en hoogte en kunnen worden voorzien met een kraantje om het opgevangen water te gebruiken voor het bewateren van de tuin. Er zijn ook regenwaterschuttingen in combinatie met getrapte plantenbakken waar het regenwater direct voor irrigatie wordt gebruikt. Door het opslaan van hemelwater kunnen regenwaterschuttingen wateroverlast voorkomen en door het hergebruik van regenwater het drinkwaterverbruik in droogte periodes beperken. Er bestaat een risico op bacteriegroei als ze veelal in de zon staan (Amsterdam Rainproof, 2022a).



Figuur 13 Regenwaterschutting in de tuin (bron: Rainwinner)

Afgekoppelde regenpijp

Een afgekoppelde regenpijp (Figuur 14) kan regenwater lokaal verspreiden en is een goedkope maar effectieve maatregel. Het is belangrijk dat de regenpijp naar een infiltreerbaar oppervlak wordt geleid zodat het water in de bodem kan zakken en er geen vochtproblemen bij het gebouw ontstaan. Het afkoppelen van de regenpijp kan ook gecombineerd worden met maatregelen zoals een regenton, regenwatervijver, wadi, raingarden, greppel, infiltratiekratten, drainage-infiltratie-transport-riool, zakputten of een open goot. De bepalende factoren voor welke maatregel het geschiktst is, zijn de infiltratiecapaciteit van de ondergrond en de grondwaterstand. Door het afkoppelen van het riool wordt het rioolstelsel ontlast en het grondwater wordt aangevuld. (Amsterdam Rainproof, 2022b)



Figuur 14 Afgekoppelde regenpijp (bron: Nanda Sluijsmans).

Verlaagd terras

Een verlaagd terras van een tuin creëert ruimte voor het opslaan van regenwater, zonder dat dit ten koste gaat van de functie van de tuin. Het water kan na een regenbui langzaam worden afgevoerd en wateroverlast voorkomen (Figuur 15).



Figuur 15 Voorbeeld van een verlaagd terras (bron: VLUGP)

Verlaagde tuin/regenwatervijver

Door een gedeelte van de tuin te verlagen kan regenwaterberging worden gecreëerd en wateroverlast worden voorkomen (Figuur 16). Voorbeelden hiervan zijn infiltratievijvers die het regenwater opvangen en laten infiltreren in de bodem. Naast het bergen van regenwater, zorgt deze maatregel ook voor het reduceren van hittestress en kan het de invloed van droogte beperken.



Figuur 16 Voorbeeld van een infiltratievijver als verlaagde deel van een tuin (bron: Nanda Sluijsmans).

Greppel aanleggen

Een greppel is een kleine beplante sloot die dient om regenwater tijdelijk vast te houden, te transporteren en te laten infiltreren, maar ook droogte te beperken. Afhankelijk van de bodem wordt het water geïnfiltreerd of naar een sloot of vijver afgevoerd. Een greppel bevat niet altijd water. Ze kunnen goed in groenstroken of in bermen geïntegreerd worden (Figuur 17). Ze vragen wel extra ruimte en onderhoud en zijn vaak op het schaalniveau van een straat.



Figuur 17 Greppel geïntegreerd in een groenstrook naast een straat (bron: Merlijn Michon).

Grindkoffer

Een grindkoffer is een ondergrondse faciliteit gevuld met grind of geëxpandeerde kleikorrels (Argex) om regenwater in de bodem te infiltreren (Figuur 18). Neerslag wordt bovengronds of ondergronds in de koffer of schacht gebracht. Grindkoffers worden toegepast naast verharde oppervlakken of naast onverharde oppervlakken waar geen ruimte is voor een infiltratiegreppel of waar de doorlatendheid van de bodem te gering is. Meestal zijn grindkoffers te vinden op een schaalniveau van een straat en ze zijn geschikt voor het beperken van wateroverlast en droogte.



Figuur 18 Voorbeeld van een grindkoffer (bron: Blauw Groen Vlaanderen).

Drainage-Infiltratie-Transport (DIT) riolen

Drainage-Infiltratie-Transport (DIT) riolen zijn een met geotextiel omwikkelde geperforeerde horizontale buis die de bodem draineert, het water infiltreert en daarnaast afvoert naar het oppervlaktewater (Figuur 19). Dergelijke voorzieningen worden toegepast naast verharde oppervlakken of naast onverharde oppervlakken waar geen ruimte is voor een infiltratiegreppel of waar de doorlatendheid van de bodem te gering is. DIT's zijn op het niveau van een straat en kunnen wateroverlast en riooloverstorten voorkomen, maar ook droogte beperken.



Figuur 19 Voorbeeld van een Drainage-Infiltratie-Transport (DIT) riool in de grond (bron: DigiDaan)

Diepe grondwaterinfiltratie

Diepe grondwaterinfiltratie is gericht op infiltratie van water in diepe aquifers. Regenwater wordt verzameld van gebouwen en wegen en geïnfiltreerd in diepe grondwaterputten (Figuur 20). In veel gebieden worden diepe aquifers gebruikt voor het winnen van drinkwater. Grondwater infiltratie kan dan noodzakelijk zijn voor het aanvullen van deze aquifers. Als er geen water wordt geïnfiltreerd in deze aquifers zullen ze leeg raken. Diepe grondwaterinfiltratie is op het schaalniveau van een buurt.



Figuur 20 Diepe grondwaterinfiltratie (bron: Firma Kreeft).

Relatie met waterkwaliteit

Door het afkoppelen van het hemelwater met het rioolstelsel en technisch vasthouden van regenwater naar de omgeving komt er minder water in het rioolstelsel en daarmee kunnen riooloverstorten worden voorkomen. De waterkwaliteit wordt hiermee positief beïnvloed, omdat het oppervlaktewater minder snel vervuild raakt met ongezuiverd rioolwater. Door het infiltreren via planten of een geschikte substraatlaag kan het water ook al gezuiverd worden (Kasprzyk et al., 2022). Het direct afvoeren van regenwater naar het oppervlaktewater vormt wel een risico voor de waterkwaliteit, omdat het water ook verontreinigingen van afspoeling kan bevatten (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2022). Door foutaansluitingen kunnen er ook microbiologische risico's ontstaan (STOWA, 2019). Aanvullend hebben ondergrondse infiltratievoorzieningen als nadeel dat verontreinigingen en andere calamiteiten niet zo makkelijk zichtbaar zijn. Om deze risico's te voorkomen kunnen filterlagen geïnstalleerd worden die de verspreiding van bepaalde verontreinigingen tegengaan (Boogaard, 2022).

D. Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan afvoeren

In het cluster '*technisch' vasthouden of afkoppelen van water en afvoeren'* worden maatregelen beschreven die als hoofddoel hebben om het water tijdelijk om te leiden of te bergen tijdens hevige en langdurige regenval voordat het water in drogere perioden weer wordt afgevoerd (Tabel 4). Deze maatregelen kunnen op verschillende schaalniveaus worden toegepast; waterberging op daken

(gebouwen), waterberging op verhard oppervlak (straat) en ondergrondse waterberging (perceel, gebouw, buurt).

Tabel 4 Samenvatting waterkwaliteitseffecten van water 'technisch' vasthouden/afkoppelen en dan afvoeren.

Maatregelcluster water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan afvoeren	Positief	Negatief
D1 Op daken	Minder riooloverstorten Afname luchttemperatuur	Afspoeling verontreiniging van daken
D2 Op verhard oppervlak	Minder riooloverstorten (waterplein) Afname luchttemperatuur (beperkt)	Afspoeling verontreiniging van wegen Meer riooloverstorten (schuine weg) Afname openheid verhard oppervlak (waterplein)
D3 Ondergronds	Minder riooloverstorten Minder afspoeling van verontreinigingen naar oppervlaktewater	-

D1 Waterberging op daken

Water (Blauw) dak

Waterdaken kunnen zo worden ingericht dat ze een deel van de neerslag bufferen door een laag water op het dak te laten staan (Figuur 21). Het water wordt afgevoerd door een smalle afvoer, waardoor het langer duurt voordat het water van het dak wordt geloosd op het riool. Het riool krijgt op deze manier de tijd en voldoende beschikbaar volume om het regenwater bij hevige buien te verwerken. Na verloop van tijd loopt het waterdak weer leeg, en is er genoeg opslagcapaciteit voor een volgende bui.

Er bestaan ook dynamische waterdaken die worden voorzien van een besturingssysteem dat op basis van weersvoorspellingen zorgt dat het water geloosd wordt vóór een bui (Rainproof, n.d.-f). Bij een dynamisch waterdak kan het water na een zomerse bui op het dak langer vastgehouden worden. Dit zorgt voor verkoeling, voornamelijk onder het dak. Het water op een dynamisch waterdak zal echter na langere periodes van droogte en hitte opwarmen en uiteindelijk geheel verdampen, waardoor het dak in periodes van langdurige hitte zijn verkoelende effect verliest. Het effect van een statisch waterdak op hitte is bovendien verwaarloosbaar, omdat de verkoelende laag water na een paar dagen al verdampt en/of afstroomt op het riool (Rainproof, n.d.-f).



Figuur 21 Voorbeeld van een blauw dak (bron: Maarten Wansink).

Relatie met waterkwaliteit

Door het vertraagd afvoeren van regenwater met behulp van een waterdak ontstaat er meer ruimte in het riool voor het afvoeren van water. Hierdoor wordt tijdens hevige buien de belasting op het riool lager en komen riooloverstorten minder vaak voor (Kennispotaal Klimaatadaptatie, n.d.). Dit heeft als positief effect dat er minder vervuild water terechtkomt in het ontvangende oppervlaktewater. De waterkwaliteit van het ontvangende stedelijke water verbetert en algenbloei, vervuilde bodems en vissterfte komen minder vaak voor (Holleman & Moons, 2010).

Daar staat tegenover dat water van een waterdak ook verontreinigd kan zijn, wat een negatief effect heeft op de waterkwaliteit. Voorbeelden hiervan zijn verontreinigingen door atmosferische depositie, het afspoelen van metalen van metalen platen, verwerking van daken die zijn behandeld met verf, het verweren van dakmaterialen en de accumulatie van organisch materiaal als gevolg van groei van planten of schimmels op het dak (Adeniyi & Olabanji, 2005; Chang et al., 2004; Förster, 1999). De mate van verontreiniging is echter afhankelijk van het ontwerp van het waterdak. Platte grinddaken hebben bijvoorbeeld een grote kans op verontreiniging door het verweren van het dakmateriaal, de kolonisatie van planten en atmosferische depositie van schoorstenen, de industrie en voertuigen (Farreny et al., 2011). Naast het materiaal van het dak zijn ook de helling en de lengte van het dak en het type dak bepalend voor de kwaliteit van het regenwater op het waterdak (Mitchell, 2003). Er zijn daken waarbij een deel van het water niet wegloopt. Een mogelijk gevolg hiervan is dat het water stilstaand wordt met een groter risico op het voorkomen van muggen (Rainproof, n.d.-g).

D2 Waterberging op verhard oppervlak

Holle/Schuine weg

Holle wegen kunnen meer water bergen en afvoeren dan open goten of reguliere wegen (Figuur 22). Een holle weg vergroot de wateropvang- en afvoercapaciteit van een straat. Gecombineerd met een

verhoogd trottoir, een verhoogd vloerpeil en/of een drempel in huizen kan dit wateroverlast voorkomen (Rainproof, n.d.-b). Schuine wegen (bv. drempels in het wegdek) daarentegen functioneren als een waterkering. Wanneer het wegdek een zekere doorlaatbaarheid heeft, krijgt het water meer tijd om te infiltreren (De Urbanisten & TAUW, 2018).



Figuur 22 Holle weg (bron: Nanda Sluijsmans).

