



Hogeschool van Amsterdam

Jeroen Kluck
Laura Kleerekoper
Lisette Klok
Ronald Loeve
Wiebe Bakker
Floris Boogaard



ONDERZOEKSPROGRAMMA URBAN TECHNOLOGY
DE KLIMAATBESTENDIGE WIJK
ONDERZOEK VOOR DE PRAKTIJK

DE KLIMAATBESTENDIGE WIJK

In deze reeks
verschenen
eerder:



01 Vertical farming
*Technologie en innovatie-
richtingen voor de toekomst*



02 Duurzaam bewaren
*Simulatiemodel en technolo-
gieën voor energiesbesparing*



03 Extreme neerslag
*Anticiperen op extreme
neerslag in de stad*



04 Beter beheer met BIM
*Van informatiemodel naar
informatiemanagement*



05 Het stedenbouwkundig
bureau van de toekomst
Spin in het web



06 (Terug)schakelen
naar ketendenken
*Innovaties realiseren bij
logistiek MKB in mainports*



07 Maintaining your
competitive edge
*Planesense process improve-
ment in aviation maintenance*



08 Biobased plastic
*Unieke eigenschappen en
inspirerende toepassings-
mogelijkheden*



09 Greening the cloud

PUBLICATIREEKS HVA FACULTEIT TECHNIEK

In deze publicatiereeks bundelt faculteit Techniek van de Hogeschool van Amsterdam de resultaten van praktijkgericht onderzoek. De publicaties zijn gericht op professionals en ontsluit kennis en expertise die via praktijkgericht onderzoek van de HvA in de metropoolregio Amsterdam wordt verkregen. Deze publicatiereeks geeft de lezer handvatten om tot verbetering en innovatie in de technische beroepspraktijk te komen.

Faculteit Techniek

Faculteit Techniek van de Hogeschool van Amsterdam is de grootste technische hbo instelling van Nederland. De faculteit bestaat uit acht technische opleidingen met gevarieerde leerroutes en afstudeerrichtingen. Het palet aan opleidingen is zeer divers, van Engineering tot Logistiek, van Civiele Techniek tot Forensisch Onderzoek en van Maritiem Officier tot Aviation.

Onderzoek bij faculteit Techniek

Onderzoek heeft een centrale plek bij faculteit Techniek. Dit onderzoek is geworteld in de beroepspraktijk en draagt bij aan de continue verbetering van de kwaliteit van het onderwijs en aan praktijkinnovaties. Het praktijkgericht onderzoek van de HvA heeft drie functies:

- Het ontwikkelen van kennis
- Innovatie van de beroepspraktijk en samenleving
- Vernieuwing van het onderwijs

Faculteit Techniek kent 3 onderzoeksprogramma's die alle nauw gekoppeld zijn aan een deel van de opleidingen. De programma's zijn:

1. Aviation
2. Forensisch Onderzoek
3. Urban Technology

Redactie

De publicatiereeks is uitgegeven door faculteit Techniek van de HvA. De redactieraad bestaat uit lectoren van deze faculteit. Iedere publicatie kent eigen auteurs bestaand uit HvA medewerkers, soms aangevuld met vertegenwoordigers van bedrijven en andere kennisinstellingen.

COLOFON

Uitgave:

Onderzoeksprogramma Urban Technology
Faculteit Techniek, Hogeschool van Amsterdam

Auteurs:

dr. ir. Jeroen Kluck
dr. ir. Lisette Klok
dr. ir. Laura Kleerekoper
ir. Ronald Loeve
ir. Wiebe Bakker
dr. ir. Floris Boogaard

Samenwerking:

Deze publicatie is het resultaat van het praktijkgerichte onderzoeksproject 'De klimaatbestendige stad: Inrichting in de praktijk', uitgevoerd door een consortium van gemeenten en kennisinstellingen. Aan dit project werkten in consortiumverband mee: gemeente Amsterdam – Zuidas (Gregor van Lit), gemeente Eindhoven (Luuk Postmes), gemeente Hoogeveen (Thomas Klomp), gemeente Houten (Marco Harms), Ingenieursbureau Amsterdam (Jasper Passtoors, Teun Timmermans), Waternet (Eljakim Koopman, Kasper Spaan), Hanzehogeschool Groningen (Floris Boogaard, Olof Akkerman, Jonathan Tipping) en de Hogeschool van Amsterdam (Jeroen Kluck, Wiebe Bakker, Laura Kleerekoper, Lisette Klok en Ronald Loeve).

Financiering:

Dit onderzoek is medegefinancierd door Regieorgaan SIA, onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Contact:

dr. ir. Jeroen Kluck
j.kluck@hva.nl
Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek
Postbus 1025, 1000 BA Amsterdam
www.hva.nl/klimaatbestendigestad

Meer informatie:

Deze publicatie is ook online beschikbaar op:
www.hva.nl/klimaatbestendigestad
ISBN: 978-94-92644-02-2

Foto omslag:

Elmer van der Marel
Frederiksplein, Amsterdam, 2016

© Kenniscentrum Techniek, Hogeschool van Amsterdam, april 2017.



VOORWOORD

Voor u ligt de 10e publicatie uit de reeks van HvA Kenniscentrum Techniek. In deze publicatiereeks bundelt het Kenniscentrum Techniek de resultaten van haar praktijkgericht onderzoek. Elke publicatie is gericht op het geven van handvatten en inzichten om tot verbetering en innovatie te komen in het betreffende werkveld.

Zo ook in de hier voorliggende publicatie De klimaatbestendige wijk, onderzoek voor de praktijk.

Het resultaat is de vrucht van een intensieve samenwerking tussen het onderzoeksprogramma Urban Technology en het werkveld. Het resultaat is naar mijn mening zeer bruikbaar in het werkveld en in het onderwijs. Daarnaast is het een inspiratiebron voor vervolgonderzoek.

De publicatie gaat over het klimaatbestendig inrichten van woonwijken. Een actueel en belangrijk onderwerp. Het is een passend vervolg van onze publicatiereeks en het markeert een prachtig moment als 10e in de reeks.

Ik ga er van uit dat nog vele publicaties zullen volgen. De lopende onderzoeken en een geweldig onderzoeksteam staan daar garant voor.

Drs. Gerard van Haarlem
Decaan Faculteit Techniek
Hogeschool van Amsterdam

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	13
1.1	Aanleiding.....	13
1.2	Probleemstelling.....	14
1.3	Doelstelling.....	14
1.4	Leeswijzer.....	15
1.5	Kader en organisatie.....	15
2	Hittestress	17
2.1	Hitte en leefbaarheid.....	17
2.1.1	Extreme hitte heeft veel gevolgen voor de stad.....	18
2.1.2	Ruimtelijke adaptatie is vooral een oplossing om de buitenruimte leefbaar te houden tijdens hete dagen.....	21
2.2	Verkoeling.....	24
2.2.1	Een koele plek is meer dan een plek met een lage luchttemperatuur.....	25
2.2.2	Van alle inrichtingsvormen zijn schaduwplekken de koelste.....	27
2.2.3	De verkoelende werking van water is gering.....	31
2.3	Kortom.....	32
3	Vergroenen	35
3.1	Bomen houden de stad koeler.....	35
3.1.1	Groen effect op temperatuur en comfort.....	35
3.1.2	Koele zones in de stad.....	38
3.1.3	Bomen en planten voor een klimaatbestendige inrichting.....	40
3.2	De bijdrage van groen aan het watersysteem.....	42
3.3	Overige voordelen van vergroenen.....	45
3.3.1	Gezondheid.....	45
3.3.2	Energie.....	46
3.3.3	Economie.....	48
3.3.4	Milieu en maatschappij.....	48
3.4	Monetariseren van groen.....	49
3.4.1	De groenbaten.....	50
3.4.2	Baten van groen voor praktijkvoorbeelden.....	56
3.4.3	Toekomstige potentie van groenbaten.....	57
4	MKBA voor afweging van klimaatbestendige straatinrichting	59
4.1	Inleiding.....	59
4.1.1	Opgave gemeenten: van beleid naar uitvoering.....	59
4.1.2	Behoeften en barrières rondom klimaatbestendig inrichten.....	60
4.1.3	Praktische ondersteuning bij realisatie klimaatbestendige inrichting.....	60
4.1.4	De maatschappelijke kosten-batenanalyse.....	60
4.1.5	De MKBA toegepast op de herinrichting van een straat.....	61
4.2	Uitgangspunten en afbakening MKBA-methodiek.....	61
4.2.1	Doelgroep.....	61
4.2.2	Meekoppelen.....	61
4.2.3	Gebiedsfocus.....	62
4.2.4	Kostendragers en baathouders.....	62
4.2.5	Aannames, kengetallen en het omgaan met onzekerheden.....	62
4.2.6	Gebruikmaking straattypologieën.....	64
4.3	De MKBA-methodiek.....	65
5	De boodschap: Het klimaat past ook in uw straatje	67
5.1	Voorbeeldenboek: Het klimaat past ook in uw straatje.....	67
5.1.1	Opzet.....	67
5.1.2	De verspreiding.....	68
5.1.3	Klimaatbestendig inrichten in de praktijk: conclusies.....	69
5.2	Klimaatbestendig inrichten in de praktijk: samenwerking.....	71
5.3	Projecten zichtbaar maken.....	71
5.3.1	Een tocht door Nederland.....	72
5.3.2	Zichtbaar op internet.....	72
5.4	Onderwijs.....	73
6	Adviezen om klimaatbestendig in te richten	75
	Literatuur	81
	Bijlagen	88
	Bijlage 1: Vergroenen.....	88
	Bijlage 2: De MKBA-straattool.....	91
	1 Stap 1. Inventarisatie kosten en baten.....	91
	2 Stap 2. Inventarisatie kengetallen.....	93
	3 Stap 3. Keuze wel of niet monetariseren.....	93
	4 Stap 4. Analyse lange periode.....	93
	5 Stap 5. Opstellen berekeningsmethoden.....	94
	6 Stap 6. Modelleren: vereenvoudigen van de werkelijkheid.....	95
	7 Stap 7. Resultaten en conclusies.....	97



Foto: Laura Kleerekoper

SAMENVATTING

De huidige klimaatverandering houdt in dat het warmer wordt. Het weer wordt ook extremer: het gaat vaker en harder regenen en er komt meer droogte en meer hitte. In de stad leidt meer neerslag tot wateroverlast met schade, droogte leidt tot dalende grondwaterstanden, problemen met funderingen en schade aan stedelijk groen en hitte geeft gezondheidsproblemen. De noodzaak om iets te veranderen is op nationaal niveau al duidelijk en een klimaatbestendige inrichting maakt dan ook deel uit van het deltaprogramma. Op lokaal, gemeentelijk niveau is nog niet iedereen overtuigd.

De laatste jaren is veel onderzoek verricht naar de gevolgen van klimaatverandering en wat dat betekent voor steden. Lokale professionals geven echter aan dat de resultaten van deze onderzoeken te abstract en te weinig toepasbaar zijn. Ze hebben behoefte aan uitwerkingen waarmee ze kunnen laten zien welke maatregelen effectief zijn, en aan argumenten om collega's te overtuigen van een klimaatbestendige inrichting.

In 2015 en 2016 hebben we het onderzoek 'De klimaatbestendige stad, inrichting in de praktijk' uitgevoerd. Dit onderzoek is een samenwerking van vijf gemeenten, een waterschap en twee hogescholen.

Het onderzoek had tot doel meer inzicht te geven in de urgentie van hittestress en om te onderzoeken wat de kosten en baten zijn van klimaatbestendig inrichten, zodat er een overtuigend verhaal over kan worden verteld. Om de urgentie van hittestress te duiden hebben we een mindmap van de gevolgen van hitte opgesteld en hebben we met metingen onderzocht welke maatregelen het best bijdragen aan verkoeling.

Daarnaast hebben we een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) opgesteld om varianten van straatinrichtingen met elkaar te vergelijken. Daarin gaat speciale aandacht uit naar de voordelen van groen in de stad, omdat groen in de stad bijdraagt aan verkoeling en kansen biedt voor waterberging en infiltratie. De MKBA hebben we toegepast op een tiental praktijkvoorbeelden. Hieruit blijkt dat een klimaatbestendige inrichting veelal niet duurder is dan een traditionele herinrichting en ook niet ingewikkeld.

Uit het onderzoek komen de volgende punten naar voren:

- In een klimaatbestendige stad dienen de gevolgen van hitte in ieder ontwerp te worden meegewogen.
- Het verkoelende effect van schaduw is veel groter dan het effect van (verkoelend) water in de stad. Het creëren van schaduwrijke plekken is een effectieve ruimtelijke adaptatiemaatregel tegen hittestress.
- Een groene straatinrichting levert meer op dan het kost.
- Bomen zijn ideaal voor het voorkomen van opwarming in stedelijk gebied. In de zomer geven ze schaduw en in de winter laten ze straling door.
- Het verhogen van het percentage groen (parken, tuinen, gevels, daken) geeft op wijk- of stadsniveau een verlaging van de temperatuur.
- Een maatschappelijke kosten-batenanalyse is een goed instrument voor de afweging van klimaatbestendige inrichtingsvarianten.
- Een klimaatbestendige inrichting is relatief eenvoudig en vaak voordelig.



1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Klimaatverandering betekent meer extremen: meer en heviger neerslag, meer droogte en meer hitte. Meer neerslag leidt in de stad tot wateroverlast met schade. Droogte leidt tot dalende grondwaterstanden, problemen met funderingen (denk aan rottende houten palen onder historische gebouwen) en schade aan stedelijk groen. Hitte geeft gezondheidsproblemen en schade (bijvoorbeeld door lagere arbeidsproductiviteit) en maakt de stad minder aangenaam.

Terwijl we in 2014 schreven aan het onderzoeksvoorstel voor dit onderzoek, was duidelijk dat stedelijke klimaatadaptatie extra aandacht verdiende. Het Manifest Klimaatbestendige Stad (Coalities klimaatbestendige stad, 2013) gaf aan dat de schade door klimaatverandering in Nederland binnen 50 jaar in de 100 miljard kan lopen. In september 2014 werd de Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie (Delta-programma, 2014a) vastgesteld. Daarin stond dat alle gemeenten bij de inrichting van de openbare ruimte rekening met klimaatverandering dienen te houden. In datzelfde jaar rondten Nederlandse onderzoeks-

instellingen en universiteiten het onderzoek 'Climate Proof Cities' af. Er is veel wetenschappelijke kennis ontwikkeld over de fysische processen, schade en hinder. Ook zijn er al allerlei mooie maatregelen voor het klimaatbestendig inrichten van de stad bedacht en beschreven (o.a. Pötz (2012) en Stichting RIONED (2014) over wateroverlast en Lenzholzer (2013) over hittestress).

Inmiddels is het beleid een stap verder. In 2015 is de Bestuursovereenkomst Deltaprogramma tussen het Rijk, het Interprovinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (Deltaprogramma, 2014b) vastgesteld, waarin staat dat gemeenten bij herinrichting van de openbare ruimte hun straten en wijken klimaatbestendig moeten inrichten. Hierdoor maken we onze leefomgeving beter bestand tegen extremere regenbuien, perioden van droogte en meer hitte. Door deze opgave te koppelen aan de reguliere herinrichtingsopgaven (riolering, straten, groen) is het de bedoeling dat in circa dertig jaar tijd alle steden klimaatbestendig worden.

1.2 Probleemstelling

Professionals werkzaam bij gemeenten¹ op het gebied van de inrichting van de stad, de openbare ruimte, het stedelijk groen en het water, krijgen allemaal in hun werk te maken met de effecten van klimaatverandering. Zij zijn de professionals die de negatieve effecten van klimaatverandering moeten verminderen, zodat wij in een aangenaam leefklimaat en met acceptabele risico's op schade door te veel of te weinig water in onze mooie steden kunnen blijven wonen.

De professionals geven aan dat zij de effecten van droogte en hitte als gevolg van klimaatverandering nog niet zo goed kunnen inschatten als de effecten van wateroverlast. Ook zeggen ze niet over de juiste hulpmiddelen en uitgewerkte voorbeelden te beschikken om hun collega-professionals in andere vakgebieden te overtuigen van de urgentie om maatregelen te nemen. Daarnaast is het hen nog onvoldoende duidelijk welke maatregelen het best kunnen worden genomen om de stad klimaatbestendig in te richten. Deze 'handelingsverlegenheid' wordt herkend door veel professionals in Nederland en in het buitenland (Kolasinski et al., 2014).