Waterplein

Het waterplein is een maatregel die wordt toegepast om het riool bij hevige neerslag te ontlasten (Figuur 23). Delen van het plein worden verdiept en fungeren als tijdelijke opslagplaats van regenwater. Als het hard regent kan het water ook nog worden opgevangen in speciale bassins op het waterplein. Ongeveer 90% van het jaar zal het plein echter droog staan en is er ruimte om te recreëren in de buurt. Bewoners en andere recreanten kunnen er basketballen, skeeleren, sporten, etc. De stad wordt op deze manier aantrekkelijker gemaakt voor recreatie en wonen door de inpassing van een zichtbare en centrale plek in de openbare ruimte (Boezeman et al., 2014).



Figuur 23 Waterplein in een woonwijk (bron: RHDHV).

Relatie met waterkwaliteit

Waterpleinen dragen bij aan het verminderen van hittestress in de stad. Een waterplein met een oppervlak van 1 ha kan de luchttemperatuur met ongeveer 1 °C laten afkoelen (Pohl et al., 2016). De effecten hiervan zullen echter beperkt zijn. In de warmste maanden van het jaar is er over het algemeen minder kans op aanwezigheid van water op het waterplein doordat er weinig neerslag valt. Er zal in de zomer dan ook weinig afkoeling via het water plaatsvinden.

Waterberging op verhard oppervlak kan ook mogelijk een negatief effect hebben op de waterkwaliteit van oppervlaktewater. Tijdens een regenbui stroomt water van onder meer omringende daken en nabijgelegen parkeerplaatsen via goten of het wegdek naar het waterplein of de holle/schuine wegen. Vervuilingen zoals modder, bladeren en uitwerpselen van honden worden via deze stroom meegevoerd, waardoor de vervuilingen uiteindelijk terechtkomen op het waterplein of op straat. Het risico bestaat dat het vuil ook na het wegpompen van het water achterblijft (Breevoort, 2020). Dit maakt niet alleen het waterplein of de straat minder aantrekkelijk voor kinderen om op te spelen, het brengt ook gezondheidsrisico's met zich mee. Zowel bij direct als indirect contact met stedelijk verontreinigd water van onvoldoende microbiologische kwaliteit kunnen mensen gezondheidsklachten oplopen (Schets et al., 2017). Verneveling speelt hierbij ook een belangrijke rol. Het zorgt er namelijk voor dat een hoge concentratie vocht door middel van kleine microdruppeltjes makkelijk in de longen van bezoekers terecht kan komen. Dit is voornamelijk een gevaar voor bacteriologische infectie met *Legionella* (Borella et al., 2005).

D3 Ondergrondse waterberging

Bergingsbassins en bergbezinkbassins (BBB)

Ondergrondse waterberging biedt een lokale afvoermogelijkheid, naast de bestaande riolering en het oppervlaktewater (Figuur 24). Neerslag kan bovengronds beter worden opgevangen en langzaam worden geïnfiltreerd, waardoor dit zoete water ook beschikbaar blijft als zoetwaterbron in droge

perioden. Aan de andere kant kan ondergrondse waterberging ook bijdragen aan waterveiligheid. Zo kan wateroverlast in stedelijke gebieden door intense neerslag worden voorkomen door het creëren van bergingsruimte in ondergrondse bassins. Ondergrondse berging van regenwater kan worden ingericht met of zonder een bezinksectie. Bergbezinkbassins (BBB's) zijn bergingsbassins waarin vuil kan bezinken. Bij hevige regen vangen BBB's uit de gemengde riolen regenwater op dat vermengd is met afvalwater. Zo komt er minder vervuild regenwater terecht in sloten en vijvers. Bovendien zakt het vuil naar de bodem van de voorziening ('bezinken'). Het water dat toch overloopt is dan schoner (Rijkswaterstaat, 2012; STOWA, 2019).



Figuur 24 Berg bezink bassin (bron: Joostdevree)

Infiltratiekratten

Een ander voorbeeld van ondergrondse berging van regenwater zijn infiltratiekratten (Figuur 25). Infiltratiekratten bestaan in allerlei afmetingen. Hierdoor kunnen ze worden toegepast op verschillende schalen; van individuele percelen tot aan hele stadsdelen. De kratten kunnen bijvoorbeeld worden geplaatst onder gazons, wegen, sportvelden en parkeergarages (Pötz & Mouwen, 2021). Overtollig regenwater kan in de infiltratiekratten stromen en geborgen worden zolang de bodem verzadigd is met water. Wanneer de waterverzadiging van de bodem weer afneemt, infiltreert het water uit de kratten langzaam in de bodem (Dirven-van Breemen et al., 2011).



Figuur 25 Infiltratiekratten (bron: www.infra-infra.com).

Waterberging onder gebouwen

Waterberging onder gebouwen (Figuur 26) is een goed alternatief voor waterberging op perceelniveau. Tussen de funderingspalen of in de kelder kan tegen relatief beperkte kosten een waterberging gerealiseerd worden (Pötz & Mouwen, 2021). De dimensies van de waterberging worden bepaald aan de hand van de beschikbare hoeveelheid neerslag en het verwachte waterverbruik. Het aandeel ongebruikt regenwater wordt overgestort en kan in de tuin worden vastgehouden of bij gebrek hieraan worden afgevoerd via het hemelwaterriool. Door het inpassen van een regenwaterberging hoeft er in tijden van droogte minder (drink)water gewonnen te worden uit natuurgebieden en rivieren die onder druk van droogte staan (Rainproof, n.d.-d).



Figuur 26 Waterberging onder bebouwing (bron: atelier Dreiseitl).

Relatie met waterkwaliteit

Wanneer er in een korte periode veel neerslag valt, kan dit leiden tot een overbelasting van het rioolstelsel. Het kan voorkomen dat het overtollige water in dit geval vanuit het riool (regenwater vermengd met afvalwater) via een riooloverstort wordt ingelaten in stedelijke watergangen. Vanwege het feit dat effluent van riooloverstorten over het algemeen nutriëntrijk is, leidt dit veelal tot een verslechtering van de waterkwaliteit van het ontvangende water (Holleman & Moons, 2010). Ondergrondse voorzieningen voor waterberging zorgen voor een vertraagde wateraanvoer naar het rioolstelsel. Hierdoor treden riooloverstorten minder vaak in werking, omdat overbelasting van het rioolstelsel wordt beperkt.

In tegenstelling tot infiltratiekrachten en bergingsbassins hebben bergbezinkbassins nog een ander positief effect op de waterkwaliteit; het minimaliseren van vervuiling van het oppervlaktewater door bezinking van slib. BBB's worden vóór de overstorten gebouwd en bestaan uit grote ondergrondse ruimten die het teveel aan water tijdelijk bergen en het vuil laten bezinken. Ten opzichte van een referentiestelsel geeft een bergbezinkbassin een aanzienlijke reductie van de vuilemissie in chemisch zuurstofverbruik (CZV) (tot 70%) zowel op jaarbasis als per gebeurtenis (Bakker et al., 1989). Hierdoor is er minder risico dat verontreinigingen in het oppervlaktewater terechtkomen. BBB's zijn echter voornamelijk gebouwd om kleine buien te verwerken (<7mm). Tijdens hevige neerslag zal de overstort gewoon overstorten en komt het opgeloste vuil in het overstortwater alsnog in het stedelijk water terecht.

E. Oppervlaktewater creëren

In het cluster '*Oppervlaktewater creëren*' worden maatregelen beschreven die als hoofddoel hebben om meer water te kunnen bergen en vasthouden op buurt- en straatniveau. Deze maatregelen dragen bij aan het verminderen van wateroverlast in de stad tijdens perioden van hevige en langdurige neerslag (Tabel 5).

Tabel 5 Samenvatting waterkwaliteitseffecten van oppervlaktewater creëren.

Maatregelcluster	Positief	Negatief
Oppervlaktewater creëren	Minder rioolwateroverstortingen Meer zuivering door helofyten Afname luchttemperatuur Grotere diepte (bergingsvijver)	Instroom van vogelpoep en afspoeling van hondenpoep Toename zuurstofverbruik (helofytenfilter) Toename voedselrijkdom bodem

E1 Toevoegen van oppervlaktewater

Extra oppervlaktewater en bergingshoogte creëren

Bij berging door extra oppervlak wordt meer ruimte voor oppervlaktewater gecreëerd. Eén voorbeeld van extra oppervlak creëren is de aanleg van open stedelijke waterlopen. Open stedelijke waterlopen kunnen regenwater afvoeren en vasthouden. Open goten en greppels kunnen afwateren op deze stedelijke waterloop, waardoor de wateroverlast in de stad minder wordt. Een stedelijke waterloop hoeft niet altijd opnieuw aangelegd te worden, maar kan ook onderdeel zijn van de reconstructie van een oude (natuurlijke) waterloop (Rainproof, n.d.-f). Er kan naast het creëren van extra oppervlak ook extra volume worden gerealiseerd door een grotere peilfluctuatie toe te staan dan gebruikelijk. Door de berghoogte in de waterloop te vergroten, wordt er meer volume gecreëerd voor berging zonder dat er meer oppervlak nodig is (Rainproof, n.d.-e).

Relatie met waterkwaliteit

Door het creëren van extra oppervlaktewater kan er meer water worden vastgehouden tijdens hevige buien en wordt de belasting op het riool lager (Kennisportaal Klimaatadaptatie, n.d.). Dit heeft als positief effect dat er minder vervuild water terechtkomt in het ontvangende oppervlaktewater, omdat overstortingen minder vaak voorkomen. De waterkwaliteit van het ontvangende stedelijke water verbetert en algenbloei, vervuilde bodems en vissterfte komen minder vaak voor (Holleman & Moons, 2010). Verder kan de diepte van een stedelijk water een belangrijke rol spelen bij de soortenrijkdom en de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Zo worden er meer soorten gevonden in vijvers met een diepte van 0.5-1m dan in vijvers met een diepte van 0-0.5m (Peeters et al., 2022).

Het verbreden of verdiepen van een stedelijk water kan daarnaast een positief effect hebben op de watertemperatuur. Ondiepe wateren bereiken hogere maximale temperaturen dan diepere wateren. Door een vijver bijvoorbeeld met 2.2 m te verdiepen (van 0.5m naar 2.7m) kan een watertemperatuurafname van ~4°C worden verwacht. Ondiep water warmt namelijk overdag sneller op dan dieper water, omdat ruwweg eenzelfde hoeveelheid energie minder water hoeft op te warmen. Eén negatief effect van het verdiepen van een stedelijk water is dat de periode met warm water langer aanhoudt en dat de gemiddelde temperatuur van het water licht kan stijgen. De verklaring voor de hogere gemiddelde temperaturen is dat diep water, hoewel het minder snel opwarmt en minder hoge maximumtemperaturen bereikt, ook weer minder snel afkoelt (Wilschut et al., 2018).

Bergingsvijver (permanente vijver)

Bergingsvijvers kunnen worden ingezet in gebieden die gevoelig zijn voor piekbuien en overstromingen (Lu et al., 2019). Regenwater wordt opgevangen in de bergingsvijver en kan daarna via de brede randen van de vijver wegzakken in de ondergrond. Op deze manier wordt het grondwater aangevuld en kan droogteschade worden beperkt (GroenBlauw, n.d.; Kwakernaak et al., 2000). Waterplantenbedekking in vijvers zorgt daarnaast voor een vermindering van het stedelijk warmte-eilandeffect door verkoeling van de lucht via verdamping (Dirven-van Breemen et al., 2011).

Relatie met waterkwaliteit

Het vervangen van verhardingen door extra oppervlaktewater zorgt ervoor dat meer water kan worden vastgehouden tijdens hevige buien, waardoor de belasting op het riool afneemt (Kennisportaal Klimaatadaptatie, n.d.). Dit heeft als positief effect dat er minder vervuild water terechtkomt in het ontvangende oppervlaktewater, omdat overstortingen minder vaak voorkomen. De waterkwaliteit van het ontvangende stadswater verbetert en algenbloei, vervuilde bodems en vissterfte komen minder vaak voor (Holleman & Moons, 2010). Een negatief effect van bergingsvijvers is het risico op verhoogde concentraties aan verontreinigingen en nutriënten in het oppervlaktewater. In en rondom vijvers zijn regelmatig watervogels (bv. eenden) aanwezig. De uitwerpselen van deze watervogels dragen bij aan hoge fosfaatconcentraties. Ook afspoeling van uitwerpselen van honden kan bijdragen aan verhoogde concentraties aan verontreinigingen met betrekking tot fecale bacteriën (bv. E. coli). Het brood dat wordt gevoerd aan vogels en vissen is bovendien een extra bron van nutriënten (Bleuten et al., 2015).

Daarnaast kan de vorming van slib in een vijver bijdragen aan een verslechtering van de waterkwaliteit. Vijverslib ontstaat doordat er materiaal afzakt naar de bodem wat daar langzaam zal wegrotten. Voorbeelden hiervan zijn bladeren, afgestorven waterplanten, takjes en organisch afval van vissen. Anaerobe afbraak van slib zorgt voor nalevering van fosfaat naar het oppervlaktewater. De nutriëntenconcentraties in de vijver nemen hierdoor toe. In de zomer verloopt de afbraak in de sliblaag sneller door een hogere watertemperatuur. Stadswateren zijn hier extra gevoelig voor, omdat stedelijke wateren sneller opwarmen en minder snel afkoelen in tegenstelling tot wateren op het platteland (Witteveen, 2021).

E2 Vergroenen van stedelijk water

Helofytenfilter

Helofytenfilters bestaan uit een grind- of zandbed dat beplant is met moerasplanten (helofyten) zoals riet (Spoelstra & Truijten 2010) (Figuur 27). De bodem van helofytenfilters kan worden voorzien van een ondoordringbare laag van synthetisch materiaal (bijvoorbeeld van klei) (Kadlec & Wallace 2008; Spoelstra & Truijten 2010). Hierdoor vindt er beperkte infiltratie naar diepere bodemlagen plaats en kan het waterniveau in het watersysteem behouden blijven (Dotro et al., 2017). Helofytenfilters worden voornamelijk ingezet om vervuild water te zuiveren, voordat het water wordt ingelaten op het oppervlaktewater. Het oppervlaktewater ontvangt hierdoor minder nutriëntrijk water waardoor het risico op een verslechtering van de waterkwaliteit afneemt.



Figuur 27 Helofytenfilter (bron: Nanda Sluijsmans).

Natuurvriendelijke oevers

Een natuurvriendelijke oever is een door de mens ingerichte oever waarbij ontwikkeling van natuur, landschap en ecologie expliciet wordt gestimuleerd (Vossen & Verhagen, 2009) (Figuur 28). De aanleg van natuurvriendelijke oevers kan onder andere bijdragen aan landschappelijke versterking, verbetering van ecologische relaties, verbetering van de waterkwaliteit en verdediging van de oever (Sollie et al., 2011). Daarnaast ontstaat er door de bredere en vlakkere oever ook een waterafvoerende en waterbergende functie in watergangen zoals sloten. Hierdoor kan bij piekbuien water makkelijker worden afgevoerd en in droge tijden water beter worden vastgehouden (Waterschap Scheldestromen, n.d.).



Figuur 28 Natuurvriendelijke oever (bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Het vervangen van verhardingen door helofyten (moerasplanten) aan oevers en in watergangen heeft een positief effect op de waterkwaliteit. Helofyten zorgen voor meer schaduw, minder invloed van de wind en een verminderde zonne-instraling op het oppervlaktewater. Door deze factoren warmt een stadswater minder snel op (Kadlec & Wallace 2008). Ook zorgen groene oevers in de stad voor een vermindering van het stedelijk warmte-eilandeffect door verkoeling van de lucht via verdamping (Dirven-van Breemen et al., 2011).

Helofyten spelen daarnaast een belangrijke rol in de zuivering van oppervlaktewateren. De wortels en wortelstokken van de helofyten bieden de mogelijkheid tot hechting voor microbiële biofilms in het grind- of zandmedium. Door de aanwezigheid van deze biofilms vinden belangrijke bacteriële processen plaats (ammonificatie, nitrificatie en denitrificatie) waarbij stikstof wordt verwijderd uit het helofytenfilter (Dotro et al., 2017). Fosfaten worden daarnaast opgenomen uit het water door de helofyten, algen in de biofilms en micro-organismen (Sloot et al., 2001). De verschillende voedingsstoffen zoals ammonium, nitraat, fosfaat en sulfaat worden dus door de helofyten en algen opgenomen uit het medium of het water en daarna vastgelegd in biomassa (bladeren, wortelstokken en stengels/hout) (Jenner et al., 2008). De opname van deze voedingsstoffen speelt zich af tijdens het groeiseizoen van de planten. Door het maaien en afvoeren van de helofyten worden de voedingsstoffen uit het systeem verwijderd (Sloot et al., 2001). Het zuiveringsrendement van de oeverbeplanting is onder andere afhankelijk van de soort moerasplanten, het maaibeheer en het ontwerp van de oever of het helofytenfilter. Naast stikstof- en fosforverwijdering kan ook slib worden ingevangen in de wortelzone van de moerasplanten. Verder wordt opwerveling van sediment verminderd door de slibvang in de wortelzone. Het water blijft hierdoor helderder. Het is belangrijk dat de oevervegetatie goed wordt onderhouden door middel van maaibeheer. Afstervende helofyten kunnen nutriëntenconcentraties in het water laten toenemen door de omzetting van organisch materiaal (Kadlec & Wallace 2008).

Helofytenfilters en natuurvriendelijke oevers leveren ook een belangrijke bijdrage aan het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit van stedelijke wateren. Oevers met beplanting vormen een beschutte leefomgeving voor bijvoorbeeld insecten, kikkers, padden, kleine zoogdieren en vissen. De oever- en waterplanten bieden een goede plek om te schuilen, op te groeien, voort te planten en voedsel te vinden. Ook veel vogels zoals de rietzanger en karekiet voelen zich er thuis (Tanis & Van der Kamp, 2019). De aanwezigheid van watervogels kunnen echter ook een negatief effect hebben op de waterkwaliteit door de uitscheiding van fecale bacteriën en nutriënten (Löhmus & Balbus, 2015).

F. Primair warmte verlagende maatregelen

In het cluster '*Primair warmte verlagende maatregelen*' worden maatregelen beschreven die als hoofddoel hebben om de lucht- en gevoelstemperatuur in stedelijk gebieden te verlagen en zo hittestress tegen te gaan (Tabel 6). Verkoeling van de lucht kan plaatsvinden op verschillende schaalniveaus (van perceel tot buurt) door middel van het vergroenen van de omgeving, het gebruik van verkoelende materialen, het plaatsen van extra waterpunten en/of het creëren van schaduw.

Tabel 6 Samenvatting waterkwaliteitseffect

Maatregelcluster warmte verlagende maatregelen	Positief	Negatief
F1 door groen	Afkoeling water (beperkt effect) Minder inval zonlicht Minder riooloverstorten (stadsbos)	Continue bemesting Meer bladval Meer afspoeling hondenpoep
F2 door koele materialen	Afkoeling water (beperkt effect)	Meer verhard oppervlak
F3 door water	Afkoeling water (beperkt effect) Zuurstof (door fonteinen)	Pathogenen (bij verneveling)
F4 door schaduw	Afkoeling water (beperkt effect)	Bij schaduw door groen: zie F1

F1 Verkoeling door groen

Verticale vegetatie

Verticale vegetatie kan worden onderverdeeld in twee hoofdgroepen: 1) Groene gevels en 2) Living wall systemen. Bij groene gevels wortelen de planten in de volle grond aan de voet van de gevel en begroeien zij de gevel met of zonder een klimhulp. Voor water en voeding zijn deze klimplanten afhankelijk van de grond waarin zij wortelen. Bij living wall systemen wortelen de planten in een substraat dat aan een gevel wordt bevestigd (Figuur 29). Om aan de waterbehoefte van de planten te voorzien, worden living wall systemen uitgerust met een irrigatiesysteem. Meststoffen kunnen binnen dergelijk systemen discontinu toegediend worden in korrelvorm aan de voet van de plant of door (continue) inmenging van vloeibare meststof in het irrigatiewater (*fertigatie*) (Van Herreweghe & Dinne, 2020).



Figuur 29 Verticale vegetatie: *living wall* systeem (bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Het effect van verticale vegetatie op de waterkwaliteit van stedelijke wateren is afhankelijk van

verschillende factoren zoals de hoeveelheid organisch substraat, de frequentie van bemesting en de kwaliteit van het irrigatiewater. Discontinue bemesting van living wall systemen heeft weinig invloed op de waterkwaliteit van het effluent. Continue voeding resulteert daarentegen in een verhoging van de conductiviteit, het stikstof-, kalium- en in mindere mate fosforgehalte van het effluentwater. Vanwege het feit dat groene gevels niet worden bemest via een irrigatiesysteem zal net zoals bij discontinue bemesting van living wall systemen de afspoeling van nutriënten minimaal zijn en daardoor zal de waterkwaliteit van het stedelijke water beperkt worden beïnvloed (Van Herreweghe & Dinne, 2020).

Verticale vegetatie draagt daarnaast bij aan het reduceren van hittestress in stedelijke gebieden. Door de toepassing van verticale vegetatie warmen gevels minder op en verliezen ze minder warmte. Factoren zoals verdamping, beschaduwing, hoge reflectie van infraroodstraling en isolatie dragen allemaal bij aan de natuurlijke verkoelende capaciteit van groene gevels. Gevelbeplanting houdt daarnaast zeer weinig water vast. Ook hebben groene gevels als voordeel dat ze relatief weinig in beslag leggen op de beperkte openbare ruimte in steden, maar toch veel vierkante meters verticaal groen realiseren (Pradhan et al., 2019).

Bomen planten

Vergroten van oppervlakten groen in de stad speelt een belangrijke rol in het tegengaan van opwarming in de stad en het vergroten van het thermische comfort van de inwoners. Alle typen groen dragen hieraan bij, maar bomen hebben door hun omvang en volume het grootste effect. Het beperken van opwarming verloopt via twee mechanismen: opvangen van een deel van de inkomende stralingsenergie (schaduw) en afkoeling als gevolg van de verdamping van water.

Hoge bomen met een brede en dichte kroon zullen meer bijdragen aan verkoeling dan minder grote bomen (Hiemstra, 2018). Meetbare effecten liggen tussen de 5 en 10 graden in stedelijk gebied (Pohl et al., 2016).

Het planten van bomen in stedelijk gebied draagt daarnaast bij aan het reduceren van afspoeling. Bomen reguleren de waterhuishouding door onder andere 1). Het absorberen van water in de wortelzone en 2). Het waterverlies (*transpiratie*) via de kleine openingen in het bladoppervlak (*stomata*) (Vilhar, 2017). Hierdoor wordt de opname van water bevordert en stroomt minder regenwater af naar het oppervlaktewater.