Het onderwerp klimaatadaptatie in stedelijk gebied is veelomvattend. In dit onderzoek hebben we gekozen om ons te richten op de volgende thema's:

- De urgentie van maatregelen tegen hitte in de stad is niet voldoende duidelijk. Gemeenten vragen zich zogezegd af: 'moeten we wat en wat moeten we?'
- Velen zien de noodzaak om op extreme neerslag te anticiperen, maar de vraag is hoe dit inzicht beter kan worden verspreid binnen de gemeenten.
- Bezwaren tegen een klimaatbestendige (her)inrichting van straten komen vaak voort uit de onbekendheid met de mogelijke maatregelen, en uit de angst voor de (extra) kosten van deze maatregelen, en de onzekerheden over effecten op het beheer en onderhoud. Daarbij komt dat de kosten en baten van klimaatbestendig inrichten niet voldoende bekend zijn.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is het publieke professionals in staat te stellen verantwoorde keuzes te maken en deze te realiseren, om bij toekomstige inrichtingen van de openbare ruimte rekening te houden met de klimaatverandering.

De subdoelen die we daarvoor hebben gedefinieerd zijn:

- Duiding van de urgentie van klimaatadaptatie (met focus op hittestress);
- Laten zien dat een klimaatbestendige inrichting mogelijk is;
- Ontwikkeling van een generieke methodiek en het vinden van ontwerpprincipes om op verschillende locaties in Nederland te helpen bij klimaatbestendige inrichting van de stad.

Een belangrijk neven doel van ons onderzoek is het uitdragen van onze ervaringen en kennis in het werkveld en het onderwijs.

1.4 Leeswijzer

Een belangrijk deel van de resultaten van ons onderzoek hebben we in januari 2017 gepubliceerd met het voorbeeldenboek *Het klimaat past ook in uw straatje*: De waarde van klimaatbestendig inrichten (Kluck et al., 2017a). Die publicatie was speciaal bedoeld om het werkveld te (helpen) overtuigen dat een klimaatbestendige inrichting veelal eenvoudig is en goedkoper dan een traditionele herinrichting. Dit rapport is daar een aanvulling op en behandelt een aantal zaken die niet in het voorbeeldenboek staan. Onderwerpen die al in het voorbeeldenboek zijn behandeld, leggen we hier slechts kort uit.

Hoofdstuk 2 betreft ons onderzoek naar de urgentie van hittestress. We hebben metingen uitgevoerd om de effectiviteit van een inrichtingskeuze voor verkoeling te bepalen en we hebben een mindmap opgesteld die de nadelige gevolgen van hitte voor de stad helpt te duiden.

In hoofdstuk 3 beschrijven we de voordelen van groen in de stad en presenteren we een vergelijking van groenkosten met groenbaten voor verschillende praktijkvoorbeelden.

Hoofdstuk 4 gaat over de methodiek om de kosten en baten voor klimaatbestendige inrichting te bepalen en deze voor varianten te vergelijken.

In hoofdstuk 5 beschrijven we hoe we onderzoeksresultaten naar het werkveld en het onderwijs brengen. Een belangrijk aspect daarin is het voorbeeldenboek waarin we voor 10 praktijkvoorbeelden laten zien dat een klimaatbestendige inrichting mogelijk is en niet duurder hoeft te zijn.

Tot slot vatten we in hoofdstuk 6 het onderzoek samen in enige conclusies en adviezen.

1.5 Kader en organisatie

Het onderzoek is medegefinancierd vanuit de RAAK-Publiek regeling van Regieorgaan SIA, onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). RAAK-publiek financiert onderzoeksprojecten van hogescholen in samenwerking met de publieke sector. De regeling stimuleert samenwerking en kennisuitwisseling tussen hogescholen en professionals uit de publieke sector en heeft als doel het creëren van ruimte voor praktische innovaties die direct aansluiten op de dienstverlening door de sector.

Het onderzoek is uitgevoerd door een consortium van gemeenten en kennisinstellingen. Aan dit project werkten in consortiumverband mee:

- Publieke sector: gemeente Amsterdam – Zuidas, gemeente Eindhoven, gemeente Hoogeveen, gemeente Houten, Ingenieursbureau Amsterdam, Waternet;
- Hanzehogeschool Groningen;
- Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Onderzoeksprogramma Urban Technology (penvoerder).

Het onderzoeksteam op de Hogeschool van Amsterdam, onder leiding van Jeroen Kluck, lector water in en om de stad, bestaat uit ervaren onderzoekers uit verschillende disciplines: Lisette Klok, meteoroloog; Wiebe Bakker, civiel ingenieur; Laura Kleerekoper, stedenbouwkundige; Ronald Loeve, hydroloog; Marten Rouvoet, civiel ingenieur; Joris Viscaal, stedenbouwkundige en Ronald Wentink, civiel ingenieur. Het onderzoeksteam op de Hanzehogeschool Groningen bestond uit Olof Akkermans en Jonathan Tipping en staat onder leiding van Floris Bogaard, lector ruimtelijke transformaties – water. Daarnaast hebben studenten bijgedragen met hun afstudeerwerk in afstudeerateliers van de hogescholen en als studentenassistenten.

1. Denk hierbij aan de volgende beroepsgroepen: stedenbouwkundigen, planvormers, ruimtelijke ordenaars, architecten, oppervlaktewaterspecialisten, rioliers, verkeerskundigen en groenbeheerders.



2 HITTESTRESS

2.1 Hitte en leefbaarheid

De toekomst wordt warmer en brengt meer tropische dagen (KNMI, 2015). Natuurlijk brengt dit voordelen met zich mee, zoals een langer zomerseizoen, meer buitenrecreatie, en meer terrasjesweer. Echter, de stijgende temperaturen zullen ook leiden tot toenemende hittestress en gevolgen hebben voor een gezonde en leefbare stad. Dit blijkt uit vele wetenschappelijke studies en rapporten (EEA, 2012; Rovers et al., 2014; Klok en Kluck, 2016). Stedelijke gebieden zullen extra kwetsbaar zijn vanwege het stedelijk hitte-eilandeffect (Oke, 1982).

In een klimaatbestendige stad dienen de gevolgen van hitte te worden meegewogen in ieder ontwerp!

Toch geven gemeenten aan onvoldoende inzicht in de ernst van de gevolgen van hittestress te hebben om de stap naar een hittebestendige inrichting te maken. 'In

hoeverre is hittestress voor steden in Nederland een probleem dat met inrichtingskeuzes moet worden beperkt?' is een vraag waarmee veel gemeenten worstelen.

Door alle verschillende effecten van extreme hitte voor het stedelijk gebied op een rijtje te zetten, werd duidelijk dat maatregelen in de stedelijke inrichting maar een deel van de hitteproblemen kunnen verminderen. Een hittebestendige stedelijke inrichting grijpt vooral in op de buitenruimte, de leefbaarheid en het comfort van een stad. Om op korte termijn gezondheidsproblemen tijdens hete dagen te verminderen zijn lokale hitteplannen en handelingsplannen voor zorgen hulpverleners een beter instrument dan ruimtelijke adaptatie. Evenzo zijn aanpassingen aan gebouwen zoals zonwering of ventilatie effectiever om de temperatuur in gebouwen aangenaam te houden, dan aanpassingen in de buitenruimte. Ruimtelijk adaptatie, dus het maken van specifieke hittebestendige inrichtingskeuzes in de openbare ruimte of op particulier terrein, zijn vooral belangrijk om de buitenruimte koel en leefbaar te houden tijdens hete dagen, en dragen daarmee indirect bij aan een optimaal binnencomfort en het verminderen van hittegerelateerde gezondheidsproblemen.

2.1.1 Extreme hitte heeft veel gevolgen voor de stad

Extreme hitte in het stedelijk gebied kan veel effecten hebben. Dat laat onderstaande mindmap (figuur 2.1) zien. Deze mindmap hebben we gemaakt op basis van een literatuurstudie naar de effecten van extreme hitte voor Nederlandse en buitenlandse steden (Klok en Kluck, 2016). Hiertoe hebben we nationale en internationale klimaatrapportages, klimaatadaptatiestrategieën en wetenschappelijke artikelen geanalyseerd om een overzicht te krijgen van de gevolgen van extreme hitte voor de stad. De gevolgen kunnen worden onderverdeeld in vijf categorieën: voor de gezondheid, voor stedelijke netwerken, voor drink- en oppervlaktewater, voor de stedelijke buitenruimte en voor de leefbaarheid van de stad. Sommige van deze categorieën overlappen elkaar (bijvoorbeeld buitenruimte en leefbaarheid). Daarnaast hebben de gevolgen in de mindmap ook verbindingen met elkaar. Zo zijn slaapproblemen (bij gezondheid) veelal het gevolg van verminderd comfort in gebouwen of sociale overlast (bij leefbaarheid).

Gezondheid

Van alle gevolgen is vooral veel bekend over de effecten van hitte op de gezondheid (Kovats en Hajat, 2008; Daanen et al., 2010), en dan met name over de extra sterfte die hitte tot gevolg heeft. Voor Nederland is bekend dat tijdens een hittegolf het sterftecijfer met 12% kan toenemen, wat neerkomt op ongeveer 40 extra doden in Nederland per dag (Huynen et al., 2001). Volgens Huynen et al., (2008) zal hittestress voor honderden extra sterfgevallen per jaar zorgen. Hittestress in steden wordt daarom gezien als een van de belangrijkste risico's van klimaatverandering voor personen (Wuijts et al., 2014; Muilwijk et al., 2015). Hittestress vormt van alle klimaatdreigingen in het komende decennium het grootste risico voor de mens, met meer dan 100.000 getroffen en meer dan 10 doden in Nederland per optredende gebeurtenis (Muilwijk et al., 2015).

Wat gebeurt er eigenlijk in het lichaam bij hittestress? Wanneer het menselijk lichaam hittestress ervaart, gaat de hartslag omhoog om de lichaamswarmte via de huid en door bloedvatverwijding kwijt te raken. Een ander mechanisme om warmte kwijt te raken is transpireren. Hitte belast hiermee het cardiovasculaire

systeem. De verkoelingsmechanismen van het lichaam kunnen onvoldoende zijn om het lichaam af te koelen, met name bij de risicogroepen zoals zwangeren, ouderen en kleine kinderen (Someren, 2002). Hierdoor is er kans op warmteziekten, zoals warmte-uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte (Daanen et al., 2010).

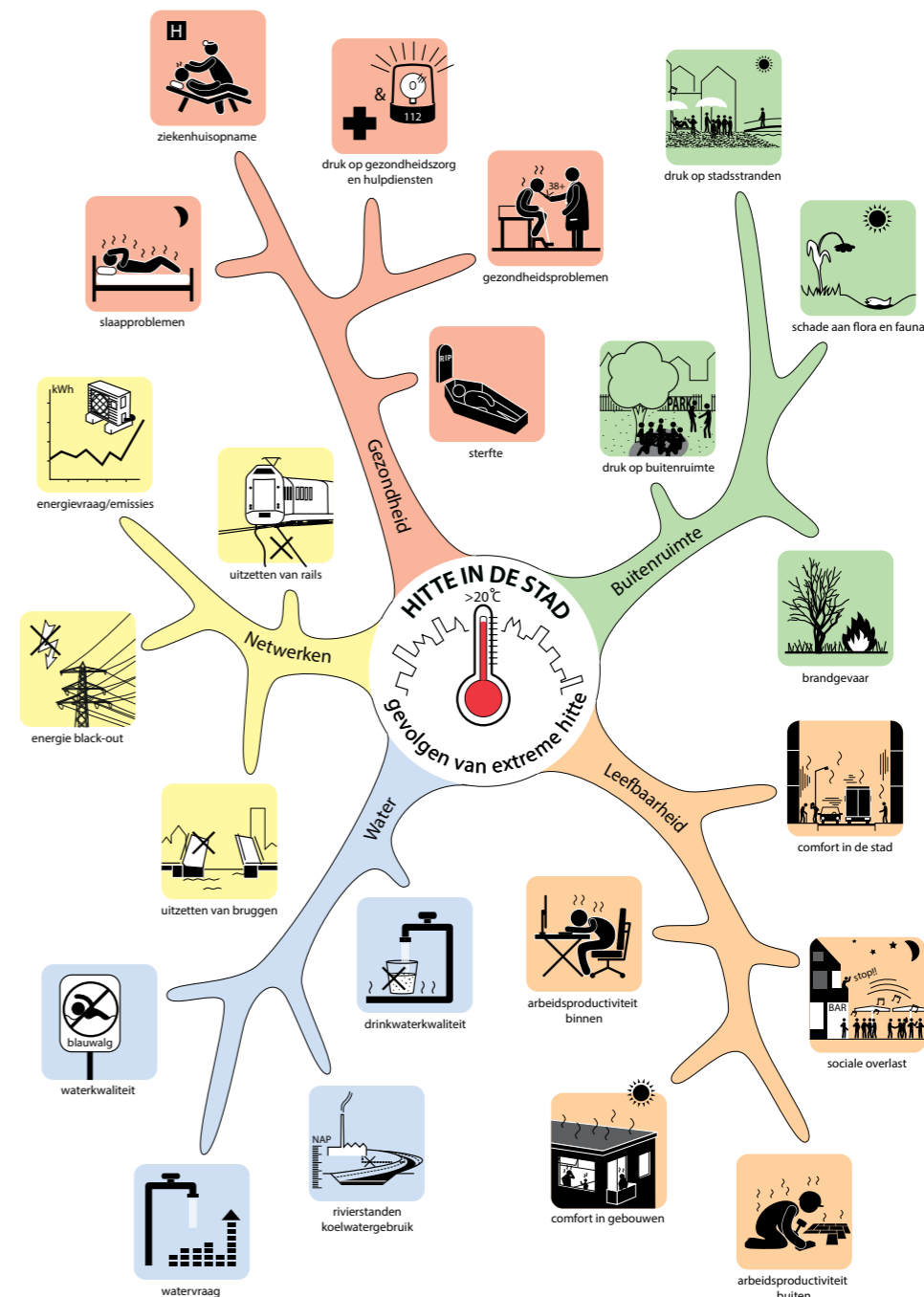
De gevolgen van hitte op gezondheid en ziekte zijn terug te zien in de statistieken van ziekenhuisopnames (Kovats en Hajat 2008; Johnson et al. 2005; Kovats et al. 2004; Semenza et al. 1999). Daarnaast slapen mensen slechter door hittestress (Janssen et al., 2011). In een Tilburgse studie onder 300 zelfstandig wonende ouderen ondervond 37% van hen slaapverstoring tijdens warme dagen en 17% ernstige slaapverstoring (Van Daalen en Riet, 2010). Bij hoge temperaturen slapen mensen minder vast, minder diep, worden ze vaker wakker en slapen ze minder snel weer in. Bij te weinig slaap is er onvoldoende herstel voor fysiek en mentaal functioneren. Met name het immuunsysteem en het hormonale systeem ondervinden hier last van. Omdat in steden de nachtelijke temperatuur hoger is dan op het platteland, zijn stadsbewoners kwetsbaarder (Daanen et al., 2010).

Netwerken

Hitte kan problemen geven in stedelijke netwerken zoals transport- en elektriciteitsnetwerken. In periodes met hitte zal de energievraag stijgen door toenemend gebruik van koelsystemen en airco's. Meer hitte kan er ook voor zorgen dat er vaker stroomstoringen optreden, omdat sommige onderdelen in het elektriciteitsnetwerk bij hitte eerder kapot kunnen gaan. Hoge temperaturen hebben ook tot gevolg dat bruggen en rails uitzetten, waardoor deze niet meer open of dicht kunnen. Ook leidt hitte tot schade aan wegen, bijvoorbeeld met smeltend asfalt. Dit alles leidt tot verstoring en overlast in het stedelijk transportnetwerk (Streng en Buijs, 2013).