Het planten van bomen bevordert daarnaast ook de bodemkwaliteit. De bodem in een stadsbos of bomenlaan bestaat uit organische lagen (*humus*) en uitgebreide wortelstelsels. Deze zorgen ervoor dat de bodem poreus en doorlaatbaar blijft, waardoor water goed kan infiltreren (Stuart & Edwards, 2006). Ook bacteriën en fungi in de bodem dragen bij aan de absorptie van water en nutriënten in de bodem (Ottburg et al., 2017). Het planten van bomen kan resulteren in een interceptie van 4-50% met betrekking tot de jaarlijkse regenval in een stedelijk gebied (Kermavnar, 2015). Individuele bomen(rijen), zoals in stedelijke gebieden, kunnen zelfs meer bijdragen aan het invangen van regenwater dan het geval is voor grootschalige bossen. Dit komt omdat het bladerendek van individuele bomen door de open ruimte relatief groter kan groeien, de invloed van de wind groter is (en daardoor het waterverlies via de stomata groter is) en/of waterverlies meer plaatsvindt in stedelijke gebieden door hogere luchttemperaturen (*urban heat island effect*) (Vilhar, 2017).

Bomenlanen

Bomen kunnen op verschillende schalen worden geplant, bijvoorbeeld op straatniveau (bomenlanen) of op buurtniveau (stadsbos). Een bomenlaan bestaat uit één of meer rijen bomen die aan beide zijden van de weg zijn geplant (Figuur 30). De bomenlaan heeft als doel het begeleiden en aankleden van de weg. De laan bestaat traditioneel slechts uit één soort van eenzelfde leeftijd, maar wordt tegenwoordig ook vaker ingericht met meer variatie in bomenkeuze (Bakx, 2020).



Figuur 30 Bomenlaan (bron: Nanda Sluijsmans).

Stadsbos

Een stadsbos is een klein, dichtbegroeid bos ongeveer ter grootte van een tennisbaan (Figuur 31). Het mini-bos bestaat uit verschillende inheemse plantensoorten, zoals wilgen, berken, eiken, hazelaars en lijsterbessen. Door de aanleg van een stadsbos kan een wijk klimaatbestendiger worden. Zo vangen de bossen regenwater op bij extreme weersomstandigheden, houden ze water vast tijdens droogte, zuiveren ze de lucht en gaan ze hittestress tegen (Mees, 2018).



Figuur 31 Stadsbos (bron: Rick Mellink).

Droogtetolerante bomen

Hittegolven kunnen gepaard gaan met langere perioden van droogte. Daarom is de droogtetolerantie van de boomsoort een belangrijke factor om rekening mee te houden. Droogtetolerantie verwijst naar de mate waarin een plant perioden met verminderde beschikbaarheid van water kan doorstaan. Bepaalde boomsoorten hebben het voordeel dat zij de transpiratie in de bladeren kunnen controleren door hun huidmondjes (*stomata*) te sluiten. In droge perioden kunnen de droogtetolerante bomen meer water vasthouden dan andere typen bomen (Chen et al., 2012). Over het algemeen geldt dat bomen met kleine blaadjes en bomen met dik leerachtig blad of een dikke waslaag beter bestand zijn tegen droogte dan bomen met groot en dun blad. Droogtetolerante bomen zullen ook minder snel hun blad verliezen in droge perioden, waardoor ze hun verkoelende capaciteit behouden (Hiemstra, 2018).

Relatie met waterkwaliteit

Aangezien een groot aandeel van de stedelijke omgeving bestaat uit ondoorlaatbare oppervlakten (zoals parkeerplaatsen, daken, straten) kan regenwater beperkt infiltreren in de bodem. Het gevolg hiervan is dat tijdens hevige en langdurige neerslag het rioolstelsel overbelast raakt en vuil water via een riooloverstort in het oppervlaktewater terecht komt. Ook voert het regenwater verontreinigingen (o.a. nutriënten, zware metalen, specifiek verontreinigende stoffen, etc.) van bijvoorbeeld straten en perkjes af richting het oppervlaktewater, waardoor de waterkwaliteit van het stedelijke water verslechtert (Gallo et al., 2012; Le Pape et al., 2012; Seitz & Escobedo, 2008).

Het wortelstelsel en het bladerdek van bomen en de organische lagen in de bodem (*humus*) kunnen verontreinigingen, sediment en nutriënten opnemen vanuit afstromend water. In vergelijking met andere plantensoorten, hebben bomen ook een uitzonderlijke capaciteit om luchtverontreinigingen, organisch materiaal en meststoffen in te vangen. Het gevolg van het invangen en opnemen van verontreinigingen is dat er minder schadelijke stoffen terechtkomen in het oppervlakte- of grondwater (Vilhar, 2017; Kaimowitz, 2004). In welke mate bomen bijdragen aan het verbeteren van

de waterkwaliteit is afhankelijk van verschillende factoren zoals: de boomsoort, grootte van de boom, dichtheid van het bladerdak, plantdichtheid, opslagcapaciteit van het bladerdek, seizoensgebonden aanwezigheid of afwezigheid van bladerdek, helling van de bodem en neerslagintensiteit (Livesley et al. 2014; Armson et al., 2013; Crockford & Richardson, 2000; Inkiläinen et al., 2013; Kermavnar, 2015; Schooling & Carlyle-Moses, 2015; Šraj et al., 2008; Siegert et al., 2016). Een stadsbos zal door zijn grotere schaal meer verontreinigingen invangen dan het geval zal zijn bij een bomenlaan of een individuele boom.

Tevens kan de schaduw van bomen bijdragen aan het verbeteren van de waterkwaliteit van stedelijke wateren. Het bladerdek kan schaduw creëren op watergangen waardoor de opwarming van water minder snel gaat. Door een lagere watertemperatuur neemt de concentratie aan opgelost zuurstof toe en worden de omstandigheden voor problematische algenbloei minder gunstig (Newham et al., 2011). Het planten van bomen kan echter ook een negatief effect hebben op de waterkwaliteit. Afvallend blad op straat of direct op het wateroppervlak kan een belangrijke bron zijn van nutriënten en organisch materiaal (Hobbie et al., 2014). In stadsbossen (*tiny forests*) is het bovendien zo dat de toegankelijkheid van mens (en daardoor van dier) bijdraagt aan het educatieve doeleinde van het bos. Vooral de aanwezigheid van dieren (bv. honden en vogels) kan resulteren in verhoogde concentraties fecale bacteriën in stedelijke wateren door de afspoeling van uitwerpselen (Ottburg et al., 2017).

F2 Verkoeling door koele materialen

Koele materialen met een hoog albedo

Elk oppervlak heeft een bepaald albedo, 'witheid', ofwel reflectiefactor. Deze variabele vertegenwoordigt de hoeveelheid zonnestraling die het oppervlak reflecteert vergeleken met de hoeveelheid die het ontvangt. Oppervlakken in de stedelijke omgeving hebben gemiddeld een albedo van slechts 5%, terwijl landelijke gebieden gemiddeld uitkomen op zo'n 25%. Dit verschil zorgt ervoor dat steden veel minder energie van de zon reflecteren dan landelijk gebied (Kluck et al., 2020). Zonlicht reflecterende stedelijke oppervlakken (zoals witte daken en lichtgekleurde stoepen) kunnen het albedo van stedelijke gebieden met ongeveer 10% verhogen (Figuur 32). Ook hout en meer poreuze materialen houden minder warmte vast, waardoor de directe omgeving koeler blijft (Akbari et al., 2012; Rainproof, n.d.-c).



Figuur 32 Daken met een hoog albedo (bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Het gebruik van koele materialen heeft niet direct een effect op de waterkwaliteit. Het kan echter wel indirect een positief effect hebben op de watertemperatuur van stedelijke wateren. De grootte van het temperatuurverschil tussen de wateroppervlak en de lucht bepaalt mede hoeveel warmte er wordt overgedragen. Hoe groter dit verschil is, hoe groter het verkoelende effect van de lucht op het water kan zijn. Als de lucht afkoelt door middel van koelere materialen, wordt er dus meer warmte-energie afgegeven van het oppervlaktewater en neemt de watertemperatuur in theorie af. In kleinere stedelijke wateren is de uitwisseling van warmte-energie tussen water en lucht echter beperkt vanwege het kleine oppervlak en volume aan water (Jacobs et al., 2020).

F3 Verkoeling door water

Fontein, watermuur

Verneveling van water door vernevelaars, fonteinen en/of watermuren is een effectieve manier van waterverkoeling (Figuur 33). De verdamping neemt toe en de nevel kan neerslaan op de huid, waardoor het lichaam afkoelt (Boezeman et al., 2018). Modelstudies voor het Nederlandse klimaat laten zien dat verdampende druppeltjes van een niet al te grote fontein vooral lokaal een verkoelend effect kan hebben op de luchttemperatuur. Op een hoogte van 1,5 m kan de luchttemperatuur worden afgekoeld met maximaal 1 °C (Jacobs et al., 2020). Door verneveling kan wel een risico ontstaan voor de volksgezondheid indien verontreinigingen via het water worden verspreid.



Figuur 33 Waterfontein (bron: Nanda Sluijsmans).

Relatie met waterkwaliteit

Een fontein vernevelt water tot kleine druppeltjes, die de wind vervolgens verspreidt. Mensen in de omgeving van de fontein kunnen deze waternevel inslikken of inademen. Als het vijverwater uit de fontein verontreinigd is met ziekteverwekkers (bv. virussen, parasieten en bacteriën), kunnen mensen gezondheidsklachten krijgen, zoals maag-darm- of luchtwegklachten. Het gezondheidsrisico wordt groter wanneer fonteinën worden geplaatst in stedelijke wateren die zijn verontreinigd met overstortwater en/of blauwalgen. Fonteinën kunnen daarentegen een positief effect hebben op de zuurstofhuishouding van het oppervlaktewater. Door het inbrengen van luchtbelletjes hebben bijvoorbeeld vissen een betere overlevingskans na riooloverstortingen (De Man & Leenen, 2016; Rio Ned, 2020).

F4 Verkoeling door schaduw

Creëren van schaduw

Door het bladerdek van bomen ontstaat er schaduw in parken, op straat en in tuinen. Schaduw van bomen kan de inkomende zonnestraling met een factor tien verlagen (Kluck et al., 2020). Schaduw creëren door middel van een parasol of schaduwdoek is eveneens een goede optie als de straat weinig ruimte biedt voor vegetatie. Een voordeel van dat soort schaduwvoorzieningen is dat ze 's avonds kunnen worden verwijderd, waardoor de warmte-energie die in de bodem en gebouwen is opgeslagen beter kan ontsnappen en de stad sneller afkoelt (Kluck et al., 2020).

Relatie met waterkwaliteit

Parasols en schaduwdoeken zorgen vooral op lokale schaal voor afkoeling van de lucht (Figuur 34). In tegenstelling tot grootschaligere maatregelen (bv. gebruik verkoelende materialen) hebben parasols dan ook geen effect op de watertemperatuur van stedelijke wateren of op andere waterkwaliteitsindicatoren. Groene pergola's (Figuur 38) kunnen wel een effect hebben op de waterkwaliteit, afhankelijk van onder andere de plantenkeuze en de bemesting. De *Wisteria* is

bijvoorbeeld een klimplant die weinig meststoffen nodig heeft. Deze voedingsstoffen maakt de plant namelijk zelf met behulp van wortelknolletjes, zoals verschillende andere vlinderbloemige planten dat ook doen. Daarentegen dienen wijnranken frequenter te worden bemest. Bemesting kan leiden tot afspoeling van nutriënten en daarmee tot een verslechtering van de waterkwaliteit van stedelijke wateren (Hop, 2009). Afvallend blad kan bovendien een belangrijke bron zijn van nutriënten en organisch materiaal (Hobbie et al., 2014). Organische belasting via bladinvall heeft een negatief effect op de waterkwaliteit (zie ook 'F1. Verkoeling door groen').



Figuur 34 Creëren van schaduw (bron: Nanda Sluijsmans).