Water

De gevolgen van hitte voor water gaan zowel over waterkwaliteit als over waterkwantiteit. Langdurige periodes van warm weer of extreme hitte zorgen voor een grotere vraag naar drink- en koelwater. Een voorbeeld hiervan was de drukbezochte en tropisch hete proloog van de Tour de France op 5 juli 2015 in Utrecht. Om aan de extra watervraag op deze dag te



Figuur 2.1. Mindmap van de belangrijkste gevolgen van extreme hitte voor de stad (gemaakt door Gregor van Lit en Lisette Klok).

voldoen, pompte drinkwaterbedrijf Vitens een recordhoeveelheid water naar Utrecht: 30 miljoen liter water, het dubbele van een normale dag. Om te voorkomen dat de drinkwaterleidingen zouden barsten, moest de stroomsnelheid in de leidingen langzaam worden opgevoerd. Hitte zorgt daarom ook voor een grotere kans op gesprongen waterleidingen.

Daarnaast beïnvloedt hitte de drinkwaterkwaliteit. Als de waterleidingen niet diep genoeg onder de grond liggen, zal de temperatuur ervan langzaam toenemen. Dit kan leiden tot groei van micro-organismen en ziekteverwekkers in het drinkwater.

In oppervlaktewater waarvan de temperatuur stijgt, ontstaat er een grotere kans op waterkwaliteitsproblemen, bijvoorbeeld door blauwalgen. Hierdoor kan er niet worden gezwommen op dagen waarop dat juist zo gewenst is.

Buitenruimte

Extreme hitte heeft gevolgen voor de buitenruimte in en in de buurt van de stad. Hitte, droogte en natuurbranden kunnen schade veroorzaken. Ook is te verwachten dat door meer zomerse en tropische temperaturen de druk op buitenruimtes zoals stadsstranden en parken zal toenemen. Dat zijn gevolgen waarmee rekening moet worden gehouden bij stedelijk ontwerp en inrichting. Ook betekenen de gevolgen van stijgende temperaturen voor de stad dat het vegetatie- en bomenbestand langzaam moet worden aangepast aan soorten die beter bestand zijn tegen hitte.

Leefbaarheid

Leefbaarheid is een categorie in de mindmap die gaat over het prettig en aangenaam kunnen wonen, werken en recreëren in de stad. Extreme hitte beïnvloedt het comfort buiten op straat en in gebouwen. Daardoor heeft hitte ook invloed op de arbeidsproductiviteit. Volgens Hancock (2007) werken mensen tijdens hitte minder snel en maken ze meer fouten. Stijging van de kerntemperatuur met één graad betekent globaal 1% minder efficiënt werken. Volgens Daanen et al. (2013) resulteert iedere graad boven de 25°C in een verlies van 5 miljoen euro per uur. In een studie van Drunen et al. (2007) steeg het ziekteverzuim tijdens de hittegolf in 2003 van 3,4% naar 11,5%.

Tijdens hete dagen ondervinden veel mensen 'hitte-hinder'. Hun welzijn en functioneren gaat tijdens een hittegolf achteruit. Dit geldt met name voor kwetsbare groepen zoals ouderen en burgers met een beperking, en wordt mede veroorzaakt doordat zij te laat en te weinig drinken en niet in staat zijn de woning te verlaten om verkoeling te zoeken. Onderzoek in Limburg heeft aangetoond dat extreme hitte in 2013 bij meer dan een derde van de geïnterviewde groep volwassenen tot ernstige hittehinder leidde (Huynen, 2016).

Een ander aspect van leefbaarheid is als op lange en warme zomeravonden parkjes en buitenruimtes intensiever worden gebruikt door bijvoorbeeld barbecueënde gezelschappen. Dit kan leiden tot sociale overlast als stank, geluid of afval.

Interessant is dat elk van de gevolgen in de mindmap op een andere manier is gerelateerd aan extreme temperaturen: sommige zijn duidelijk afhankelijk van de buitentemperatuur (uitzetten van rails en brugdelen), terwijl andere een verband hebben met de binnentemperatuur (slaapproblemen en de arbeidsproductiviteit binnen). Sommige effecten treden pas op of worden sterker na een aaneengesloten reeks van warme dagen (waterkwaliteit, comfort in gebouwen), terwijl andere gevolgen al kunnen optreden op een enkele hete dag (een stroomstoring of druk op buitenruimte).

Daarnaast zijn er trends en factoren die de gevolgen van extreme hitte in de stad kunnen versterken. Lange periodes van droogte en hitte zorgen gezamenlijk voor verhoogd brandgevaar, achteruitgang van de waterkwaliteit en lage rivierstanden met bijkomende problemen voor koelwatergebruik. Smogvorming en een verminderde luchtkwaliteit treden vaak op tijdens periodes van zomerse hitte en zorgen samen voor gezondheidsproblemen en verhoogde sterftcijfers (Willers et al., 2016). Trends op de langere termijn die ervoor zorgen dat in de toekomst meer mensen te maken zullen hebben met hittegerelateerde gezondheidsproblemen zijn verstedelijking, vergrijzing en een toename van thuiswonende ouderen. Eén van deze trends is echter te doorbreken met klimaatbestendig inrichten. Want als hitte vanaf nu in iedere herinrichting van een straat of wijk bewust wordt meegenomen, zullen de nadelige gevolgen van verdere verstedelijking mogelijk worden voorkomen, en daarmee de gevolgen van hitte voor de stad worden beperkt.

2.1.2 Ruimtelijke adaptatie is vooral een oplossing om tijdens hete dagen de buitenruimte leefbaar te houden.

De mindmap in figuur 2.1 laat ook zien dat de gevolgen van hitte voor de stad heel divers zijn. Dat betekent dat er niet één universele hittemaatregel is die alle problemen kan oplossen of verminderen. Er zijn grofweg drie soorten adaptatiemaatregelen te onderscheiden waarmee de gevolgen van extreme hitte in de stad te beperken zijn:

- 1 **Adaptatie in het sociale domein:** zorgplannen, hulpverleningsplannen, tropenroosters, aangepaste openingstijden, hitteplannen en hittewaarschuwingssystemen om aanpassingen in gedrag te bewerkstelligen.
- 2 **Adaptatie aan gebouwen:** aanpassingen om het binnenklimaat aangenaam te houden zoals zonwering, ventilatie, klimaatbeheersing en isolatie.
- 3 **Ruimtelijke adaptatie:** aanpassingen in de stedelijke inrichting zoals groen, schaduw, ventilatie of watervormen om koelte te creëren in de buitenruimte en om het stedelijke hitte-eilandeffect te beperken.

Onder adaptatie in het sociale domein valt in ieder geval het Nationaal Hitteplan (Hagens en Van Bruggen, 2016) dat in 2006 is opgesteld en in 2015 is aangescherpt. Dit hitteplan is een communicatieplan, waarin de GGD en het Rode Kruis een belangrijke taak hebben. Zij worden gewaarschuwd door het RIVM als het KNMI een periode van minimaal vier dagen met temperaturen boven 27°C verwacht. Vervolgens geeft de GGD de hittewaarschuwing door aan bijvoorbeeld zorginstellingen, zodat zij een hitteprotocol in werking kunnen stellen.

Van de drie soorten adaptatiemaatregelen grijpt met name ruimtelijke adaptatie in op de leefbaarheid en de buitenruimte van de stad (de groene en oranje takken in de mindmap). Ruimtelijke adaptatie is er in eerste instantie op gericht om de buitenruimte van de stad koel en aangenaam te houden tijdens hete dagen, zodat er prettig gewoond, gewerkt en gerecreëerd

kan worden. Om de risicovolle hittegerelateerde gezondheidsproblemen te verminderen, is ruimtelijke adaptatie niet het meest voor de hand liggend, maar zijn gedragsaanpassingen en invoering van lokale hitteplannen betere en effectievere maatregelen. Gezondheidsproblemen vragen in eerste instantie dus om adaptatie in het sociale domein. Natuurlijk dragen adaptatie aan gebouwen en ruimtelijke adaptatie ook bij aan minder hittestress en minder gezondheidsklachten, maar het effect van deze adaptatiemaatregelen op gezondheid is minder direct.

Een combinatie van de drie soorten adaptatiemaatregelen is het meest aan te raden, zoals ook in Parijs is gedaan na de hittegolf in 2003 waarbij ongeveer 18.500 (Vandertorren et al., 2004) inwoners overleden als gevolg van hitte. Een uitgebreid vergroeningsplan en een lokaal hitteplan zijn twee belangrijke adaptatiemaatregelen die men naar aanleiding hiervan heeft ingevoerd. Ook tijdens onze Italiaanse studiereis (zie tekstbox p. 22) ervoeren we dat maatregelen in zowel het ruimtelijke, bouwkundige als in het sociale domein nodig zijn voor een gezonde en leefbare stad in tijden van hittestress.

Overigens zijn er ook nog adaptatiemaatregelen mogelijk die niet passen binnen de drie soorten die hierboven staan beschreven. Dat zijn bijvoorbeeld maatregelen om uitzetting van brugdelen en rails te voorkomen of om het risico van overbelasting van het energienetwerk te verminderen.



Foto: Thomas Klomp

Adaptatie aan hitte – Italiaanse ervaringen

Thomas Klomp en Lisette Klok

Warm weer zit ingebakken in het Italiaanse bestaan. Je ziet het aan gebouwen, kleuren, dimensies enzovoort, maar het belangrijkste is misschien wel de manier van doen. Italianen passen zich aan: tempo, werktijden, eettijden, kleding en winkelopeningstijden. Nederland staat met zijn acht-tot-vijf-mentaliteit nog ver af van een dergelijke vorm. En overal waar je in Italië komt, staat een fles water op tafel. Vernevelingsinstallaties verkoelen terrasjes op straat. Het gebruik van airco's om woningen en gebouwen koel te houden is een heel normale zaak. Dat hebben we ervaren toen we in de zomer van 2016 met vijftien professionals van Nederlandse gemeenten, ingenieursbureaus en hogescholen een studiereis maakten naar Venetië, Milaan en Bologna. Het doel van de reis was om te zien en te horen hoe steden in een warmer klimaat omgaan met hitte en zich voorbereiden op nog meer warme dagen in de toekomst. Het doel was ook om voorbeelden op te halen van hittebestendige inrichtingsvormen. We spraken er met professionals van gemeenten, klimaat- en milieuorganisaties en universiteiten.

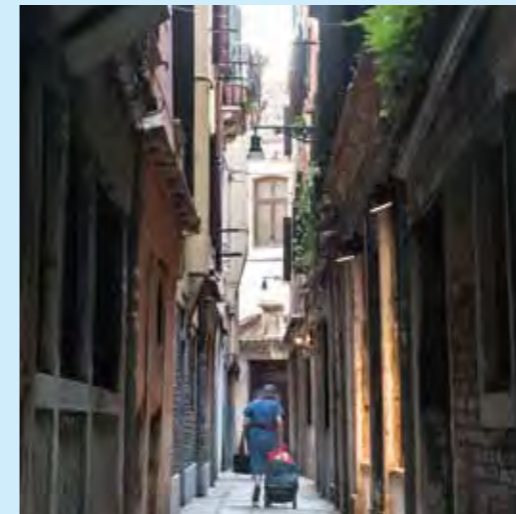
Het viel ons op dat hitte is ingeburgerd in de Italiaanse maatschappij. Zo is het hitteplan in Bologna eerder vanzelfsprekend dan bijzonder. Zodra de weersverwachtingen dagen met extreme hittestress afgeven, treedt een hitteplan in werking waarbij extra wordt gelet op thuiswonende kwetsbare burgers. Daarnaast worden burgers en bezoekers van Bologna op straat gewaarschuwd voor de hitte met digitale informatieborden. Zo'n hittewaarschuwingssysteem wordt regionaal opgepakt, waarbij de regio Emilio-Romagna (Bologna e.o.), maar ook Lombardije half zo groot zijn als Nederland. Nog meer normale zaken in Italië: treinrails, die maak je wit. Steegjes maak je smal en gebouwen bedek je met stuc/leem in lichte kleur. Je bouwt winkelstraten met arcades en creëert pocketparkjes. Standaard!

Zouden dergelijke, al ingeburgerde aanpassingen voldoende zijn om weerstand te kunnen bieden aan nog meer hitte die in Italië door klimaatverandering en het stedelijke hitte-eilandeffect wordt verwacht? Dat de ingeburgerde adaptatie aan hete dagen toereikend is, zou geconcludeerd kunnen worden uit het feit dat klimaatadaptatie en hittestress niet hoog op de agenda's staan bij de gemeenten die we er spraken. Toch ziet de Italiaanse wetenschap klimaatverandering wel als punt van zorg, maar bereikt het thema vanwege bureaucratie en klimaatsceptici in de politiek niet de bestuurders die ertoe doen. Ruimtelijke adaptatie aan hitte is daarom nauwelijks een onderwerp dat wordt meegenomen in stedelijke ontwerpen. Hitte wordt hooguit genoemd in gemeentelijke groenambities. Want ook in Italië is het de trend om kleine stadsparkjes aan te leggen, rotondes op te breken en te vergroenen, en extra bomen te planten. Wat is ons trof is dat dit ook wordt gedaan met het oog op rust: vluchtheuvels voor de geest. De groene ruimtes in de steden, merkten wij, zijn ook altijd bezet. Onder bomen, op bankjes, in de schaduw van gebouwen zie je altijd mensen zitten.

Kortom, in Italië ervoeren wij dat gedragsaanpassingen bij extreme hitte, zorgplannen en een hittewaarschuwingssysteem net zo belangrijk zijn als ruimtelijke adaptatie (en misschien wel belangrijker). Echt goede praktijkvoorbeelden van hittebestendige inrichtingsmaatregelen hebben we er niet opgehaald, maar we hebben vooral geleerd van de aanpassingen die Italianen in hun warmere klimaat al vanzelf maken.



Foto's: Thomas Klomp



2.2 Verkoeling

De vorige paragraaf (2.1) concludeerde dat ruimtelijke adaptatie nodig is om de buitenruimte tijdens hete dagen leefbaar te houden. Ruimtelijk adaptatie is daarbij een verzamelnaam voor alle mogelijke aanpassingen in de stedelijke inrichting die voor verkoeling kunnen zorgen, en daar zijn er veel van, zoals blijkt uit de publicaties Groenblauwe netwerken van Pötz en Bleuzé (2016) en Het weer in de stad (Lenzholzer, 2013). De meest voorkomende maatregelen om verkoeling in de buitenruimte te creëren zijn groen, schaduw en water. Het verkoelende effect van deze maatregelen is uitgebreid onderzocht in wetenschappelijk studies en ook in het Climate Proof Cities project (Rovers et al., 2014). Desondanks is daarbij vaak alleen gekeken naar het effect op de luchttemperatuur en niet naar het effect op de gevoelstemperatuur, of naar de vraag of een inrichting of maatregel ook als koeler en aangener wordt ervaren. Als ook deze factoren worden meegenomen, blijkt dat vooral

schaduw tot verkoeling en een lagere gevoelstemperatuur leidt. Dat is het resultaat van meteorologische metingen en interviews gehouden tijdens onderzoek in Amsterdam en Groningen in 2015 en 2016. Het verkoelende effect van schaduw door bomen of bebouwing uit zich in lagere luchttemperaturen én in lagere gevoelstemperaturen. Bovendien laten interviews

Het verkoelende effect van schaduw is veel groter dan het effect van (verkoelend) water de stad. Het creëren van schaduwrijke plekken is een effectieve (ruimtelijke adaptatie-)maatregel tegen hittestress.

zien dat schaduw tijdens hete dagen ook als de aangenaamste plek wordt ervaren. Het verkoelende effect van water of een groene omgeving is veel kleiner. Een uitgebreid verslag van de meetresultaten is te vinden in Klok en Rood (2017).

Figuur 2.2. Senioren in Venetië zoeken verkoeling onder een boom (Lisette Klok).