Bijlage 5 Locatie van klimaatadaptatiemaatregelen

Dit hoofdstuk geeft een inzicht in de verdeling van op Climatescan (Climatescan.nl) geregistreerde klimaatadaptatiemaatregelen over de verschillen wijktypen in Nederland. Climatescan is een online interactieve citizen science database van nationale en internationale klimaatadaptatiemaatregelen en andere groen-blauwe infrastructuur. De gegevens worden sinds 2014 ingediend door vrijwilligers om kennis over groen-blauwe projecten uit te wisselen. Door het creëren van samenwerkingsnetwerken kan het platform helpen bij het mobiliseren van actie op het gebied van klimaatadaptatie (Kluck & Boogaard, 2021).

De Climatescan database laat zien dat het type klimaatadaptatiemaatregelen dat wordt toegepast wordt beïnvloed door de kenmerken van een gebied. Het ontwerp van wijken is vaak sterk gebonden aan de bouwperiode. Daardoor zijn er typerende eigenschappen van straten en wijken (bijvoorbeeld de grootte van woningen/tuinen, de ruimte voor openbaar groen of de breedte van een straat) die ook de mogelijkheden voor klimaatadaptatiemaatregelen bepalen (Kluck et al., 2017). Deze wijktypen zijn beschreven door Kleerekoper (2016) en Kluck & Boogaard (2021) (Tabel 1).

In de volgende sectie worden de op Climatescan geregistreerde klimaatadaptatiemaatregelen (groene daken, doorlatende verharding, wadi's, regentuinen ('raingardens'), wetlands, kolkloze wegen, waterpleinen, ondergrondse infiltratie en groene muren ('green walls')) geanalyseerd op basis van hun locatie in Nederland. Dit geeft een overzicht van welke maatregelen in welk wijktype zijn toegepast en of er een voorkeur is voor maatregelen in bepaalde gebieden. Maatregelen die niet zijn geregistreerd in de Climatescan database zijn niet meegenomen in de analyse.

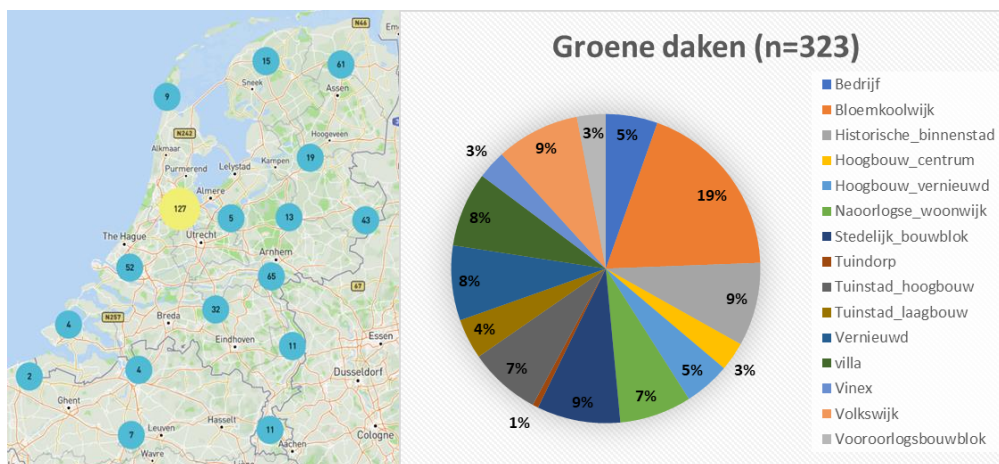
Tabel 1 Beschrijving van wijktypen (Kleerekoper, 2016; Kluck & Boogaard, 2021).

Wijktype	Periode	Beschrijving
Bedrijf	Van alle tijden	Bedrijvigheid
Bloemkoolwijk	1975-1980	Eengezinswoningen met voor- en achtertuin, kronkelende stratenpatronen, hofjes, brede groenstrook rondom de wijk
Historische binnenstad	Voor 1900	Veel verharding, 3-5 lagen, monumentaal groen
Hoogbouw centrum	1960-heden	Meer dan 10 lagen, gebouwen in grid
Hoogbouw vernieuwd	1990-heden	Vernieuwing bestaande bouw
Naoorlogse woonwijk	1940-1990	Voor- en achtertuin, 2-3 lagen, eengezinswoningen in rij, twee onder en kap of vrijstaand
Stedelijk bouwblok	Voor 1930	Geen voortuin of groenstrook, 4-5 lagen
Tuindorp	1910-1930	Ruime voor- en achtertuinen, 2-3 lagen, veel langsparkeren, jaren 30-bouwstijl, beperkt gemeentelijk groen, vaak geen straatbomen
Naoorlogse tuinstad hoogbouw	1950-1960	Open bouwblokken met veel groen, 4-6 lagen, appartementen, berging op begane grond
Naoorlogse tuinstad laagbouw	1945-1955	Open bouwblokken met veel groen, 2-3 lagen, eengezinswoningen

Vernieuwd	1990-heden	Vernieuwing bestaande bouw, veelal hoge dichtheden
Villa	Van alle tijden	Veel ruimte tussen woningen, losstaande huizen
Vinex (sub-urbane uitbreiding)	1990-2005	Eengezinswoningen in rij, tee onder een kap, vrijstaand, appartementen
Volkswijk	1930-1340	Geen voortuin, weinig gemeentelijk groen, 2-3 lagen, eengezinswoningen
Vooroorlogse bouwblok	1900-1940	Niet altijd voortuin, 3-4 lagen, bredere straten dan stedelijke bouwblok en soms groenstrook

Groene Daken

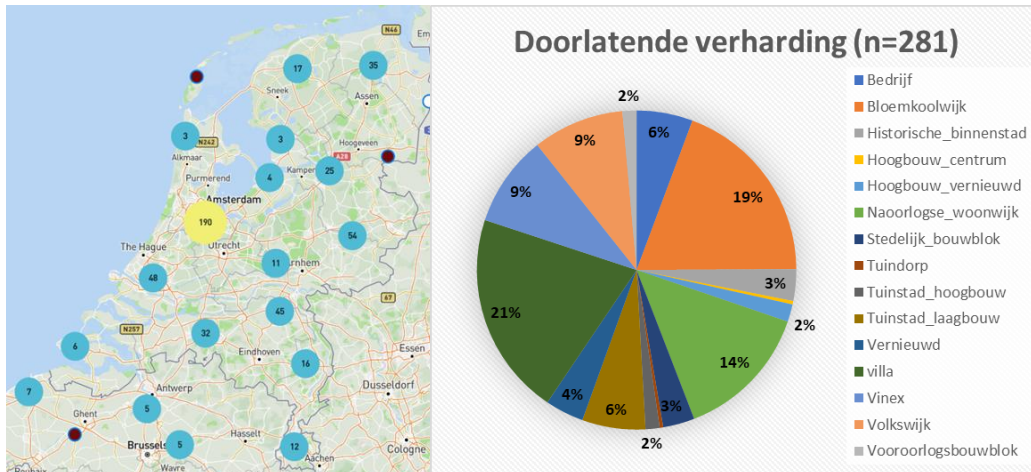
Climatescan bevat 467 voorbeelden (status augustus 2022) van groene daken in Nederland; voor 323 daarvan is informatie beschikbaar over het wijktype waarin ze zijn aangelegd (Figuur 1). Groene daken komen het meest voor in bloemkoolwijken; 19% van de voorbeelden ligt in dit type wijk (Figuur 1). Het aandeel van groene daken dat voorkomt in de andere wijktypen is relatief gelijkmatig verdeeld tussen de 5% en 9%. Alleen in tuindorps zijn ze wat minder te vinden.



Figuur 1 Links: Voorbeelden van groene daken op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-4>) (08.2022). Rechts: Verdeling van groene daken over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Doorlatende verharding

Climatescan bevat 503 (status augustus 2022) voorbeelden van doorlatende verhardingen, waaronder waterpasserende verharding en doorgroeibare verharding. Voor 281 voorbeelden is het wijktype geïdentificeerd (Kluck en Boogaard, 2021) op basis van hun locatie (Figuur 2). Meer dan 50% van de doorlatende verhardingen op Climatescan liggen in drie ruimere en nieuwere wijktypen: villawijken (21%), bloemkoolwijken (19%) en naoorlogse woonwijken (14%), zie Figuur 2. Doorlatende verhardingen zijn ook aanwezig in dicht bewoonde gebieden zoals volkswijken en de historische binnenstad, maar duidelijk minder. Dit toont aan dat in elk wijktype doorlatende verhardingen worden toegepast, maar vooral in ruime wijken gebouwd na 1970, zoals al gezien in de analyse van Kluck en Boogaard (2021). Een belangrijke beperkende factor voor de aanleg van doorlatende verhardingen is de intensiteit van het verkeer op de wegen omdat doorlatende verhardingen minder belastbaar zijn dan andere vormen van bestrating (Boogaard, 2021).



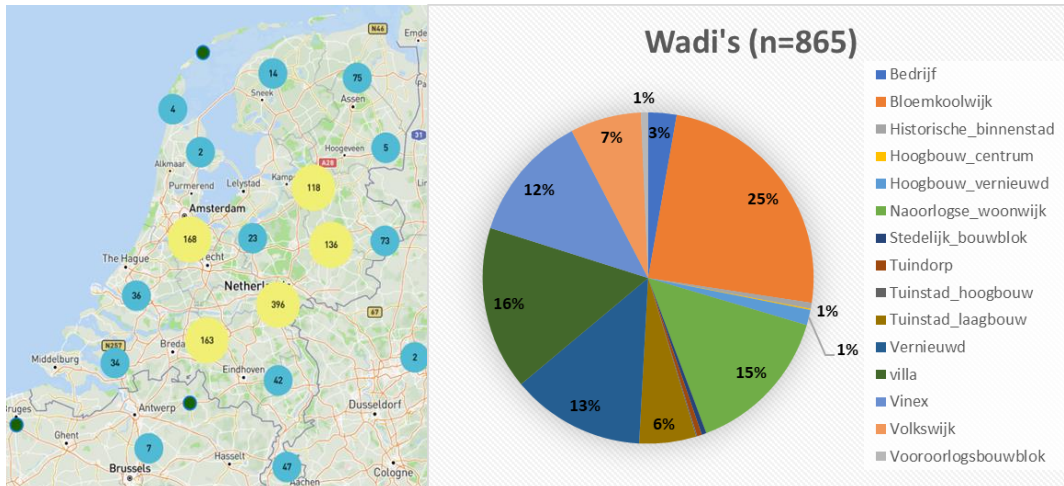
Figuur 2 Links: Voorbeelden van doorlatende verharding op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-3>) (08.2022). Rechts: Verdeling van doorlatende verharding over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Wadi's

Climatescan bevat 1336 (status augustus 2022) voorbeelden van wadi's. Voor 865 voorbeelden is het wijktype geïdentificeerd door Boogaard (2021). De meeste wadi's die op Climatescan geregistreerd zijn komen voor in het oosten van Nederland (Figuur 3). Door de lagere grondwaterstanden en hogere doorlatendheid van de bodem is deze regio het meest geschikt voor wadi's. Er zijn echter ook wadi's in de polders van laag Nederland, waar de grondwaterstanden hoger en de doorlatendheid van de bodem lager zijn; wadi's kunnen dus voor elk gebied een oplossing bieden (Boogaard, 2021).

Figuur 3 laat zien dat wadi's in elk wijktype voorkomen, maar er zijn wijken waar ze vaker voorkomen: bloemkoolwijken (25%), villawijken (16%), naoorlogse- (15%) en vernieuwingswijken (13%). Deze wijken zijn gebouwd na 1970 en relatief groen (Boogaard, 2021). Doordat dat deze wijken vaak al relatief groen zijn, is het makkelijker om van deze groene plekken wadi's te maken. Daarom zijn wadi's ook minder vaak in stadscentra te vinden; het is lastiger om de verharding om te zetten naar groen (Boogaard, 2021).