2.2.1 Een koele plek is meer dan een plek met een lage luchttemperatuur

Hitte is meer dan een hoge luchttemperatuur en koelte meer dan een lage luchttemperatuur, want of een dag of locatie als heet of koel wordt ervaren hangt ook samen met andere meteorologische factoren zoals straling, windsnelheid en luchtvochtigheid. Al deze meteorologische factoren tezamen kunnen worden uitgedrukt in een gevoelstemperatuur (een thermisch-comfortindex). De gevoelstemperatuur daalt als er meer wind is, en stijgt op warme dagen als de lucht vochtiger wordt. Daarnaast hangt de temperatuur die wordt ervaren ook samen met persoonlijke en psychologische factoren zoals leeftijd, activiteit, gemoedstoestand, kleding of culturele achtergrond. Een stedelijke inrichtingsvorm die koelte biedt tijdens hete dagen is om deze reden dan ook een inrichting die voor een lagere gevoelstemperatuur zorgt en dus als koeler wordt ervaren.

In 2015 en 2016 hebben we onderzoek gedaan naar hitte in de stad (zie paragraaf 2.2.2 en 2.2.3). In dit onderzoek hebben we de temperatuur, de gevoelstemperatuur en de beleving gemeten en geanalyseerd. Doel van dit onderzoek was te bepalen hoe heet het wordt in Amsterdam tijdens hete dagen, hoe dit ervaren wordt door de bewoners en bezoekers van de stad, en welke inrichting als koelst wordt ervaren.

De luchttemperatuur en de gevoelstemperatuur zijn in dit onderzoek bepaald met een mobiel weerstation (figuur 2.3) ingericht met meetapparatuur van Davis Vantage Pro2. Hiermee werden luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting, inkomende zonnestraling en de globetemperatuur – een maat voor de ervaren temperatuur ten gevolge van warmtestraling – gemeten. De hoogte waarop de metingen werden uitgevoerd, was 1,1 m. Dit komt overeen met de gemiddelde hoogte van het zwaartepunt van een volwassene (Mayer en Hoeppe, 1987). Uit deze meteorologische metingen is de PET berekend, de Physiological Equivalent Temperature (Matzarakis et al., 2007). Dit is een maat voor de gevoelstemperatuur waarbij rekening wordt gehouden met luchtvochtigheid, straling en windsnelheid.



Figuur 2.3. Mobiel weerstation gebruikt voor de hitemetingen (Lisette Klok).

Tabel 2.1. Enquêteformulier gebruikt bij het onderzoek naar de thermische beleving.

1. Algemene informatie	
a.	Tijdstip (uu:mm)
b.	Locatie
	i. In de zon of schaduw
	ii. Nabij weerstation 1 of 2
c.	Naam interviewer
2. Persoonlijke informatie	
a.	Leeftijd
b.	Geslacht
c.	Hoe voel je je vandaag?
d.	Kleding
	i. Bovenlichaam
	ii. Onderlichaam
	iii. Vest of jas
	iii. Accessoires
e.	Activiteit
f.	Culturele achtergrond
	i. Woon je in Amsterdam?
	ii. Wat is je geboorteland?
	iii. Hoe lang ben je al in Nederland?
g.	Thermische geschiedenis
	i. Hoe lang ben je al op deze specifieke locatie?
	ii. Waar was je hiervoor?
	iii. Was je 5 minuten geleden buiten?
	iii. Bent u onderweg of is deze locatie uw (tijdelijke) eindbestemming?
3. Thermische beleving	
a.	Hoe voel je je nu?
b.	Vind je deze omgeving thermisch:
c.	Wat zou je voorkeur nu zijn:
d.	Thermisch gezien, vind ik deze omgeving:
e.	Hoeveel graden denk je dat het is? (in hele graden)

Om inzicht te krijgen in de beleving van de thermische omgeving hebben we interviews uitgevoerd waarbij de ondervraagde bewoners en bezoekers van de stad naar persoonlijke informatie en thermische beleving is gevraagd (zie tabel 2.1). De vragen zijn gebaseerd op soortgelijke studies uitgevoerd door Johansson et al. (2014), Klemm et al. (2015a), Lenzholzer en Wulp (2010) en Nikolopoulou (2006).

2.2.2 Van alle inrichtingsvormen zijn schaduwplekken de koelste

Om antwoord te vinden op de vraag welke inrichtingsvorm het koelst en aangenaamst is, hebben we tijdens hete dagen in de zomer van 2015 verspreid over 7

dagen met zomerse temperaturen metingen uitgevoerd op 13 locaties in Amsterdam (tabel 2.2). Helaas werden uiteindelijk niet op alle meetdagen zomerse temperaturen bereikt: op 25 juni en 6 juli 2015 kwamen de temperaturen niet boven 23°C.

Op elke dag werd gelijktijdig op twee locaties gemeten (met twee mobiele weerstations) zodat de verschillen tussen twee inrichtingsvormen konden worden bepaald. Ook hebben we op bepaalde locaties het weerstation elk uur verplaatst van zon naar schaduw, om het verschil tussen beide vast te stellen. In totaal zijn daarbij 971 interviews uitgevoerd.

Tabel 2.2. Tabel 2.2 Overzicht van meetlocaties in 2015. De maximale temperatuur (Tmax) is die van Schiphol en niet per locatie, omdat Schiphol een waarde geeft voor de referentietemperatuur van die dag.

Meetdag	Tmax (°C) Schiphol	Locatie 1		Zon / schaduw	Locatie 2		Zon / schaduw
05-06-2015	31,0	Dam	verhard	Z + S	Dam	verhard	Z + S
25-06-2015	22,8	Stationsplein	verhard	Z	IJ	water	Z
30-06-2015	26,4	Leidseplein	verhard	Z + S	Vondelpark	groen	Z + S
01-07-2015	33,0	Mahlerplein	verhard	Z + S	Museumplein	groen	Z + S
02-07-2015	30,2	Dam	verhard	Z + S	Amstel	water	Z
03-07-2015	28,9	Dak Nemo	verhard	Z	Oosterdokskade	verhard	Z + S
06-07-2015	21,9	Rembrandtplein/Thorbeckeplein	verhard groen	Z S	Spui	verhard	Z + S

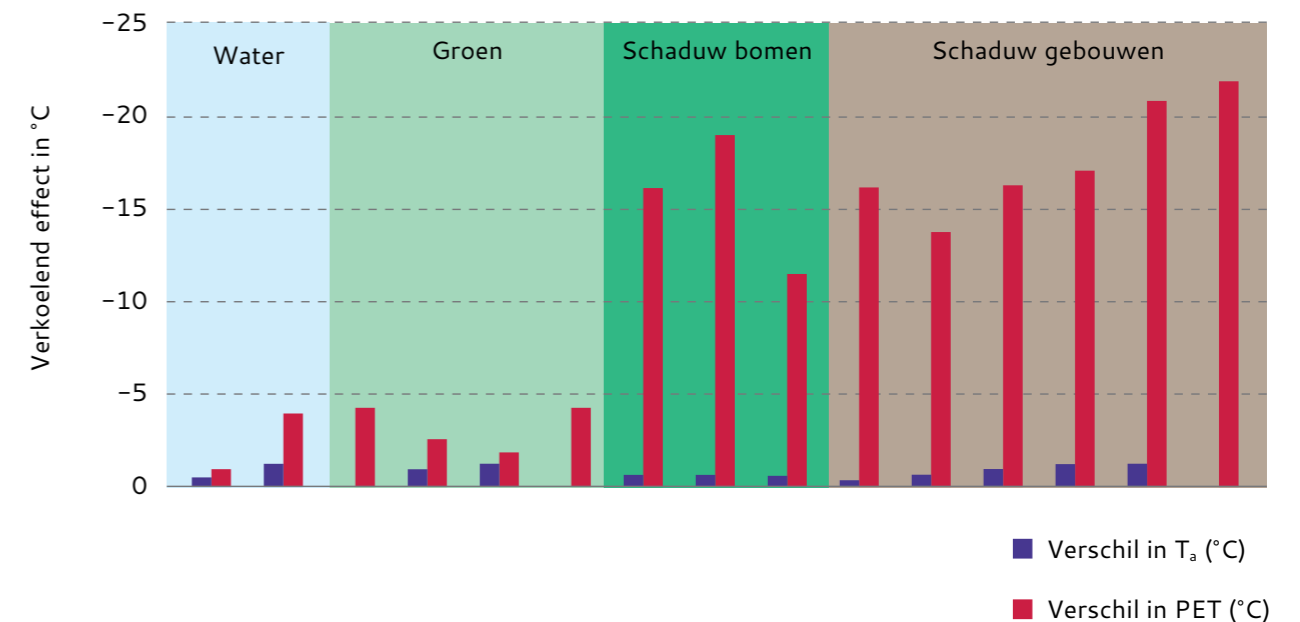
Tabel 2.3. Het verkoelende effect van water, groen en schaduw door bomen of gebouwen, uitgedrukt als het gemiddelde verschil in de luchttemperatuur (Ta) en PET tussen twee locaties (waarbij z zon is, en s schaduw). Alle verschillen zijn statistisch significant, tenzij het het vermeld staat (n.s. = niet significant). De tweede locatie is koeler als het verschil in Ta of PET negatief is.

Verkoeling door	Locatie	Verskil in Ta (°C)	Verskil in PET (°C)
Aanwezigheid van water	Stationsplein ↔ IJ	-0,5	-1,0
	Dam ↔ Amstel	-1,2	-4,0
Aanwezigheid van groen	Mahlerplein (z) ↔ Museumplein (z)	n.s.	-4,2
	Leidseplein (s) ↔ Vondelpark (s)	-0,9	-2,4
	Leidseplein (z) ↔ Vondelpark (z)	-1,2	-1,9
	Mahlerplein (z) ↔ Museumplein (z)	n.s.	-4,2
Schaduw door bomen	Museumplein (z) ↔ Museumplein (s)	-0,6	-16,0
	Vondelpark (z) ↔ Vondelpark (s)	-0,6	-18,8
	Rembrandtplein (z) ↔ Thorbeckeplein (s)	-0,5	-11,5
Schaduw door gebouwen	Spui (z) ↔ Spui (s)	-0,4	-16,1
	Dam (z) ↔ Dam (s) (2-7-2015)	-0,6	-13,8
	Leidseplein (z) ↔ Leidseplein (s)	-0,9	-16,1
	Dam (z) ↔ Dam (s) (5-6-2015)	-1,1	-17,1
	Oosterdokskade (z) ↔ Oosterdokskade (s)	-1,3	-20,9
	Mahlerplein (z) ↔ Mahlerplein (s)	n.s.	-21,9

De locaties waar is gemeten, zijn onder te verdelen in groene locaties (in een park, op een grasveld of onder grote bomen), blauwe locaties (nabij het water) en verharde locaties (rode locaties). De metingen werden overdag uitgevoerd, tijdens het heetste moment van de dag, meestal tussen 11:00 en 17:00 uur, waarbij gemeten werd met een tijdsinterval van 1 minuut.

Tabel 2.3 en figuur 2.4 geven de verschillen tussen de locaties weer, waardoor het verkoelende effect van groen, de water en schaduw van bomen of schaduw

van gebouwen kan worden bepaald. De gemeten luchttemperatuur nabij water en groen en op locaties in de schaduw blijkt significant lager dan in een versteende of zonnige omgeving, maar dit verschil is klein, ongeveer 1°C. De verschillende inrichtingsvormen hebben een groter effect op de gevoelstemperatuur (PET). Deze varieert van 1 tot 22°C. Uit de resultaten blijkt dat met name schaduw voor verkoeling en een sterke daling (van meer dan 16°C) in de PET kan zorgen, terwijl het gemeten verkoelende effect (PET) van water of groen hooguit 4,2°C is geweest.



Figuur 2.4. Het verkoelende effect van water groen en schaduw, metingen in Amsterdam 2015.

Tabel 2.4 Significantie van het verschil in thermische perceptie, comfort en preferentie door het verkoelende effect van water, groen en schaduw van bomen of gebouwen vergeleken tussen twee locaties (z is zon, s is schaduw). Voor Vondelpark was het significante verschil tegen de verwachting in; het werd er warmer ervaren dan op het Leidseplein.

Verkoeling door	Vergeleken locaties	Significant verschil in		
		Perceptie ²	Comfort ³	Preferentie ⁴
Aanwezigheid van water	Stationsplein ↔ IJ	Nee	Nee	Nee
	Dam ↔ Amstel	Nee	Nee	Nee
Aanwezigheid van groen	Mahlerplein (z) ↔ Museumplein (z)	Nee	Nee	Nee
	Leidseplein (s) ↔ Vondelpark (s)	Nee	Nee	Nee
	Leidseplein (z) ↔ Vondelpark (z)	Ja	Ja	Nee
	Mahlerplein (z) ↔ Museumplein (z)	Nee	Nee	Nee
Schaduw door bomen	Museumplein (z) ↔ Museumplein (s)	Nee	Nee	Nee
	Vondelpark (z) ↔ Vondelpark (s)	Ja	Nee	Ja
	Rembrandtplein (z) ↔ Thorbeckeplein (s)	Nee	Nee	Nee
Schaduw door gebouwen	Spui (z) ↔ Spui (s)	Ja	Nee	Nee
	Dam (z) ↔ Dam (s) (2-7-2015)	Nee	Nee	Nee
	Leidseplein (z) ↔ Leidseplein (s)	Ja	Nee	Ja
	Dam (z) ↔ Dam (s) (5-6-2015)	Nee	Nee	Nee
	Oosterdoksade (z) ↔ Oosterdoksade (s)	Ja	Ja	Ja
	Mahlerplein (z) ↔ Mahlerplein (s)	Nee	Ja	Ja

2. Bij thermische perceptie gaat het om de vraag: Hoe voel je je vandaag: koud, koel, beetje koel, neutraal, beetje warm, warm of heet?

3. Bij thermisch comfort gaat het om de vraag: Vind je deze omgeving thermisch gezien aangenaam, een beetje onaangenaam, onaangenaam of heel erg onaangenaam?

4. Bij thermische preferentie gaat het om de vraag: Wat zou je voorkeur nu zijn: kouder, geen verandering of heter?

Het verkoelende effect van schaduw is ook terug te zien in de thermische beleving van de ondervraagden (tabel 2.4). Water of een groene omgeving werden niet als significant koeler of aangener ervaren. Bovendien gaven de geïnterviewden op verharde locaties niet aan een grotere voorkeur te hebben voor een koelere omgeving dan de geïnterviewden op groene locaties of nabij het water. Wel werden er significante verschillen in thermische perceptie, comfort en preferentie gevonden tussen locaties in de zon en in de schaduw van gebouwen. Schaduw werd daarbij vaker als aangenaam en koeler ervaren, en mensen die in de schaduw stonden, gaven minder vaak aan voorkeur te hebben voor een (nog) koudere locatie.

Overigens bestonden de ondervraagden voor 57% uit mannen, voor 39% uit vrouwen en 4% was niet goed geregistreerd. De leeftijd varieerde van 10 tot 70+,

met het merendeel (28%) van de mensen tussen 20 en 29 jaar. Voor 51% van de geïnterviewden was het thuisland Nederland, voor 48% lag dat buiten Nederland. Al deze persoonlijke factoren vertonen geen significant verband met thermisch comfort.

2.2.3 De verkoelende werking van water is gering

Het doel van de hitemetingen in 2016 was vooral om de verkoelende werking van verschillende watervormen in Amsterdam beter te bepalen. Daarom zijn op vijf verschillende zomerse dagen metingen gedaan nabij het water en op een referentielocatie in een gelijke omgeving, maar zonder invloed van water (zie tabel 2.5). De metingen werden net als in 2015 alleen overdag uitgevoerd tussen 11:00 en 17:00 uur. In totaal zijn er 960 interviews gehouden.

Tabel 2.5. Overzicht van meetlocaties in 2016. De maximale temperatuur (Tmax) is die van Schiphol en niet per locatie, omdat Schiphol een waarde geeft voor de referentietemperatuur van die dag.

Meetdag	Tmax (°C) (Schiphol)	1° locatie (verhard)	Zon / schaduw	2° locatie (water)	Zon / schaduw
19-07-2016	28,9	Amstelplein	Z	Amstel	Z
20-07-2016	33,0	Rembrandtplein	Z	Reguliersgracht	Z
24-08-2016	30,4	Rijksmuseum	Z	Museumpleinvijver	Z
25-08-2016	30,9	Stationsplein	Z	IJ	Z
26-08-2016	24,2	Frederiksplein	S	Fredrikspleinfontein	S

Uit de metingen (tabel 2.6) blijkt dat de luchttemperatuur (T_a) nabij alle watervormen behalve aan de Amstel significant lager ligt, maar dat het verkoelende effect van water gering is (minder dan $0,7^\circ\text{C}$). De PET laat zien dat de gevoelstemperatuur aan het water op alle locaties hoger is, variërend van $0,5$ tot $5,3^\circ\text{C}$, behalve bij de fontein. De verklaring voor deze hoge PET-waarden is voor elke locatie verschillend en hangt vaak samen met een hogere luchtvochtigheid, minder wind of een hogere stralingstemperatuur bij het water. Dat het verkoelende effect van water gering is, blijkt ook uit de interviews. Thermische perceptie, comfort en preferentie werden op de locaties nabij het water niet significant anders ervaren dan op de locaties zonder water.

De resultaten zijn in lijn met eerdere studies zoals die van Steeneveld et al. (2014), waaruit blijkt dat stedelijk water 's nachts zelfs een bron van warmte kan zijn. Toch blijft water in de praktijk vaak als verkoelende inrichtingsmaatregel worden genoemd. Het effect ervan is weliswaar klein, maar kan bij gebruik op grotere schaal of in combinatie met andere verkoelende maatregelen mogelijk tot meer verkoeling leiden. Om meer

duidelijkheid te krijgen in de rol die stedelijk water kan spelen bij het verkoelen van de stad, werkt de Hogeschool van Amsterdam samen met Wageningen Universiteit verder aan dit onderwerp binnen het project REALCOOL (2017–2018).

2.3 Kortom

Het onderzoek naar hitte in de stad laat zien dat hitte voor gezondheid een serieus probleem is, maar dat er meer serieuze gevolgen zijn. Zo zijn er serieuze gevolgen voor water, netwerken, leefbaarheid en de buitenruimte. Maatregelen zouden een combinatie moeten zijn van zorg, aanpassing van gedrag, aanpassingen aan gebouwen en ruimtelijke adaptatie.

Onderzoek naar comfort in de buitenruimte tijdens hittegolven laat zien dat vooral schaduw effectief is om de gevoelstemperatuur te verlagen. Dit onderzoek geeft echter nog niet het antwoord op de vraag hoeveel aandacht gemeenten aan hitte in de stad moeten besteden. Onduidelijk is wanneer iets hittebestendig is. Dit vraagt nader onderzoek.

Tabel 2.6. Het verkoelende effect van verschillende watervormen op de luchttemperatuur, de PET, thermische perceptie en comfort. Een negatief verschil is een verkoelend effect: de tweede locatie is koeler. Een positief verschil is een opwarmend effect: de tweede locatie is warmer. Alle verschillen zijn statistisch significant.

Vergeleken locaties	Watervorm	Verskil in T_a ($^\circ\text{C}$)	Verskil in PET ($^\circ\text{C}$)
Amstelplein ↔ Amstel	Rivier	0,2	1,0
Rembrandtplein ↔ Reguliersgracht	Gracht	-0,2	0,9
Rijksmuseum ↔ Museumpleinvijver	Vijver	-0,7	0,5
Stationsplein ↔ IJ	Rivier	-0,7	5,3
Frederiksplein ↔ Fredrikspleinfontein	Fontein	-0,5	-1,0



Figuur 2.5. Kinderen spelen in een fontein op het Frederiksplein in Amsterdam (Elmer van der Marel).



3 VERGROENEN

De voordelen van groen zijn groot. Na het berekenen van de kosten en baten van een groene straatinrichting en het bestuderen van rapportages en artikelen over dit onderwerp concluderen we dat een groene straatinrichting meer oplevert dan dat het kost.

Een groene straatinrichting levert meer op dan het kost.

In dit hoofdstuk beschrijven we eerst hoe groen kan bijdragen aan het verminderen van hittestress en wateroverlast: een klimaatbestendige inrichting. Daarna komen de overige baten van groen aan bod.

Groen heeft veel baten die een rol kunnen spelen bij de haalbaarheid van vergroening. Deze hebben we zoveel mogelijk gekwantificeerd om in een MKBA te kunnen worden meegenomen.

3.1 Bomen houden de stad koeler

Bomen zorgen voor schaduw: het voornaamste middel tegen opwarming. Bomen verbeteren hiermee het comfort in de stad en in woningen en gebouwen. Minder hittestress heeft ook een positief effect op gezondheid (minder doktersbezoeken, sterfte, ziekenhuisopnames), slaapcomfort, arbeidsproductiviteit en energieverbruik voor koeling.

3.1.1 Groen effect op temperatuur en comfort

Wanneer je kunt voorkomen dat de zon een oppervlak opwarmt, straalt dat oppervlak zelf ook minder warmte uit naar de omgeving en hoeft het de warmte niet kwijt na zonsondergang. Uit metingen, uitgevoerd in 2015 (zie paragraaf 2.2), blijkt dat schaduw alleen al een verlaging van de gevoelstemperatuur (PET) van 12 tot 22°C geeft. Bomen doen echter meer dan beschaduwden alleen. Een boom weerkaatst een

deel van het opvallende zonlicht en gebruikt maar liefst 60% van het licht voor fotosynthese (Bade et al., 2011; Kravcik et al., 2007). Door de verdamping van water uit de huidmondjes wordt de lucht ook actief afgekoeld. Een volwassen boom heeft hiermee de capaciteit van wel tien airconditioners (20–30 kW) (Kravcik et al., 2007). Let wel, dit geldt alleen wanneer de boom over voldoende water beschikt (zie ook paragraaf 3.2). Een belangrijk onderdeel van het klimaatbestendig inrichten van de stad is daarom te zorgen voor goede groeiplaatsen voor bomen waar ook tijdens hete periodes water beschikbaar is.

Bomen zijn ideaal voor het voorkomen van opwarming in stedelijk gebied. In de zomer geven ze schaduw en in de winter laten ze straling door.

Wanneer een groeiplaats water kan bufferen, zullen bomen en beplanting effectiever verkoelen. Indien voldoende water beschikbaar is kan een volwassen boom zo'n 400 liter, en andere vegetatie tot zo'n 20 liter per vierkante meter per dag verdampen (Kravcik et al., 2007). Zoals eerder beschreven heeft

de verdamping van water (door vegetatie) een verkoelend effect op de luchttemperatuur. Zo is er in een gebied waar de bodem verzadigd met water is, een omzetting van slechts 10% van de zonnestraling in voelbare warmte en 80% in latente warmte via het verdampingsproces (Kravcik et al., 2007). In een droog gebied wordt maar liefst 60% naar voelbare warmte omgezet.

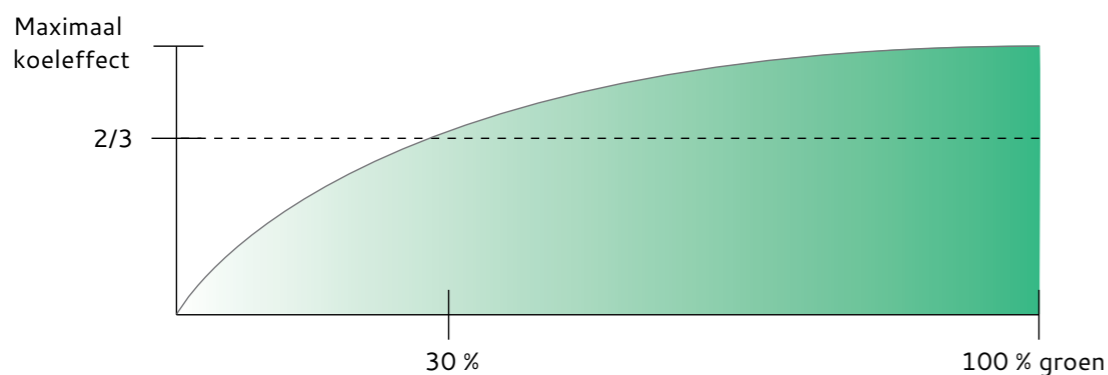
Bij een gehele groene inrichting zoals een park is de luchttemperatuur gemiddeld tussen de 2 en 3°C lager dan de stedelijke omgeving, maar het verschil kan oplopen tot wel 7°C (Bowler et al., 2010). Zoals beschreven in hoofdstuk 2 is niet alleen de luchttemperatuur van belang, de gevoelstemperatuur en beleving zijn maatgevend voor comfort. Bomen kunnen veel verkoeling geven door de stralingsbelasting te verlagen (schaduw), maar ook enige verhoging van de gevoelstemperatuur opleveren wanneer ze de windsnelheid beperken. Voor thermisch comfort zijn niet alleen omgevingsparameters van belang, de perceptie van thermisch comfort heeft ook een psychologische component. Een studie van Klemm et al. (2015b) geeft aan dat er een zwakke relatie bestaat tussen het waarnemen van groen en een verlaging van de gevoelstemperatuur. Er is meer onderzoek nodig om dit effect te bevestigen en te kwantificeren.

Bomen hebben zowel in de winter als in de zomer een temperende werking (Vugt, 2010). Met het oog op de bijdrage aan klimaatbestendigheid is vooral de verkoelende werking van belang. Eén enkele boom kan al een koele plek bieden. Bomen langs een gevel voorkomen bovendien opwarming van binnenruimtes. Denk maar aan de leilindes voor een boerderijgevel. Maar ook andere vormen van groen kunnen verkoelend werken.

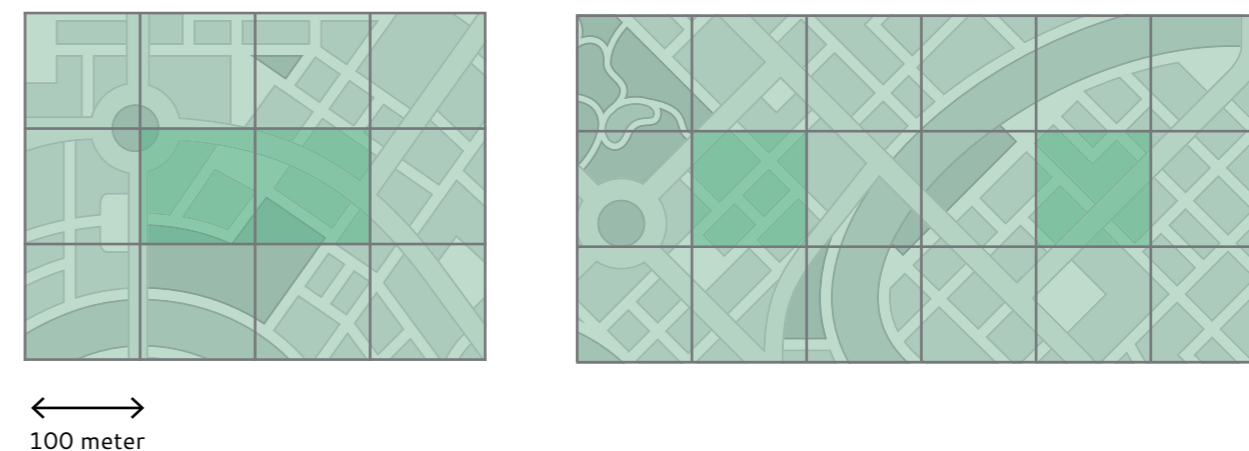
Een andere groenvorm die bijdraagt aan verkoeling zijn groene daken. De temperatuur boven op een groendak (met voldoende vocht) kan tot 40°C lager zijn dan boven een conventioneel dak, dat een oppervlaktetemperatuur van wel 70°C kan bereiken. Volgens Bade et al. (2011) kunnen in steden met 6% groene daken de zomerse piektemperaturen van de lucht dalen met 1,5°C ten opzichte van een stad zonder groene daken. Het is niet duidelijk of deze verlaging boven daken ook op straatniveau wordt bereikt. Ook voor het binnenklimaat kunnen groene daken het comfort verbeteren. Zo vond een studie naar groene daken in Toronto een reductie van de warmte-doorslag door het dak van 70–90% in de zomer (Liu en Minor, 2005). Paragraaf 3.3.2 gaat dieper in op effecten voor het binnenklimaat en energieverbruik.

Het verhogen van het percentage groen (parken, tuinen, gevels, daken) geeft op wijk- of stadsniveau een verlaging van de temperatuur.

Naast lokale verkoeling kan ook de gemiddelde temperatuur in de stad worden getemperd met voldoende groen (privaat of publiek), verspreid door de stad. Door 10% van het stadsoppervlak aan groen toe te voegen kan de luchttemperatuur met 1°C dalen (Klok et al., 2010). Het verschil tussen stad en platteland neemt volgens Steeneveld et al. (2011) door deze maatregel af met 0,8°C. In iedere wijk zou een percentage van minimaal 30% groen moeten worden nagestreefd. De eerste 30% is het effectiefst in verkoeling. Bij een vegetatieaandeel van 30% wordt al twee derde van het koeleffect van een volledig groene ruimte bereikt (zie figuur 3.1). Met meer dan 30% groen blijft de mate van verkoeling toenemen, maar met een minder groot effect per m²/eenheid (Coder, 1996). In tuinsteden en bloemkoolwijken is vaak al 30% groen aanwezig, voor volkswijken en tuindorpen is dit een hele uitdaging. Het percentage groen kan overigens ook stijgen door realisatie van dak- of gevelgroen.



Figuur 3.1. Wanneer 30% van het stedelijk oppervlak groen is, wordt reeds twee derde van het koelpotentieel van een 100% groen gebied bereikt (Coder, 1996).



Figuur 3.2. Met meerdere handig geplaatste kleine parken ligt een groter deel van de stad binnen de verkoelende zone van 100m.

Een park is niet alleen op de locatie zelf koeler dan de stad, de koele lucht verspreidt zich naar omliggende straten en pleinen. Vele metingen (Bowler et al., 2010; Shashua-Bar en Hoffman, 2000) wijzen uit dat het verkoelende effect van parken in de meeste gevallen tot zo'n 100 meter afstand meetbaar is. Om zoveel mogelijk stedelijk gebied te verkoelen zijn meerdere kleine parken effectiever dan één groot park. Figuur 3.2 toont in een schema waarom spreiding wenselijk is.

Groen is effectiever in verkoelen dan veel andere maatregelen. Zo blijkt uit een studie van Shashua-Bar et al. (2012) het volgende: de bedekkingsgraad van boomkruinen verhogen van 8% naar 50% is effectiever in verkoelen dan de gevelkleur aanpassen (albedo van 0,4 naar 0,7) of de hoogte-breedteverhouding van de straat aanpassen (van 0,42 naar 0,66). De hoge bedekkingsgraad die hier wordt gegeven door boomkruinen kan ook worden gerealiseerd met constructies voor klimplanten.

Niet overal is vergroenen een optie. Andere denkbare oplossingen voor stedelijke verkoeling zijn bijvoorbeeld doeken ophangen voor schaduw, water vernevelen voor verdampingskoeling of ventilatie bevorderen door creëren van trek.

3.1.2 Koele zones in de stad

Wanneer we met groen de temperatuur in de stad verlagen heeft dit daarnaast een positief effect op de gezondheid (zie paragraaf 2.1.1). Zowel overdag als 's nachts is het van belang de binnentemperatuur laag te houden. Dit kan zonder airco door direct zonlicht buiten te houden en door overdag ramen dicht te houden en ze 's nachts tegenover elkaar open te zetten. In de buitenruimte verschilt de (gevoels)temperatuur sterk per locatie. Het is van belang dat mensen, vooral ouderen en kleine kinderen, op een koele plek (bijvoorbeeld in de schaduw van een boom) kunnen verblijven. In deze paragraaf wordt ingegaan op de spreiding en eigenschappen van koele zones in de stad.

Het effect van groen op gezondheid is groter naarmate de afstand van groen tot de woning kleiner is. Nabijheid van groen wordt vaak uitgedrukt in aantal vierkante meters dat beschikbaar is per woning binnen 500 meter afstand (Dillen, et al., 2012). Voor vitale personen is 500 meter een acceptabele afstand om te

lopen. Voor de groep die het kwetsbaarst voor hitte is, ouderen en kleine kinderen, zou deze afstand niet meer dan 300 meter moeten zijn (Nuijten, 2008).