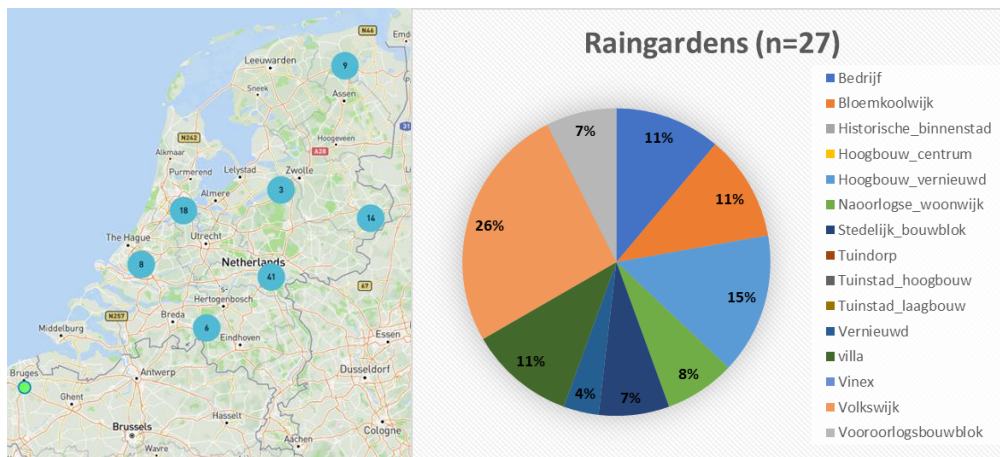
Bedrijventerreinen bieden goede omstandigheden voor wadi's omdat er grote verharde oppervlakken zijn die je van het riool kunt afkoppelen. Daarnaast zijn er ook minder discussies met grondeigenaren dan in woonwijken (Boogaard, 2021). Maar ook in stadscentra zijn tegenwoordig vaker wadi's te vinden. In principe is het mogelijk om elk groengebied tot een wadi te transformeren, zoals een raingarden met natuurvriendelijke begroeiing (Boogaard, 2021).



Figuur 3 Links: Voorbeelden van wadi's in Nederland op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-1>) (08.2022). Rechts: Verdeling van wadi's over de wijktypen in Nederland (Boogaard (2021), geüpdatet (06.2022)).

Raingardens (regentuin)

Climatescan bevat 99 voorbeelden van raingardens in Nederland (status augustus 2022). Voor 27 voorbeelden is het wijktype geïdentificeerd (Figuur 4). Figuur 4 laat zien dat ongeveer een kwart van de raingardens in bloemkoolwijken te vinden zijn. Anders dan bij wadi's is een groot deel ook te vinden in dichte, meer stedelijke gebieden. Dat komt doordat ze relatief weinig ruimte innemen (Boogaard, 2022). Raingardens zijn ook populair omdat ze een privétuin kunnen verlengen, hoewel ze meestal op gemeentegrond liggen, en omdat ze vaak met een bloemrijke beplanting het stadsbeeldverfraaien (Boogaard, 2022).

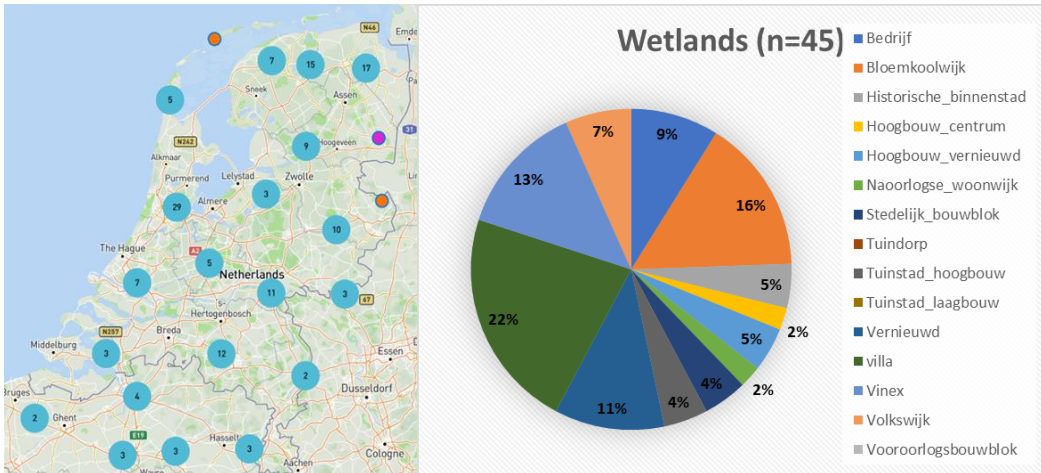


Figuur 4 Voorbeelden van raingardens in Nederland op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-65>) (08.2022). Verdeling van raingardens over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Wetlands

De 149 voorbeelden van wetlands op Climatescan (status augustus 2022) zijn redelijk gelijkmatig verdeeld over Nederland (Figuur 5). De analyse van 45 naar wijktype geclusterde voorbeelden laat zien dat meer dan 50% van de wetlands voorkomt in vernieuwde woonwijken, villawijken en bloemkoolwijken die na 1970 zijn gebouwd (Figuur 5). Deze wijktypen zijn geschikter voor wetlands

dan andere wijktypen omdat ze meer openbare buitenruimte beschikbaar hebben. In druk, stedelijk gebied zijn ze ook te vinden maar minder vaak.

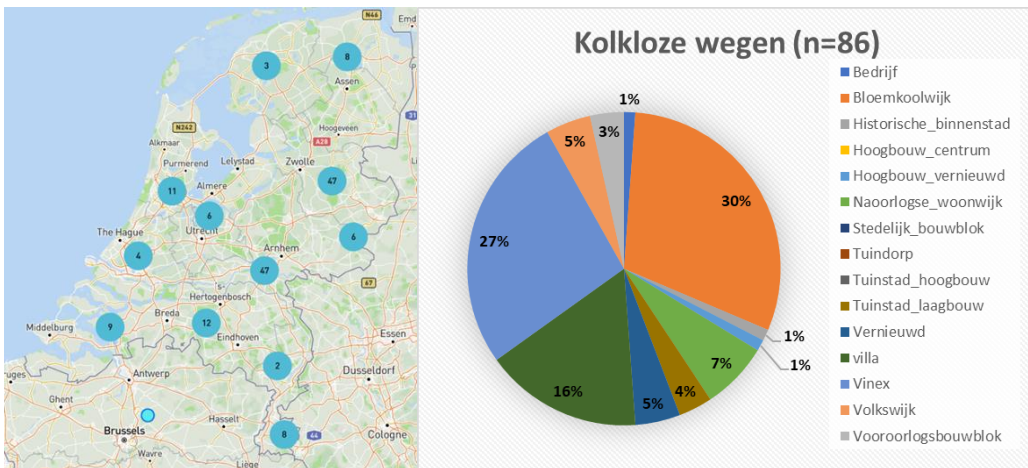


Figuur 5

5 Voorbeelden van Helofytenvelden in Nederland op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-9>). Verdeling van wetlands over de wijktypen in Nederland (Boogaard et al., in prep.)

Kolkloze wegen

Op Climatescan zijn 163 voorbeelden van kolkloze wegen geregistreerd (status augustus 2022) en voor 86 daarvan is het wijktipe geanalyseerd (Figuur 6). Het voorkomen van kolkloze wegen op Climatescan.nl is relatief gelijkmatig verdeeld in Nederland (Figuur 6). Kolkloze wegen zijn meestal in nieuwere woonwijken aanwezig zoals bloemkoolwijken (30%), Vinex wijken (27%) en villawijken (16%), zie Figuur 6. In de historische binnenstad, in hoogbouw, bedrijven en vooroorlogse woonwijken komen ze bijna nooit voor. Dat laat zien dat kolkloze wegen vaker in minder druk en ruimere gebieden aangelegd worden.

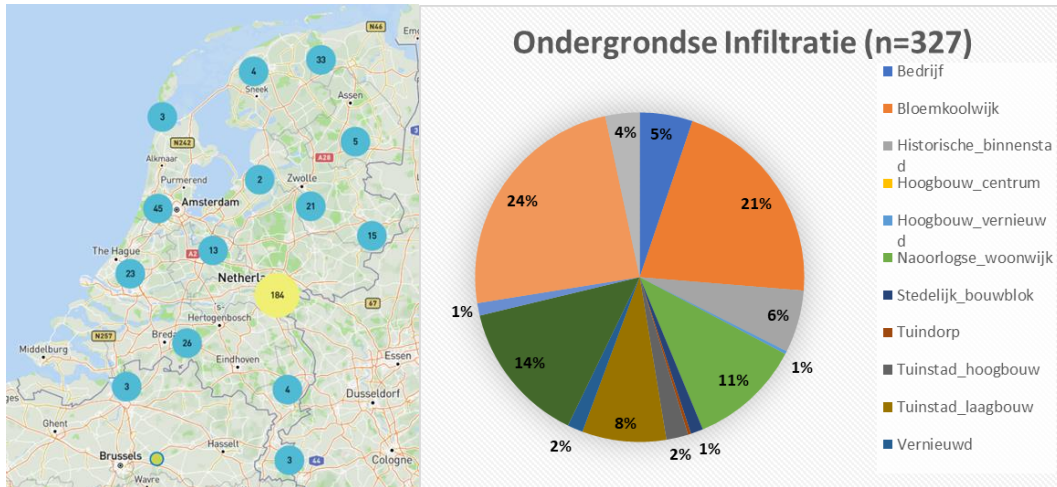


Figuur 6 Links: Voorbeelden van kolkloze wegen in Nederland op Climatescan <https://www.climatescan.nl/#filter-1-6> (08.2022). Rechts: Verdeling van kolkloze wegen over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Ondergrondse infiltratie

Op Climatescan zijn 381 voorbeelden van ondergrondse filtratie te vinden (status augustus 2022), en voor 327 daarvan is het wijktipe geïdentificeerd (Figuur 7). Er zijn in verschillende delen van

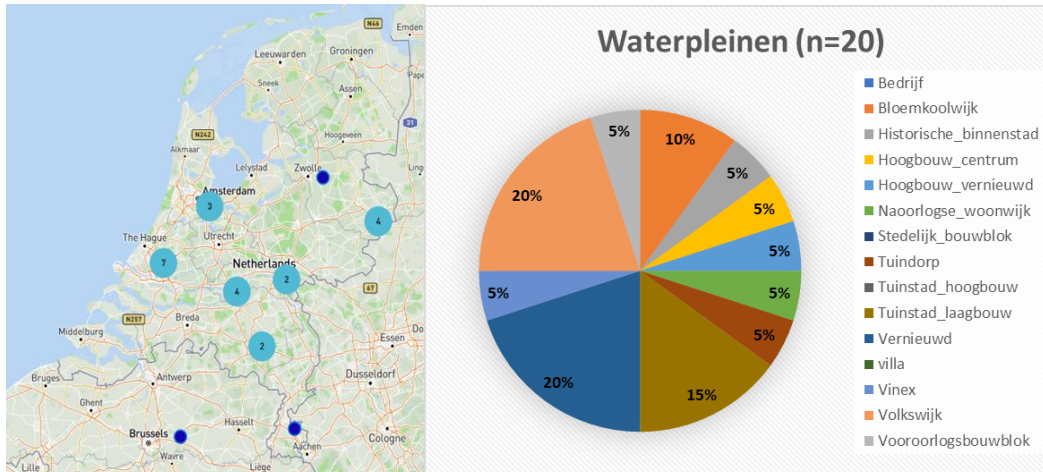
Nederland voorbeelden van ondergrondse infiltratie te vinden, maar vooral in de buurt van Nijmegen (Figuur 7). Voorbeelden op Climatescan zijn onder andere poreuze betonnen infiltratieleidingen, verticale infiltratie en het afkoppelen van het regenwaterriool. In Figuur 7 toont dat ondergrondse infiltratievoorzieningen vaak in bloemkoolwijken (24%) en volkswijken (21%) toegepast worden. Een kwart van ondergrondse infiltratie op Climatescan zijn in villawijken (14%) en naoorlogse woonwijken (11%) aanwezig. Opvallend is dat ondergrondse infiltratievoorzieningen net als groene daken en green walls wat vaker in de historische stadcentra voor komen dan andere maatregelen omdat ze niet zo veel ruimte nodig hebben.