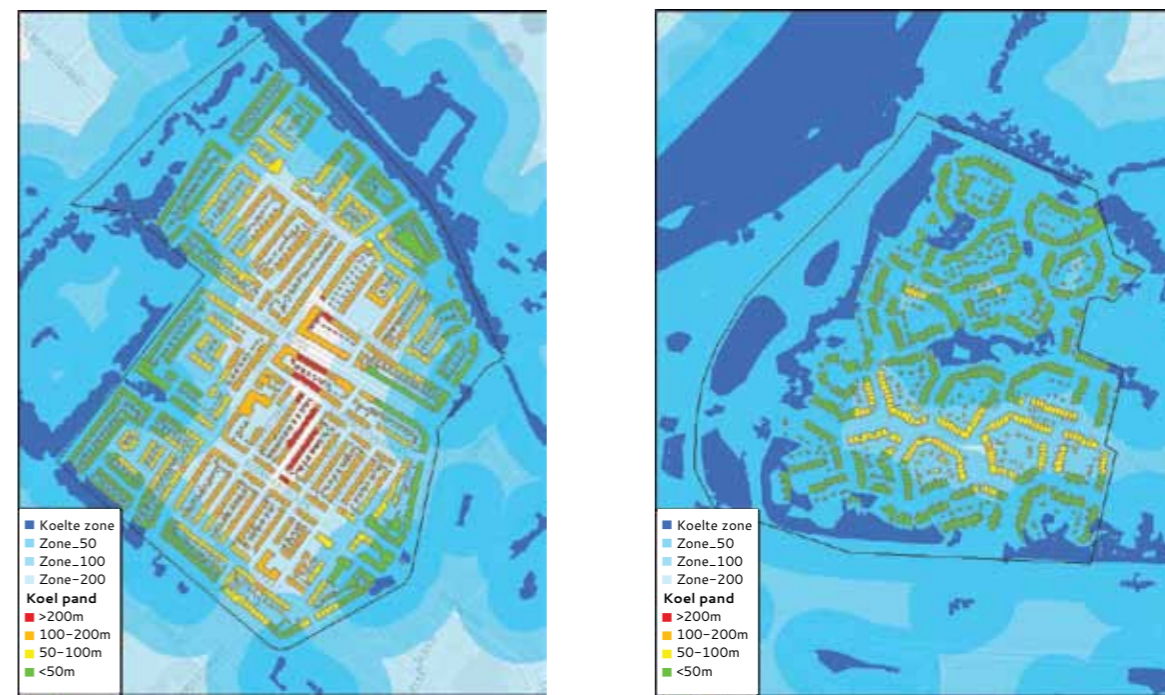
Een andere reden om 300 meter aan te houden is de frequentie van het gebruik van groen. Uit onderzoek door Toftager (2011) blijkt dat groen binnen 300 meter afstand van de woning het gebruik van groen vergroot en de kans op obesitas ($BMI \geq 30$) verkleint.

Uit een Deens onderzoek blijkt dat de afstand wellicht nog kleiner zou moeten zijn. Volgens Nielsen en Hansen (2007) daalt het gebruik van parken sterk in frequentie wanneer de afstand tot de woning groter dan 100 meter is. Indien een park binnen 100 meter afstand ligt gaan de meeste inwoners twee keer per week naar het park. Ligt het park verder, dan daalt dit naar eens in de twee weken. In een wijk met relatief weinig ouderen en kinderen zou 500 meter wel acceptabel zijn.

Met veel kleine parken wordt sneller voldaan aan de minimale afstand van 300 meter, maar grotere parken zijn van belang voor andere functies. Grotere parken betekenen grotere loopafstanden, wat een positieve invloed op de algemene gezondheid heeft (Giles-Corti et al., 2005). Grotere parken (ook op grotere afstand) zijn van belang om de geadviseerde beweging van minimaal 30 minuten per dag te stimuleren.

Er is geen duidelijke norm voor afstand tot koele plekken in de stad, maar vanwege het bovenstaande is het logisch te opperen dat afstand tot koele niet meer dan 300 meter zou moeten zijn. Is de afstand tot koele plekken in de Nederlandse wijken kleiner dan 300 meter? Om hier inzicht in te krijgen hebben we de situatie in dertig wijken geanalyseerd. De analyse is gebaseerd op hittekaarten ontwikkeld door Tauw en Kluck et al. (2015), die een voorspelling van de gevoelstemperatuur geven met behulp van een GIS model met een hoge ruimtelijke resolutie (2,5 x 2,5 m). Hierin wordt onder andere de invloed van verharding, schaduw en groen meegenomen.

Op basis van deze kaarten hebben we afstanden tot koeltezones bepaald. Een zone hebben we als koeltezone beschouwd wanneer deze ten eerste voldoende 'koel' is (volgens de hittekaart niet warmer dan buiten de stad) en ten tweede wanneer deze een



Figuur 3.3. De blauwe koeltezones en afstand van woningen tot koeltezone (rood: meer dan 200m, oranje: 100-200m, geel: 100-50m en groen: minder dan 50 m) voor twee typologieën: volkswijk (links) en bloemkoolwijk (rechts).

aaneengesloten oppervlak van minimaal 200m² beslaat. Deze omvang kan voor een significant koel-effect zorgen (Bacci et al., 2003) en is minimaal nodig om bijvoorbeeld een evenwichtig ecosysteem te vormen (Verploegh, 2016). Figuur 3.3 toont twee voorbeelden van wijken met daarin de koelzones en de afstand van de woningen tot die koelzones. Omdat we in deze analyse zijn uitgegaan van de hemelsbrede afstand tussen de koelzones en de woningen, kan de loopafstand tot de koelzone langer zijn. Om dit te compenseren hebben we de maatgevende afstand tot de zones teruggebracht naar 200 meter.

De dertig wijken in de analyse zijn verdeeld over verschillende wijktypologieën, zoals beschreven in hoofdstuk 4. Van iedere typologie zijn voor drie of vier wijken kaarten als in figuur 3.3 gemaakt. Een visuele analyse leert dat de bloemkoolwijken en naoorlogse tuinsteden meestal voldoen aan het afstandscriterium van maximaal 300 meter tussen de woning en het groen (200 meter hemelsbreed). De (historische) binnensteden en volkswijken voldoen vaak niet en de tuindorpen en VINEX-wijken verschillen onderling. De beschouwing vergt nog nadere uitwerking waarin we de analyse met getallen zullen onderbouwen.

De koelzones hebben we in deze analyse nog niet beoordeeld op hun toegankelijkheid. Die is essentieel om de beoogde effecten van een verkoelende verblijfsplek te bereiken. Groen wordt toegankelijk door het toevoegen van een (wandel)pad langs of door het

groen, een zitgelegenheid of een activiteit in het groen. Het type beplanting en beheer moet worden afgestemd op de beoogde functie. Denk hierbij aan een speelplaats die ook ruimte voorziet voor waterbuffering, of ligweiden met kort gras naast extensief beheer van kruiden- en bloemenzones. Zo kan multifunctioneel groen meerdere diensten leveren: culturele, producerende, regulerende en ondersteunende diensten (Jonker, 2016).

Parken en andere vormen van groen hebben niet alleen invloed op gezondheidseffecten door hittestress, groen kan ook aan andere gezondheidsaspecten een bijdrage leveren. Paragraaf 3.3.1 gaat hierop in.

3.1.3 Bomen en planten voor een klimaatbestendige inrichting

Bomen plant je niet voor de komende 10 jaar, maar voor de komende 30 en liefst 120 jaar. Voor een lange levensduur van de boom is het belangrijk zorgvuldig de boomsoort bij de locatie te kiezen. Er zijn vele aspecten waarmee rekening moet worden gehouden: grondsoort, grondwater, zouttolerantie, eventuele overlast van vruchten of luizen, bijdrage aan ecosysteemdiensten (Vries et al., 2014).

Een toekomstbestendige inrichting met straatbomen bestaat uit meer dan één soort om de biodiversiteit te bevorderen en een deel van de bomen te kunnen behouden bij een specifieke bomenziekte of wanneer een boomsoort bepaalde weersextremen niet aan kan.

Tabel 1 in bijlage 1 presenteert een overzicht van bomen met een gunstige eigenschap in relatie tot toekomstbestendigheid.

De aanplantprijs van een boom verschilt enorm. Op een onverharde locatie ben je voor €100 klaar, in verharding wordt zo'n €1000–5000 geïnvesteerd in grondbewerking en constructie voor de groeiplaats (pers. med. H. Kaljee, bomenexpert, Gemeente Amsterdam, 2015). Deze investering bevordert de levensduur en vergroot de ecosysteefuncties die een boom kan vervullen. Tijdens de eerste groeiperiode vereist een boom begeleiding om de gewenste vorm te verkrijgen, daarna vervult de boom verschillende diensten voor onder andere het stadsklimaat.

Vaste planten hebben de voorkeur boven gras, ook in wadi's

In tegenstelling tot straatbomen en heesters biedt laag groen geen schaduw voor mensen, maar voor de warmtebalans in de stad spelen ze een belangrijke rol. Ze beschaduwden de grond en voorkomen daarmee opwarming. Beplante grond heeft bovendien een hogere waterinfiltratiecapaciteit en kan meer verkoelen door verdamping. Hoe meer bladeroppervlak, hoe beter de koelfunctie. Een andere punt is dat (kort) gras snel uitdroogt. Probeer dus zoveel mogelijk extensief te beheren en met vaste planten te werken.

Vaste planten kunnen worden gekozen op basis van verschillende kenmerken: maaibaarheid, bodembedekker, inheems, bijenplanten, kleur etc.



Figuur 3.4. Variatie in het straatbeeld door de seizoenen. Ook in de winter hebben vaste planten een sierwaarde, slechts enkele weken in het vroege voorjaar wanneer er net is gemaaid zijn de plantbedden kaal (foto's van GreentoColour © Griffioen Wassenaar BV).

De soortkeuze van een boom is ondergeschikt aan de aanleg van de groeiplaats. Een boom kost ca. 180 euro in aanplant. De soortenkeuze heeft weinig invloed op de prijs, die varieert met zo'n 100 euro meer of minder (pers. med. Van den Berk, 2016). De inkoopprijs van een boom is meer afhankelijk van:

- exclusiviteit
- leeftijd
- dikte van de stam
- groeisnelheid
- gevoeligheid en sterfte tijdens het kweken (pers. med. B. Kroon, Hovenier de Kroon, 2016)

Ook in wadi's hebben vaste planten voorkeur boven gras. De voordelen in wadi's zijn (Blansdorf, 2015):

- esthetische meerwaarde en beleving;
- grotere biodiversiteit;
- onderdeel van ecologische verbindingzone (vooral meer natuurlijk vormgegeven wadi's kunnen een rol spelen als ecologische verbindingzone in de wijk en in de stad);
- betere infiltratie dan graswadi;
- minder onderhoud: een tot twee keer maaien per jaar (met afvoer);
- meer verkoeling voor mens en dier;
- verbeteren luchtkwaliteit (vasthouden van fijnstof);
- goede combinatie van groene en blauwe structuur.

In natuurlijke wadi's is het zaak te kiezen voor planten en bomen die zowel nat als droog aankunnen. Door Hop (2015), Blansdorf (2015) en Boogaard et al. (2003) is onderzoek gedaan naar soorten die goed kunnen worden gebruikt. Er zijn ook meer stedelijke varianten van wadi's ontwikkeld zonder flauwe hellingen. Die vragen eveneens minder onderhoud, en minder ruimte.

Zie bijlage 1 voor geschikte vaste planten voor in wadi's.

3.2 De bijdrage van groen aan het watersysteem

Draagt groen bij aan het watersysteem in de stad? En hoe kan groen bijdragen aan het opvangen van extreme neerslag? Naast de functie van groen voor waterberging en infiltratie heeft groen zelf ook een waterbehoefte.

Groenbaten zijn vele male hoger dan groenkosten.

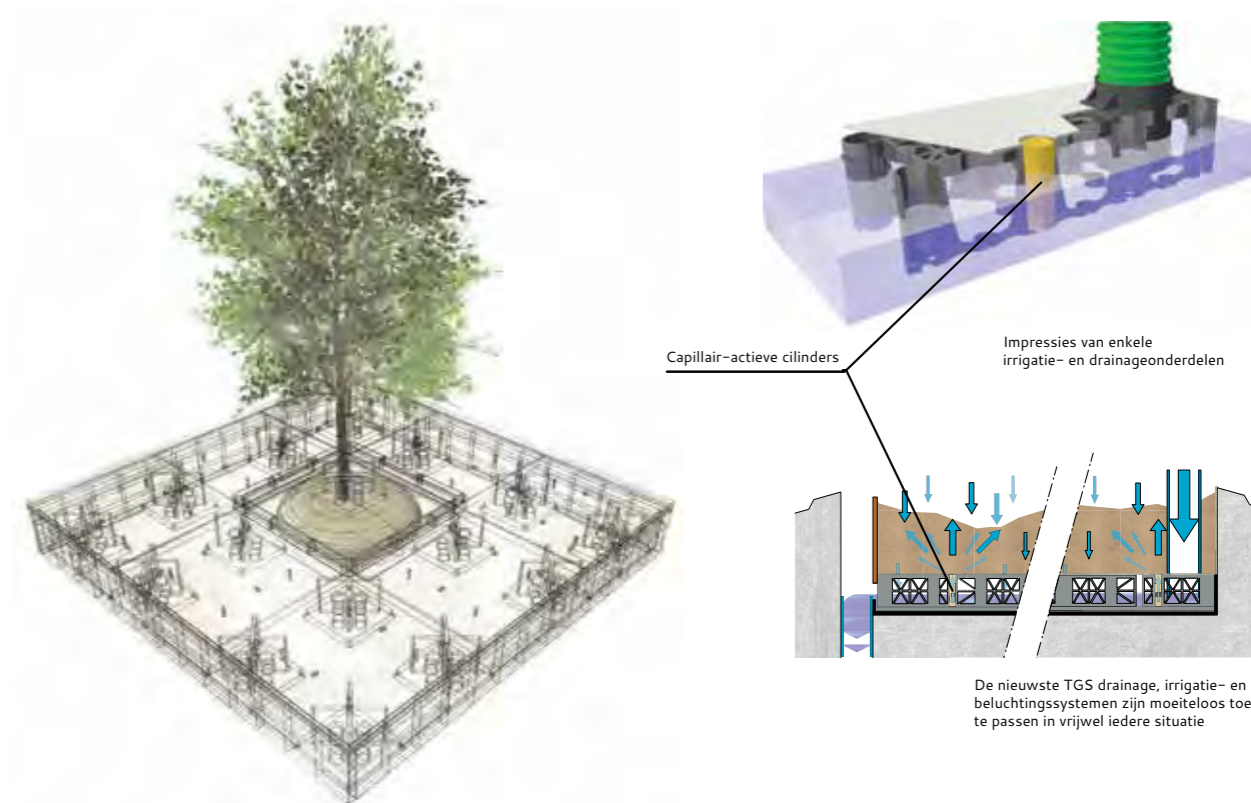
Vanzelfsprekend hebben wadi's een belangrijke rol in het bergen en infiltreren van water. Deze opvangcapaciteit is vanzelfsprekend ook eindig. Indien een wadi wordt ontworpen om 20 mm te kunnen bergen, zal deze bij meer extreme neerslag ook overlopen. Net als voor de rioolssystemen is het van belang te overwegen wat er met het water bij zeer extreme neerslag gebeurt.

Kunnen bomen ook bijdragen aan de opvang van regenwater? Het antwoord op deze vraag is anders voor zachte regen dan voor een grote bui. Bomen kunnen veel water vasthouden, tot wel 9000 liter in kruin en wortelstelsel (Geiger 2001). Alleen de kruin is al voldoende voor de afvang van 3000 liter. De hoeveelheid water die een boom kan vasthouden in de kruin is relatief groot bij langdurige zachte regen en beperkt bij stortregen of harde wind (Jong, 2001).

De kosten voor extensieve vaste planten voor een periode van 10 jaar voor 100m² zijn (Hop, 2011):

- Aanleg, vervangen grond t.b.v. onkruidbestrijding €2790 => aanleg €2,80 m² per jaar
- Onderhoud €1520 over 10 jaar => onderhoud €1,52 m² per jaar

Een wadi met graszode kost normaal €5,- tot €9,60 per m² per jaar (aanleg en onderhoud) indien wordt uitgaat van een herinrichting om de 10 jaar. Vaste planten zijn met €4,30 m² per jaar niet duurder dan gras.



Figuur 3.5. Ondergrondse groeiplaatsconstructie – boombunker (links) en een methode om water te infiltreren en gedeeltelijk te bufferen (rechts) (TGS, 2016).

Kortom, bomen zijn wel van belang voor de jaargemiddelde balans maar niet voor de hoeveelheid waterafvoer bij kortdurende extreme neerslag. In hellende gebieden zijn bomen overigens essentieel in het voorkomen van erosie en dus zeker belangrijk bij extreme neerslag.

De ruimte die een boomspiegel inneemt, vaak het enige onverharde deel in de straat, wordt soms gezien als een verloren parkeerplek. Echter, bomen hebben baat bij ruime boomspiegels voor een optimale groei, een afmeting van 6x6 m is hiervoor voldoende (pers. med. D. Uden, BTL-Bomen, 2016). Dit ruimtebeslag kan worden gerechtvaardigd wanneer we de boomspiegel zo inrichten dat deze ook water kan opvangen,

infiltreren en (deels) ondergronds kan opslaan voor droge en hete periodes. In dat geval draagt een boom wel degelijk bij aan de opvang van regenwater, ook tijdens hevige buien. Bovendien dragen dergelijke boomspiegels bij aan meer groen in de directe omgeving van woningen. Figuur 3.5 geeft een voorbeeld van een mogelijk systeem.

In sommige gevallen is plaats voor bomen niet eenvoudig te realiseren door gebrek aan ruimte in het straatprofiel of door ondergrondse moeilijkheden. Bij weinig ruimte in het straatprofiel gaat de voorkeur uit naar een enkele bomenrij in een ruim plantvak in plaats van bomen aan beide zijde van de straat (Beusekom, 2015). Een ruim plantvak biedt bovendien

Tabel 3.1. Voorkomen van verschillende ziekten per 1000 mensen, bij 10% en 90% groen binnen 1 km radius van hun huis (Maas, 2009, p.56).

Voorkomen per 1000 mensen			
Klachtenindicatie	10% groen	90% groen	Procentuele daling
Bloeddruk	23,8	22,4	5,9%
Hartziekten	4,7	4,0	14,9%
Coronaire hartziekten	1,9	1,5	21,1%
Beroerten, herseninfarct	0,92	0,76	17,4%
Nek en rugklachten	125	106	15,2%
Erge rugklachten	99,2	65,8	33,7%
Erge elleboog, pols en hand klachten	23	19,3	16,1%
Artritis	6,7	6,2	7,5%
Kanker	4,9	4,4	10,2%
Migraine/ erge hoofdpijn	40	34	15%
Bovenste luchtweginfectie	84	68	19,1%
Bronchitis/ longontsteking	16	14,7	8,1%
Astma/COPD	26	29	23,1%
Duizeligheid	8,3	6,6	20,5%
Ernstige darmklachten	14,9	12,3	17,5%
Besmettelijke ziekte uit het darmkanaal	6,5	5,1	21,5%
Medisch onverklaarde lichamelijke symptomen	237	197	16,9%
Chronisch eczeem	5,5	4,9	10,9%
Angststoornissen	26	18	30,8%
Diabetes	10	8	20%
Acute infectie van de urinewegen	23,2	19,4	16,4%
Depressies	32	24	25%

een uitgelezen kans voor vaste planten. Wanneer meer verharding gewenst is, kunnen boomroosters een uitkomst bieden. Bij passerend verkeer op korte afstand van de boom kan het nodig zijn de boom te beschermen tegen de druk van de voertuigen door de boom in een boombunker te plaatsen (zie figuur 3.5). Een boombunker kan een betonnen constructie zijn die de boomwortels een gewenste richting op dwingt of een open constructie die met name inklinking voorkomt.

De ondergrond kan behalve een gebrek aan ruimte ook andere moeilijkheden geven. Denk aan een te hoge grondwaterstand, strooizoutbelasting, kademuren en ongeschikte grondsoort. Er zijn desondanks vele technieken om bomen een goede groeiplaats te bieden (www.bsi-bomenservice.nl).

Een andere bijdrage die groen kan leveren aan het watersysteem in de stad is de verbetering van de waterkwaliteit, maar daar gaat dit rapport niet over.

3.3 Overige voordelen van vergroenen

In de laatste vijf-zes jaar zijn er vele studies gedaan naar de baten van groen⁵. De studies laten zien dat de groenbaten hoog zijn ten opzichte van de kosten van het groen. De studies geven een breed scala aan groenbaten en vormen de basis van dit hoofdstuk. Specialistische studies geven vervolgens meer inzicht in de details. Aan bod komen de voordelen van vergroenen in relatie tot gezondheid, energie, economie en milieu & maatschappij.

3.3.1 Gezondheid

Bomen hebben behalve het verminderen van hit-testress ook effect op andere gezondheidsaspecten. De belangrijkste daarvan zijn de mentale gezondheid door onder andere het verlagen van stress, de lichamelijke conditie door meer beweging en de luchtwegen door een betere luchtkwaliteit.

Een aanwijzing voor die positieve bijdrage is dat gezondheid sterker is gecorreleerd aan de afstand tot en aanwezigheid van groen dan aan de mate van verstedelijking (Maas et al., 2006). Dit is ook terug te vinden in het aantal doktersbezoeken in relatie tot het groenpercentage in een vierkante kilometer rond de woning (Maas et al. 2009b). Uit deze studie volgt een afname van 0,8 patiënten per 1000 inwoners per 1% toename groen. Onderstaande tabel (tabel 3.1) uit Maas (2009c, p.56) toont het onderscheid tussen verschillende klachten en hun relatie tot veel of weinig groen in de wijk. Een onderzoek door Mitchell en Popham (2008) in Engeland wijst eveneens op de relatie tussen meer groen en een betere gezondheid in met name buitenwijken met lagere inkomens.

Een wandeling in het groen geeft twee positieve effecten op de gezondheid. Allereerst is het goed voor de fysieke beweging, waarvan dagelijks minimaal 30 minuten wordt geadviseerd voor een goede conditie van het hart- en vaatstelsel. Ten tweede is er een mentaal effect: wanneer je je in een groene omgeving beweegt, bereik je een lager stressniveau dan wanneer je dit in een stedelijke omgeving doet (Berman et al., 2012; Roe en Aspinall, 2011; Hartig et al., 2003). Het positieve effect van groen in de woonomgeving op mentale gezondheid is aangetoond door Alcock et al. (2014). Een positief effect van groen op stress, depressie en andere geestelijke aandoeningen wordt bevestigd in onderzoeken door Thompson et al. (2012) naar het effect van groen op het stresshormoon cortisol en door Nutsford et al. (2013) naar het effect van groen op de behandeling van geestelijke ziekten.

Beweging wordt door groen gestimuleerd. Met name bij jongeren is een relatie aangetoond tussen meer groen en verlaging van overgewicht (Bell et al., 2008; Berg en Winsum-Westra, 2006). Ook geven verschillende studies aan dat groen positief effect heeft op ADHD-patiënten (Faber, Taylor en Kuo, 2009) en het gebruik van ADHD-medicatie verlaagt (Vries, 2015; Bade, 2011).

5. Deze studies zijn bijvoorbeeld gedaan door Planbureau van de Leefomgeving (van Egmond en Ruijs, 2016), Gemeente Zwolle (Urbanisten, 2016) en Gemeente Eindhoven (Joye et al., 2010), Universiteit van Leeds, Engeland (Mercer et al., 2015) en Universiteit van Australië (Mullaney et al., 2015), De Vitale Groene Stad (Eerd, 2012; Bade et al., 2011) en de branchevereniging VHG (Vught, 2010)

Het is duidelijk dat groen op veel vlakken kan bijdragen aan een betere gezondheid. Een vraag die nog onvoldoende door wetenschappelijke studies wordt beantwoord is aan welke criteria groen zou moeten voldoen om deze positieve effecten optimaal te bereiken (de Vries 2015, van den Berg et al. 2014, Shanahan et al. 2015). Een eerste aanwijzing in een studie door Fuller et al. (2007) toont aan dat een grotere biodiversiteit een positief effect heeft op de psyche van de mens.

Fijnstof en gezondheid

Bomen en planten vangen fijnstof af en zijn belangrijk in het zuiveren van de lucht in landelijk en stedelijk gebied (Ottel  et al., 2010, Beckett et al., 2000). Dat doen naaldbomen beter dan loofbomen en ze hebben bovendien ook in de winter effect. Een boom vangt overall fijnstof af, ongeacht de locatie, en daarom zou je kunnen denken dat een boom planten altijd positief bijdraagt aan de luchtkwaliteit. Dit is echter niet altijd het geval. De schadelijke effecten van luchtvervuiling voor gezondheid worden voornamelijk veroorzaakt door hoge **concentraties** fijnstof in de lucht. Bomen kunnen de concentratie fijnstof plaatselijk verhogen doordat ze de luchtstroming blokkeren (Wesseling et al., 2011, Schildwacht en Schoenmaker, 2010; Gromke en Ruck, 2009; Burg et al., 2006). Het is daarom belangrijk rekening te houden met ventilatie in verkeersstraten.

Bij wegen met een hoge verkeersintensiteit moet voorkomen worden dat een dicht bladerdek de straat compleet overkapt. Deze wegen kunnen beter worden voorzien van bomen met een open kruin en voldoende onderlinge afstand. In rustige woonstraten speelt dit veel minder. Meer onderzoek is wenselijk naar de verhouding tussen de hoeveelheid voertuigen, de benodigde ventilatie en de bomenlimiet in een straat met een bepaalde hoogte-breedteverhouding.

3.3.2 Energie

Steeds meer mensen schaffen airco's aan. Afhankelijk van het model en het energielabel verbruikt een airco per jaar 160 tot 430 kWh; dat kost  35 tot  100 aan energie (prijspeil 2014/2015) (www.milieucentraal.nl). Een gemiddeld stroomverbruik per huishouden is 3.500 kWh per jaar. De airco vraagt grofweg 10% van het stroomverbruik.

Wanneer we stad en gebouwen op een goede manier inrichten met voldoende groen en water zullen minder mensen een airco aanschaffen en/of aanzetten. Stel dat we door meer groen kunnen voorkomen dat 30% van de huishoudens in 2050 een airco heeft, dan bespaart dat 3% op het jaarlijkse huishoudelijke stroomverbruik. Daarmee zou er jaarlijks per huishouden circa  35 beschikbaar kunnen zijn voor extra groenvoorzieningen.

Het effect van groene daken is in paragraaf 3.3.1 kort geïntroduceerd. Belangrijk hierbij is het onderscheid tussen de winter en de zomer. Een isolerend effect in de winter wordt door verschillende onderzoeken verworpen. Groene daken werken niet isolerend tijdens koude (en natte) periodes. De voornaamste oorzaak is het vocht in het substraat waardoor de isolerende werking vrijwel verdwijnt. Ook zorgt de vegetatie voor schaduw waardoor bij zonnig weer het dakoppervlak niet opwarmt (Ravesloot, 2015 & 2016; Jaffal et al., 2012).

De effectiviteit van groene daken voor verkoeling is sterk afhankelijk van de isolatiewaarde van het dak. Bij de hoge U-waardes waar nieuwbouw anno 2017 aan moet voldoen is toegevoegde waarde van de thermische isolatie van groene daken niet significant. Echter, bij bestaande bouw kunnen deze daken wel degelijk effectief zijn (Castleton et al., 2010).

Ten slotte hebben groene daken een economisch voordeel in de verlengde levensduur. Een groen dak gaat twee keer zo lang mee als een conventioneel dak. Wanneer je ook de eventuele energiebesparing voor koeling meerekent, kun je het groene dak in drie tot dertien jaar terug verdienen (Bade et al., 2011).

In plaats van energie te besparen om de opwarming van de aarde tegen te gaan is er nog de optie bomen in te zetten om CO₂ vast te leggen. Het vastleggen van CO₂ door bomen wordt al op veel manieren ingezet als compensatiemiddel, bijvoorbeeld om klimaatneutraal te reizen. Nieuwe aanplant (op grote schaal) kan bijdragen aan de verlaging van CO₂ in de atmosfeer (Poorter et al., 2016). Het effect van stadsbomen zal daarin nauwelijks bijdragen. Maatregelen om de uitstoot te verlagen door minder autogebruik en minder energieverbruik is vele malen effectiever.



Foto: Ronald Loeve

3.3.3 Economie

Groen is goed voor de economie. Mensen kunnen zich namelijk beter concentreren indien ze uitzicht hebben op groen (Drunen et al., 2007; Tennessen en Cimprich, 1995). Ook kunnen planten met luchtzuiverende werking in kantoorruimtes de prestaties van werknemers verbeteren en het ziekteverzuim met 3,5 dag per jaar per werknemer terugdringen (Bade et al., 2011).

Huiseigenaren zien hun vastgoed in waarde stijgen bij vergroening van hun straat. De waardestijging door groen ligt tussen de 5 en 14%. Dit is gebaseerd op vier verschillende studies naar de relatie tussen woningwaarde en groen (Ruijgrok, et al. 2006). De invloed van groen op de woningprijs is volgens Daams (2016) zelfs hoger dan dat. In plaats van een paar procent kan dat wel 16% meerwaarde opleveren. In deze studie gaat het overigens niet om groen in de straat, maar om groen in parken of landelijk gebied. Aantrekkelijke natuur binnen een afstand tot wel zeven kilometer stuwt de prijzen van woningen op. Hoewel het effect van groen op zeven kilometer afstand per woning relatief klein is, treft het wel veel woningen.

De waardestijging van woningen valt als (eenmalige) winst ten deel van de eigenaar, maar ook het rijk (eigenwoningforfait als percentage van de WOZ-waarde), de gemeente (OZB-belasting als percentage van de WOZ-waarde) en het waterschap hebben jaarlijks profijt van het groen. In paragraaf 3.4.1 wordt dit nader toegelicht. Groen kan ook het vestigingsklimaat, het toerisme en de identiteit van een stad verbeteren, waardoor de stad er ook economisch op vooruit gaat (Bade et al., 2011).

3.3.4 Milieu en maatschappij

De soortenrijkdom van bijvoorbeeld vogels is in steden vaak hoger dan in het landelijk gebied. Let wel, het zijn vooral de buitenwijken waarvoor dit geldt, de stadscentra hebben dit minder (Alvey, 2006). Een hogere biodiversiteit verhoogt de belevingswaarde en waardering van het groen en maakt dat mensen een positiever beeld hebben van een stad. Een positieve beeldvorming van een stad draagt bij aan het aantal toeristen en vestigingen van bedrijven.

Spontaan groeiende planten worden in steden vaak als onkruid gezien, maar deze zijn juist zeer waardevol voor de biodiversiteit in de stad. Door deze spontane planten niet te bestrijden maar er bij het ontwerpen juist rekening mee te houden, kan de biodiversiteit en de hoeveelheid groen in steden op een goedkope manier toenemen (Wildschut, 2016).

Er blijkt een relatie te zijn tussen de hoeveelheid groen enerzijds en veiligheid en sociale cohesie anderzijds. Volgens Kuo en Sullivan (2001) is dit terug te zien in het aantal woninginbraken en geweldsdelicten.

Dat groen de sociale cohesie verbetert, wordt door meerdere bronnen onderschreven. Zo stelt Maas et al. (2009a) dat bij minder groen in de wijk de eenzaamheid toeneemt. Vormen van groen die de sociale cohesie verbeteren zijn bijvoorbeeld een gezamenlijke binnentuin of moestuin (Vugt, 2010) en groene recreatieve faciliteiten en verblijfsplekken (Berg en Winsum-Westra, 2006, Sullivan et al. 2004). Deze zijn vooral voor ouderen van belang om hun kwaliteit

van leven te behouden (Mercer et al., 2015). Ondanks de aanwijzingen uit voorgaande studies is het effect op sociale cohesie nog onvoldoende bewezen om richtlijnen op te stellen voor soort en hoeveelheid groen (Lovell et al., 2015).