Figuur 7 Links: Voorbeelden van ondergrondse infiltratie op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-5>) (08.2022). Rechts: Verdeling van ondergrondse infiltratie over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Waterpleinen

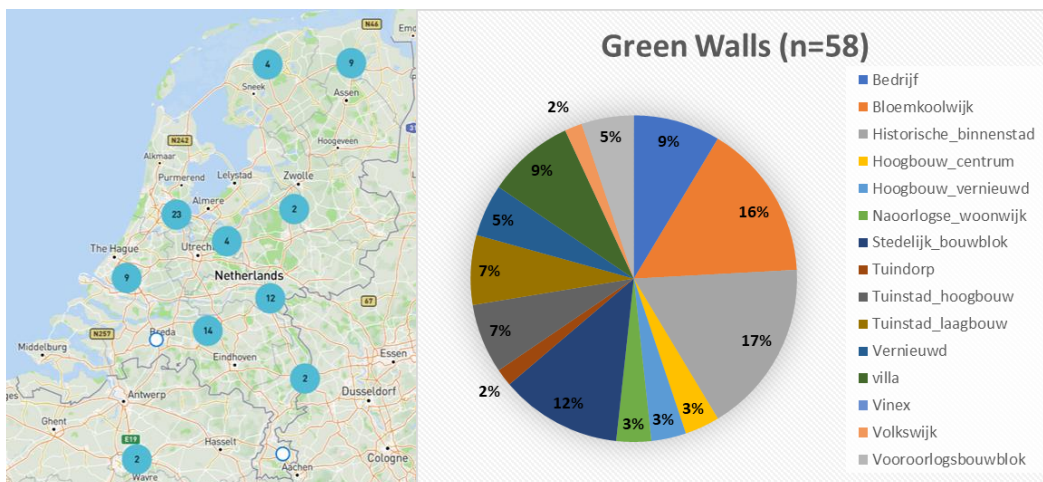
Er zijn 24 voorbeelden van waterpleinen op Climatescan geregistreerd (status augustus 2022), waarvan voor 20 voorbeelden het wijktype is geanalyseerd (Figuur 8). Waterpleinen komen volgens Climatescan niet vaak voor. In het noorden van Nederland en in Zeeland zijn geen voorbeelden geregistreerd (Figuur 8). De meeste waterpleinen zijn aangelegd in vernieuwde wijken (20%), volkswijken (20%) en tuinsteden (laagbouw 15%, hoogbouw 5%) (Figuur 8). Er zijn geen voorbeelden geregistreerd in villawijken en stedelijke bouwblokken. De reden ervoor kan zijn dat ze veel ruimte vragen of omdat in deze wijktypen minder pleinen voorkomen.



Figuur 8 Links: Voorbeelden van waterpleinen in Nederland op Climatescan (<https://climatescan.nl/#filter-1-40>) (08.2022). Rechts: Verdeling van waterpleinen over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Green Walls

Op Climatescan zijn 81 voorbeelden van green walls te vinden (status augustus 2022) en van 58 is het wijktype bekend (Figuur 9). Ruim een derde van de green walls op Climatescan zijn aanwezig in dikkere, stedelijke gebieden zoals de historische binnenstad (17%), stedelijke bouwblokken (12%) en bedrijventerreinen (9%) (Figuur 9). Maar ze zijn ook vaak in bloemkoolwijken (16%) en villawijken (9%) te vinden. Green walls kunnen overall worden geïnstalleerd, maar zijn vooral interessant voor gebieden met wat minder ruimte.



Figuur 9 Links: Voorbeelden van green walls in Nederland op Climatescan (<https://www.climatescan.nl/#filter-1-149>) (08.2022). Rechts: Verdeling van green walls over de wijktypen in Nederland (06.2022).

Conclusie en discussie

Uit de resultaten van de analyse is gebleken dat maatregelen die relatief weinig ruimte vragen, zoals groene daken, groene muren ('green walls'), regentuinen ('rain gardens') en ondergrondse infiltratie, vaker in drukke stadcentra en vooroorlogse bouwblokken te vinden zijn. Maatregelen die meer ruimte vragen, bijvoorbeeld doorlatende verhardingen, kolkloze wegen en wadi's, worden meestal toegepast in ruimer opgezette woonwijken, zoals naoorlogse tuinsteden of bloemkoolwijken. In

industriële gebieden zijn zowel maatregelen toegepast die wat minder ruimte vragen (groene daken, ondergrondse infiltratie), als ook maatregelen die meer ruimte vragen (wadi's, doorlatende verharding).

De wijken binnen dezelfde typologie bieden gelijksoortige kansen voor klimaatadaptatie-maatregelen (Kluck et al., 2017). Toch laat de analyse zien dat elke maatregel in elke wijk kan voorkomen als de omstandigheden, zoals voldoende ruimtebeschikbaarheid, helling van het gebied, bodemsoort en grondwaterstand, er geschikt voor zijn.

Het vaakst zijn voorbeelden van wadi's, groene daken, ondergrondse infiltratie en doorlatende verharding op Climatescan geregistreerd. Doordat de gegevens op Climatescan door vrijwilligers worden geüpload, geeft de database mogelijk geen representatief beeld van de verdeling van alle klimaatadaptatiemaatregelen in Nederland. Sommige gebieden hebben meer actieve leden die een groot aantal maatregelen registreren, terwijl er in andere regio's minder actieve leden zijn. Daardoor kan ook de verdeling over de wijktypen worden beïnvloed (Restemeyer & Boogaard, 2021). Ook het detailniveau van geregistreerde maatregelen varieert.

Bijlage 6 Kwantitatief effect van klimaatadaptatiematregelen op waterkwaliteit

Tabel 1 geeft een overzicht van mogelijke effecten van de klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit. De klimaatadaptatieregelen en hun *kwantitatieve* effecten zijn verder in Bijlage 4 beschreven. De tabel geeft aanvullende informatie over de *kwantitatieve* effecten van de maatregelen op de waterkwaliteit in de vorm van zuiveringsrendementen. De rendementen zijn geclusterd in drie indicatoren: nutriënten, geabsorbeerde verontreinigingen (zoals zware metalen) en pathogenen. De rendementen zijn gebaseerd op expert judgement van waarden uit literatuur voor de KBS toolbox ([Klimaatbestendige Stad Toolbox \(kbstoolbox.nl\)](https://kbstoolbox.nl)) (Langeveld et al., 2012; Boogaard, 2015; Geisler and Barjenbruch, 2015, Van den Ven et al., 2016). Verder laat de tabel de relatie tussen de effecten en stuurvariabelen zien en worden suggesties gedaan voor mogelijke oplossingen om de negatieve effecten te beperken en positieve effecten te maximaliseren.

De tabel laat zien dat bijna alle maatregelen een positief effect op de waterkwaliteit kunnen hebben. Een uitzondering zijn groene daken (Categorie A), welke door bemesting de hoeveelheid aan nutriënten (voedselrijkdom) in het afspoelend water kunnen verhogen (10-20%). Dit is vaak een probleem van nieuwere daken, dus is deze invloed afhankelijk van de leeftijd van het dak en de aanleg (STOWA, 2015). Als de juiste keuze voor planten is gemaakt en de daken goed worden onderhouden, kunnen ze ook een zuiverend effect hebben en tot 90% van pathogenen en verontreinigingen absorberen (Tabel 1). Er zijn aanbevelingen voor de aanleg en het onderhoud van groene daken van de STOWA (2015) om het best mogelijke effect te bereiken.

Het vervangen of verwijderen van verhard oppervlak (Categorie B) kan bij goed aanleg en onderhoud 60 tot 90% nutriënten, pathogenen en verontreinigingen verwijderen (Tabel 1), omdat ze het afstromend regenwater door bezinking en filtratie kunnen zuiveren. Ondanks de mogelijke positieve invloed van deze maatregelen kunnen ze ook verontreinigingen door afspoelingen van verhard oppervlak, vervuild water of uitwerpsels van dieren en ziekteverwekkers bevatten. Groene maatregelen kunnen door bladinvall en bemesting het gehalte aan nutriënten verhogen. Daarom is een goed ontwerp met de juiste materiaalkeuze/beplanting net zoals een regelmatig beheer zeer belangrijk om de negatieve effecten te voorkomen. Er zijn aanbevelingen voor het ontwerp, aanleg en onderhoud van ondergrondse infiltratievoorzieningen (Boogaard en Wentink, 2011), wadi's (Boogaard en Wentink, 2005; RIONED, 2006) en in het algemeen voor maatregelen voor het infiltreren van hemelwater (OSKA, 2020). Bij de aanleg van waterdoorlatende of -passerende verhardingen kan de reductie van verontreinigingen tussen 80 tot 90% liggen. Ook hier hangt het succes van een maatregel sterk van het onderhoud en aanleg af. Er zijn normen voor de aanleg van waterdoorlatende betonbestrating en grasbetontegels gepubliceerd door KIWA (2021). FEBESTRAL (2022) geeft een overzicht over aanleg, onderhoud en technische voorschriften van waterdoorlatende verhardingen in België.

Maatregelen om op kleinere schaal water te bergen, bijvoorbeeld een regenton of verlaging van het maaiveld in de tuin, kunnen ook tussen 20 tot 75% van verontreinigen verwijderen (Categorie C). Tips voor een effectieve aanleg zijn gepubliceerd door RIONED en STOWA (2009) en op de website van Milieu Centraal te vinden (<https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/klimaatadaptatie/#Wat-kun-je-zelf-doen>).

Het creëren van extra oppervlaktewater (Categorie E) in stedelijke gebieden kan tot 20% nutriënten, 60-80% geabsorbeerde verontreinigingen en tot 50% pathogenen verwijderen (Tabel 1). Bij dit soort maatregelen zijn de juiste aanleg en beheer belangrijk, zoals voldoende waterdiepte en het voorkomen van eutrofiering. Richtlijnen voor de aanleg en het beheer van helofytenfilters zijn gepubliceerd door RIONED (2008).

Primaire warmte verlagende maatregelen (Categorie F) hebben beperkt invloed op de waterkwaliteit als ze überhaupt meetbaar zijn (Tabel 1). De aanleg van groen kan 5% van nutriënten, 10% van geabsorbeerde verontreinigingen en geen pathogenen verwijderen (Tabel 1). Hier moet zoals bij elke groene maatregel op bladval, bemesting en verontreinigen veroorzaakt door dieren (honden, vogels) worden gelet.

Geen meetbaar kwantitatief effect op de waterkwaliteit hebben voorzieningen zoals verlaagde terrassen, blauwe daken en waterberging op verhard oppervlak (holle/schuine wegen, waterpleinen). Toch wordt verwacht dat ze indirect een positieve invloed op de waterkwaliteit kunnen hebben omdat ze voor minder wateroverlast zorgen en daardoor mogelijk rioolwateroverstortingen voorkomen (Tabel 1). Er zijn geen data beschikbaar in de KBS toolbox voor de kwantitatieve effecten op waterkwaliteit van natuurvriendelijke oevers, het planten van enkele (droogtetolerante) bomen, het gebruik van koele materialen en het creëren van schaduw (Tabel 1). Het effect kan ook hier indirect positief zijn door het verkoelen van de omgeving en daardoor verlagen van de watertemperatuur of de zuiverende functie van beplanting.

Geconcludeerd wordt dat bijna elke klimaatadaptatiemaatregel bij een goed ontwerp, aanleg en beheer een positief effect op de waterkwaliteit kan hebben. Een uitdaging voor de kwantificering van de effecten op de waterkwaliteit is dat zij sterk afhankelijk zijn van de locatie, ontwerp, geohydrologie, soort verontreiniging, externe omstandigheden zoals weer, en beheer en onderhoud. De indicatieve rendementen in Tabel 1 zijn gebaseerd op beoordelingen van cijfers in literatuur door experts. De tabel laat zien welke effecten de maatregelen in het beste geval kunnen hebben, wat betekent wanneer de maatregelen op de juiste manier worden aangelegd en dat ze goed worden onderhouden. De realiteit laat zien dat dit vaak niet het geval is. Oorzaken van gebrekkige ontwerpen, aanleg en onderhoud zijn bijvoorbeeld gebrek aan kennis en ervaring, onvoldoende capaciteit voor het beheer of het ontbreken van normen voor de juiste aanleg (Water Europe, 2022; Vollaers et al., 2021). Fout aangelegde maatregelen kunnen een beperkt positief of zelfs een negatief effect op de waterkwaliteit hebben. Daarom is het belangrijk om op de stuurvariabelen te letten; vooral bemesting, bladval en de afspoeling van verontreinigingen/nutriënten. Door het delen van ervaringen en tips, maar ook het ontwikkelen van normen kunnen klimaatadaptatiemaatregelen juist aangelegd en beheerd worden en een positieve invloed op de waterkwaliteit in stedelijke gebieden hebben

Tabel 1 Positieve (wenselijke) en negatieve (onwenselijke) effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op waterkwaliteit in geval van hoogwaardig ontwerp, aanleg en beheer. Voor negatieve effecten wordt vermeld welke stuurvariabelen leiden tot het effect en welke oplossingen kunnen worden ingezet om negatieve effecten te mitigeren. Zuiveringsrendement %: het zuiveringsrendement (positieve getallen) of de toename van verontreiniging in water (negatief rendement) als gevolg van de maatregel.

Categorie	Maatregel	Effecten op waterkwaliteit								
		Positief	Negatief				Zuiveringsrendement %			
			Indicator	Stuurvariabel(en)	Mogelijk negatieve effecten	Afhankelijkheid	Oplossing	Nutriënten	Geabsorbeerde verontreiniging	Pathogenen
A) Dakbedekking vervangen door groen	A1 - Dakbedekking vervangen door groen:	Minder rioolwater-overstortingen, afname verontreinigen via riooloverstorten, zuivering van afstromend water, afname van afspoeling van verhard oppervlak, verlaging luchttemperatuur, weerstand door krappe duikers	Voedselrijkdom	Bemesting	Toename nutriënten (vooral door bemesting en substraat van nieuwe daken)	Samenstelling van substraatlaag en planten, leeftijd van het dak (meer bemesting van nieuwe daken), waterbergende capaciteit, aanleg en onderhoud	Juiste keuze planten voor zuivering van nutriënten en duurzame bemesting (afgestemd op vegetatie), hoge waterbergende capaciteit			
	Groen dak (extensief)							-10	90	90
	Groen dak (intensief)							-20	90	90
	Groen dak met afvoervertraging (polderdak)							90	93	95
B) Verhard oppervlak vervangen of verwijderen	B1 - Vervangen door groen:	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, zuivering afstromend water door bezinking en infiltratie, verlaging luchttemperatuur, toename openheid verhard oppervlak	Voedselrijkdom, verontreiniging, zuurstofgehalte	Bemesting, onkruidbestrijding smiddelen, organische belasting via bladinal, afspoeling verhard oppervlak	Toename nutriënten	Bladinal, bemesting, onderhoud	Verwijderen bladeren, duurzaam/niet bemesten			
	Tegels eruit/groen erin							80	90	90
	B2 - Doorlatende verhardingen:							Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, zuivering afstromend water door bezinking en infiltratie, toename openheid verhard oppervlak	Verontreiniging	Afspoeling verhard oppervlak, infiltratie vervuild water, openheid verhard oppervlak
Waterdoorlatende/-passerende verharding	80	90	90							
	Waterbergende (doorlatende) verharding							60	90	90

					sel uit bufferlaag kan door zware belasting infiltreren					
	B3 - Infiltratievoorzieningen	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, zuivering afstromend water door bezinking en infiltratie, verlaging luchttemperatuur, afname weerstand door krappe duikers, toename openheid verhard oppervlak	Verontreiniging, zuurstofgehalte	Afspoeling verhard oppervlak, infiltratie vervuild water, afspoeling hondenpoep, organische belasting via vogelpoep, voedselrijkdom bodem (type)	Toename ziekteverwekkers door toename dieren en recreanten, verhoogde concentraties zware metalen en PAK's in bodem van wadi's	Soort beplanting, aanleg en onderhoud, uitwerpsels van honden, gebruik als recreatieplek	Juiste beplanting, regelmatig onderhoud, geen honden uitlaten, niet als recreatieplek gebruiken			
	Wadi (met drain)							80	90	90
	Infiltratieveld of strook (met opslag)							80	90	90
	Regentuin (raingarden)							80	90	90
C) Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan infiltreren	Water 'technisch vasthouden' of afkoppelen en dan infiltreren	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, zuivering afstromend water door bezinking en infiltratie, afname weerstand door krappe duikers	Verontreiniging, zuurstofgehalte	Afspoeling verhard oppervlak, infiltratie vervuild water van verhard oppervlak	Verontreinigen in afspoeling, microbiologische risico's door stilstaand water door fouten bij aanleg en onderhoud	Foutaansluitingen, filtersysteem, aanleg en onderhoud	Foutaansluitingen voorkomen, filtersysteem installeren			
	regenton/ regentank							60	72	75
	Verlaagd terras							0	0	0
	Verlaagde tuin(deel)							20	60	50
	Greppel							20	60	50
	Grindkoffer							40	60	50
	Drainage-Infiltratie-Transport (DIT)riolen							80	90	90
	Diepe grondwaterinfiltratie							80	90	90
D) Water 'technisch' vasthouden of afkoppelen en dan afvoeren	D1 - Waterberging op daken	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, afname luchttemperatuur,	Doorstroming, verontreiniging		Verontreinigen door atmosferische depositie, organisch	Ontwerp van het waterdak (beplanting, helling, lengte), verblijftijd water, omgeving, aanleg en onderhoud	Juiste dakmateriaal, water mag niet te lang stilstaan			
	Water (Blauw) dak							0	0	0

		afname weerstand door krappe duikers			materiaal, habitat voor muggen					
	D2 - Waterberging op verhard oppervlak	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, afname weerstand door krappe duiker	Verontreiniging, doorstroming	Afspoeling verhard oppervlak, infiltratie van verhard oppervlak, organische belasting via bladinal, vogelpoep, hondenpoep	Vervuiling door sediment, bladeren, uitwerpsels van daken/wegen ook naar wegpompen van water, gezondheidsrisico's	Bladinal, aantal vogels, honden, vervuiling oppervlak, aanleg en onderhoud	Reiniging sediment, bladeren			
	Holle/schuine weg							0	0	0
	Waterplein							0	0	0
	D3 - Ondergrondse waterberging	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten				Aanleg en onderhoud	Regelmatige onderhoud			
	Bergingsbassin regenwater (ook bbb)	Bezinking van slib (minder afspoeling van verontreinigingen naar oppervlaktewater), minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten						20	50	40
	Infiltratiekragen	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten						80	90	90
	Regenwaterberging onder gebouw	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, afname weerstand door krappe duikers, afname afspoeling van verhard oppervlak						60	75	75

E) Oppervlaktewater creëren	E1 - Oppervlaktewater creëren	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, verlaging luchttemperatuur, afname weerstand door krappe duiker	Watertemperatuur, doorstroming	Diepte water, watervogels, hondenpoep, brood voor vogels en vissen, temperatuur (wateren warmen sneller op), slibdikte	Verdieping : gemiddelde temperatuur van water kan stijgen	Aantal vogels en honden, ontwerp, onderhoud en beheer	Regelmatig onderhoud			
	Extra oppervlaktewater	Verdieping: minder opwarming, verlaging luchttemperatuur, afname organisch belasting via riooloverstorten, verdieping: minder opwarming, verlaging luchttemperatuur						20	80	50
	Extra berghoogte (in opp. water)							20	60	50
	Bergingsvijver	Minder riooloverstorten, afname organisch belasting via riooloverstorten, afname weerstand door krappe duikers, afname van afspoeling van verhard oppervlak						20	80	50
E2 - Vergroenen van stedelijke gebied	E2 - Vergroenen van stedelijke gebied	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, verlaging luchttemperatuur	Watertemperatuur, doorstroming, voedselrijkdom	Diepte water, afspoeling vogelpoep, hondenpoep, brood voor vogels en vissen, temperatuur (wateren warmen sneller op)	Toename nutriënten door afstervende planten, watervogels, honden	Soort moerasplanten, maaibeheer, aantal vogels, honden, aanleg en onderhoud	Regelmatig onderhoud			
	Urban wetland / helofytenfilter	Minder rioolwater-overstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, zuivering vervuild water, meer schaduw, minder invloed van						60	72	75

		wind en zon, verlaging luchttemperatuur								
	Natuurvriendelijke oevers	Waterafvoerende en bergende effect, minder rioolwateroverstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, verlaging luchttemperatuur, afname weerstand door krappe duikers						gd	gd	gd
F) Primair warmte verlagende maatregelen	F1 - Verkoeling door groen	Minder rioolwateroverstortingen, afname organisch belasting via riooloverstorten, zuivering van verontreinigd water, sediment en nutriënten door wortelstelsel, schaduw verbetert waterkwaliteit door lagere watertemperatuur, verlaging luchttemperatuur	Voedselrijkdom, verontreiniging	Bemesting	Toename nutriënten door bladinal, bemesting	Hoeveelheid organisch substraat, frequentie van bemesting, kwaliteit irrigatiewater	Discontinue bemesting, verwijderen bladeren, weinig invloed/continue voeding wel (verhoging conductiviteit)			
	Verticale vegetatie (groene gevels, living walls)		5	10	0					
	Bomen planten		gd	gd	gd					
	Bomenlanen		5	10	0					
	Stadsbos		5	10	0					
	Droogtetolerante bomen	gd	gd	gd						
F2 - Verkoeling door koele materialen	Indirect positief: verlaging	Verontreiniging	Afspoeling van verhard oppervlak	Beperkte temperatu	Schaal van aanleg	Grootschalige aanleg voor				

	Koele materialen (hoog albedo)	luchttemperatuur en daardoor verlaagd watertemperatuur			ur uitwisseling tussen water/lucht in kleinere stedelijke wateren (kleine oppervlak & volumen)		effect op watertemperatuur	gd	gd	gd
	F3 - Verkoeling door water	Verhogen van zuurstof door het inbrengen van luchtbelletjes	Verontreiniging		Gevaar voor mensen bij verontreinigingen/ziekteverwekkers	Locatie van fontein (verontreinigd water met blauwalgen of overstortwateren), aanleg en onderhoud	Regelmatig onderhoud			
	Fontein/watermuur							0	0	0
	F4 - Verkoeling door schaduw	indirect positief: verlaging luchttemperatuur en daardoor verlaagd watertemperatuur	Pergola's: voedselrijkdom	Pergola's: Bemesting, bladinvall	Parasols geen invloed, groene pergola's: plantenkeuze, bemesting (meer nutriënten)	Plantenkeuze, bemesting	Juiste keuze vegetatie, duurzame/geen bemesting, verwijderen bladeren			
	Creëren van schaduw							gd	gd	gd

gd = geen data