3.4 Monetariseren van groen

De baten van groen raken aan vele aspecten in onze maatschappij, zo blijkt uit voorgaande paragrafen. Toch is groen een onderdeel van de straatinrichting dat vaak wordt geschrapt wanneer men wil bezuinigen. Om groen een eerlijkere plek in een begroting te geven moeten niet alleen de kosten, maar ook de financiële baten van groen berekend worden.

Er zijn verschillende instrumenten ontwikkeld om inzicht in de baten van groen te vergroten. We hebben i-Tree (www.itreetools.org), TEEB-stad en ANK (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) bekeken. TEEB-stad is het meest geschikt voor het beoordelen van groenmaatregelen op wijk- en straatniveau.



Foto: Laura Kleerekoper

TEEB-stad (The Economics of Ecosystems & Biodiversity) is een online tool (teebstad.nl) met de mogelijkheid de waarde van groen uit te rekenen in economische baten voor een periode van 30 jaar (KPMG, 2012). De tool berekent de baten van groen in relatie tot zes thema's: gezondheid, energieverbruik, vastgoedwaarde, recreatie, sociale cohesie en waterhuishouding. Teebstad.nl is nog in ontwikkeling, maar voldoende gevorderd om al toe te passen. De bronnen zijn goed gedocumenteerd. Daardoor kunnen achterliggende rekenmethode en kengetallen worden beoordeeld en opnieuw afgewogen. We zijn kritisch geweest op de aannamen en hebben delen van TEEB-stad gebruikt voor onze MKBA. Deze tool sluit goed aan bij de rekenmethode en cases in dit onderzoek.

In de volgende paragraaf (3.4.1) leggen we uit hoe we uit hoe we de groenbaten uit TEEB-stad hebben gewogen. In paragraaf 3.4.2 presenteren we de groenbaten voor de praktijkvoorbeelden uit het voorbeeldenboek (Kluck, 2017a).

3.4.1 De groenbaten

De zes thema's waarvoor TEEB-stad groenbaten berekent, verschillen onderling in mate van onderbouwing. Het gaat om gezondheid, energie, woningwaarde, recreatie en sociale cohesie. Voor een aantal onderdelen is de wetenschappelijke basis breed en eenduidig, voor een aantal is dat niet het geval. In deze paragraaf geven we per thema een korte beschrijving van de opbouw van de baat en onze argumentatie om deze wel of niet mee te nemen in onze beschouwing van groenbaten. In deze paragraaf geven we voor de zes thema's in TEEB-stad de baten en de kengetallen die zijn gebruikt om deze baten in jaarlijkse baten in euro's te berekenen. In sommige gevallen zijn de berekeningen van TEEB-stad uitgebreid of versimpeld.

Thema 1: Gezondheid

De besparing van groen op gezondheid geeft hoge baten. Dit is in lijn met de enorme kosten die in de zorg worden gemaakt. Van nog grotere orde zijn de baten die een betere gezondheid oplevert in arbeids-

productiviteit. De baten die door TEEB-stad worden toegeschreven aan de afvang van fijnstof hebben we niet meegenomen omdat deze zijn gebaseerd op de afvang van fijnstof in kg in plaats van de concentratie van fijnstof. De gezondheidsbaten komen terecht bij inwoners en werkgevers. Het effect van groen op verkoeling wordt door TEEB-stad kwalitatief in graden koeling gegeven.

Zorgkosten

Maas et al. (2009b) heeft op basis van geregistreerde doktersbezoeken een positieve invloed van groen vastgesteld. Het gaat om de volgende ziektebeelden: infectie darmkanaal, migraine, diabetes, astma & COPD, bovenste luchtweginfectie, nek- en rugklachten, depressie, angststoornissen en coronaire hartziekten. Het kengetal dat hieruit volgt is een afname van 0,8 patiënten per 1000 inwoners per 1% toename groen. Jaarlijkse zorgkosten per patiënt zijn gemiddeld €868,- (Slobbe et al., 2011).

Arbeidsverlies

De in vorige paragraaf genoemde afname van het aantal patiënten door meer groen leidt daarnaast tot betere arbeidsprestaties en minder ziekteverzuim. De gemiddelde participatiegraad in Nederland is 67% (<http://statline.cbs.nl>) en de arbeidskosten per patiënt (die anders werkzaam zou zijn geweest) zijn €6.300 (KPMG, 2012). Dit betreft een gemiddelde patiënt, waarvoor de kosten zijn opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- ziekteverzuim: €3.200
- minder productief werkzaam: €2.700
- arbeidsuitval (WIA): €400

Zorgkosten in relatie tot fijnstof

Bomen en groen vangen fijnstof af. Fijnstof is schadelijk voor de gezondheid wanneer het wordt ingeademd. In TEEB-stad wordt gekeken naar de hoeveelheid fijnstof (kg) die groen kan afvangen. Er wordt een inschatting gemaakt van de gezondheidskosten per kg uitstoot. Dit komt neer op €405 binnen de bebouwde kom (en €95 buiten de bebouwde kom) per kg fijnstof per jaar (Ruijgrok et al., 2006; Kampman et al., 2001).

Bomen en planten vangen weliswaar fijnstof af, maar dit is niet maatgevend voor de gezondheid. Niet de kg fijnstofafvang, maar de concentratie fijnstof in de lucht

is bepalend voor de gezondheid. Een extra effect van bomen in stedelijk gebied is hun invloed op ventilatie. Door hun afremmende werking op de wind kunnen bomen plaatselijk de concentratie zelfs verhogen. De invloed van groen op de concentratie fijnstof is lastig te interpreteren. Daarmee is het effect van met name bomen te onzeker. Meer informatie hierover staat in paragraaf 3.3.1. We hebben de gezondheidsbaten door vermindering van fijnstof daarom niet meegenomen.

Minder hitteoverlast

Met een toename van groen met 1% daalt de buurt-gemiddelde oppervlaktetemperatuur gemiddeld met 0,1°C (Klok et al., 2010). Deze daling heeft een effect op vele aspecten in de maatschappij, waaronder comfort, gezondheid en infrastructuur. Hieruit dient nog een koppeling aan een monetaire besparing door groen te worden afgeleid. Deze baten hebben we dus ook niet meegenomen.

Thema 2: Energie

In TEEB-stad is het effect van bomen op energieverbruik gebaseerd op het aantal woningen die worden beschermd door bomen. Door beschutting van bomen neemt de windsnelheid af en wordt er minder energie verbruikt voor verwarming (Kuypers en Vries, 2007). Volgens Ruijgrok et al. (2006) neemt tot 50m van een bomenrij de windsnelheid met 70% af, en daarmee het energieverbruik van woningen met 10%. Van 50 tot 100m afstand neemt de windsnelheid met 50% af, en daarmee het energieverbruik van woningen met 7,5% (Ruijgrok et al., 2006). Hierbij is uitgegaan van een bomenhaag met een standaardhoogte van 10 meter (gemiddelde groeiverwachting aanplant binnen 3-5 jaar na aanplant).

De oriëntatie van de bomen ten opzichte van de windrichting is bepalend voor het werkelijk behaalde effect. Wanneer een locatie vaker oosten- of juist westenwind heeft, beïnvloedt dat het effect, daarom wordt hier per windrichting met een correctiefactor gerekend.

Kosten voor energie rekenen we met €0,66 per m³ gas (www.milieucentraal.nl) met een gemiddeld verbruik van 1600m³ per huishouden per jaar. Wanneer de bomen de woningen beschutten voor wind uit het westen kunnen we 65% effect aanhouden. Dat komt neer op zo'n €70 besparing per jaar wanneer er een

De jaarlijkse afvang van fijnstof kan voor vier typen groen worden ingevoerd (Kampman et al. 2001; Ruijgrok, et al. 2006; Bade et al., 2011; Kirchholtes et al., 2012):

- Bomen: 0,1 kg per boom
- Gras: 1 kg per ha
- Riet: 10 kg per ha
- Groendak (extensief): 0,005 kg per ha
- Klimop: 60 kg per ha
- Mos: 140 kg per ha
- Sedum: 1,5 kg per ha
- Wilde wingerd: 40 kg per ha

Voorbeeld:

Stel, het percentage groen (geen plantsoen) in de wijk neemt toe met 20%, dan geeft dit een stijging van de sociale cohesie van $0,37\% * 20 = 7\%$.

In punten is dit $7\% * 5$ (5-puntenschaal) = 0,35 punten. Het aantal verhuizingen per jaar daalt dan met $0,35 * 21 / 1000 = 0,0074$.

Dit vermenigvuldigen met het aantal inwoners en de verhuiskosten geeft de totale baat.

bomenrij aan de westzijde van de woning staat. Het aantal woningen dat wordt beschut aan de west- of de oostkant moet in berekeningen gespecificeerd zijn.

De eigenschappen van de bomenhaag en de stedelijke context waarin deze staan, zijn van grote invloed op de windreductie. Denk aan de afstand en hoogte van de bomen en aan de situaties met of zonder struiken onder de bomen. De auteurs van ES consulting die dit effect van bomen op de wind beschrijven, benadrukken dat in stedelijk gebied de wind te lokaal en te variabel is voor een algemene uitspraak over de reductie van wind.

Aangezien nog teveel onbekend is over de mate van windreductie door bomen in de stad, hebben we besloten het thema energie niet mee te nemen in onze beschouwing van de groenbaten.

Thema 3: Woningwaarde

De waardeverhoging door groen ligt tussen de 5 en 14 procent, zoals reeds beschreven in paragraaf 3.3.3. Om met een voorzichtige schatting te rekenen gaan we uit van een stijging van 5% op de woningwaarde van een groene straat ten opzichte van een versteende. Dit is een eenmalige waardeverhoging. Echter, deze levert ook jaarlijkse baten op in de vorm van belasting over de (WOZ) woningwaarde. Het gaat hier om het jaarlijkse eigenwoningforfait als percentage van de WOZ-waarde (0,75%) van de rijksoverheid (www.belastingdienst.nl). Daarnaast belast de gemeente woningen ook via de onroerendezaakbelasting (OZB). De OZB varieert tussen de 0,05% en 0,25% van de WOZ-waarde, omdat iedere gemeente de hoogte

zelf mag bepalen (OZB-tarieven 2015: www.cijfer-nieuws.nl/ozb-2015). Voor de OZB houden we een gemiddelde aan van 0,15%.

De gemiddelde woningwaarde voor een wijk kan online worden opgezocht (www.cbsinuwbuurt.nl) of er kan uitgegaan worden van de gemiddelde landelijke woningwaarde. Deze is in 2016 €245.980 (http://statline.cbs.nl). Voor de bepaling van de groenbaten hebben we gerekend met de gemiddelde woningwaarde voor de wijk.

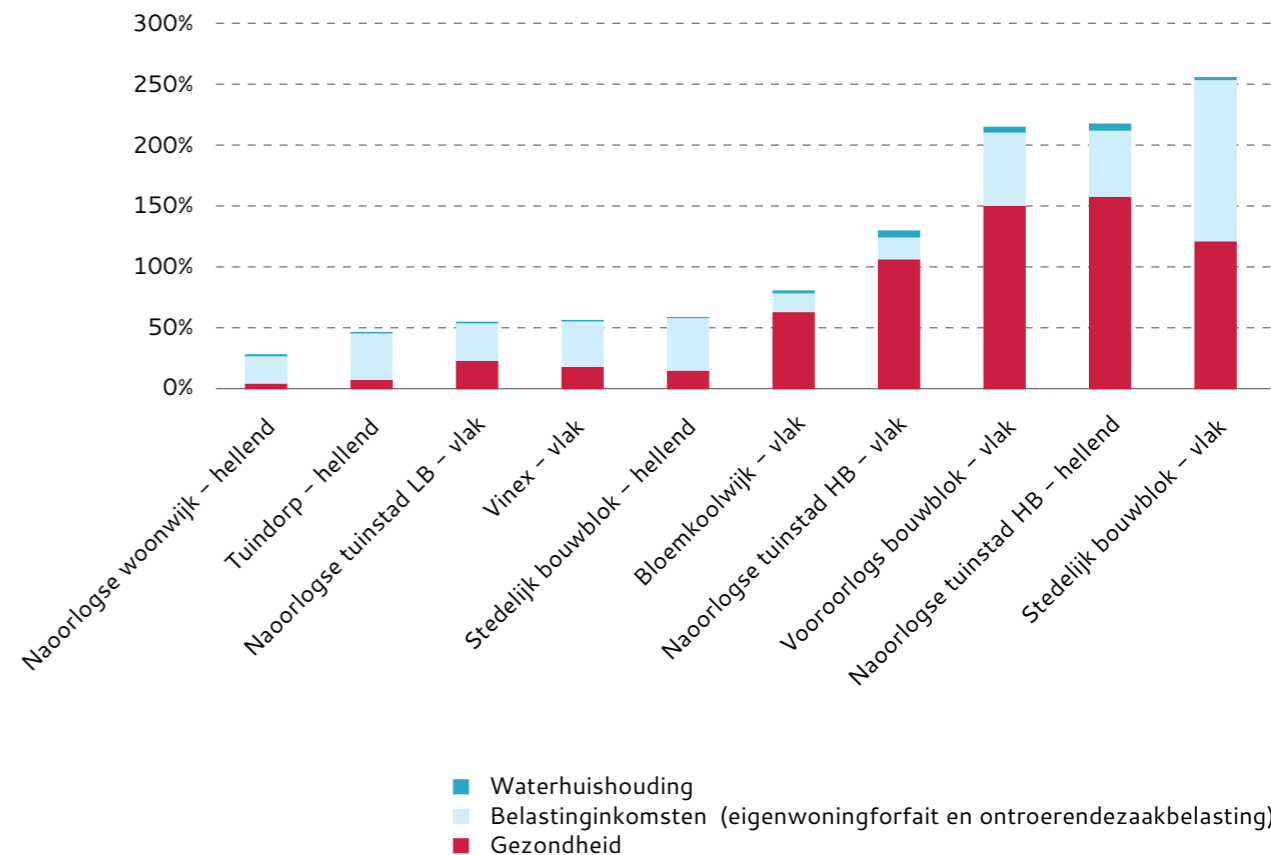
De jaarlijkse baten die uit de OZB komen, zijn de enige baten die direct terechtkomen bij de gemeente, de primaire investeerder in de openbare ruimte. Daarom is dit een belangrijke baat bij de keuze voor groen in woonstraten.

Thema 4: Recreatie

Dit thema is niet van toepassing op de woonstraten van de praktijkvoorbeelden in deze studie. Dit kan wel veel baten opleveren in winkelgebieden en parken.

Thema 5: Sociale cohesie

TEEB-stad koppelt de impact van groen op sociale cohesie aan minder verhuizingen en de kostenbesparing voor de bewoner daarvan. Echter, de baten door verbetering van de sociale cohesie behelzen nog veel meer op maatschappelijk vlak. Hierbij valt te denken aan veiligheid, minder eenzaamheid, betere gezondheid doordat mensen elkaar helpen, beter op elkaar letten en meer buiten zijn. Dit zijn potentiële baten die nader onderzoek vergen.



Figuur 3.6. Verhouding tussen de groenbaten ten opzichte van de totale kosten voor herinrichting en onderhoud per praktijkvoorbeeld. (LB = laagbouw, HB = hoogbouw)

De sociale cohesie in een buurt wordt aangegeven op een puntenschaal van 1 tot 5, waarbij een gemiddelde buurt een sociale cohesie heeft van drie punten (Vreke et al., 2010). Bij 1 punt stijging van het sociaal vertrouwen zijn er jaarlijks 21 verhuizingen minder per 1000 inwoners. Dat is een daling in aantal verhuizingen met 0,021 per inwoner per jaar (Kircholtes et al., 2012). Verhuiskosten zijn gemiddeld €3025 per verhuizende (Ruijgrok et al., 2006).

De impact van groen en water op de sociale cohesie is per 1% toename van het plantsoenareaal (<3ha) een stijging van 0,55%, en per 1% toename (ander) groen/water een stijging van 0,37%.

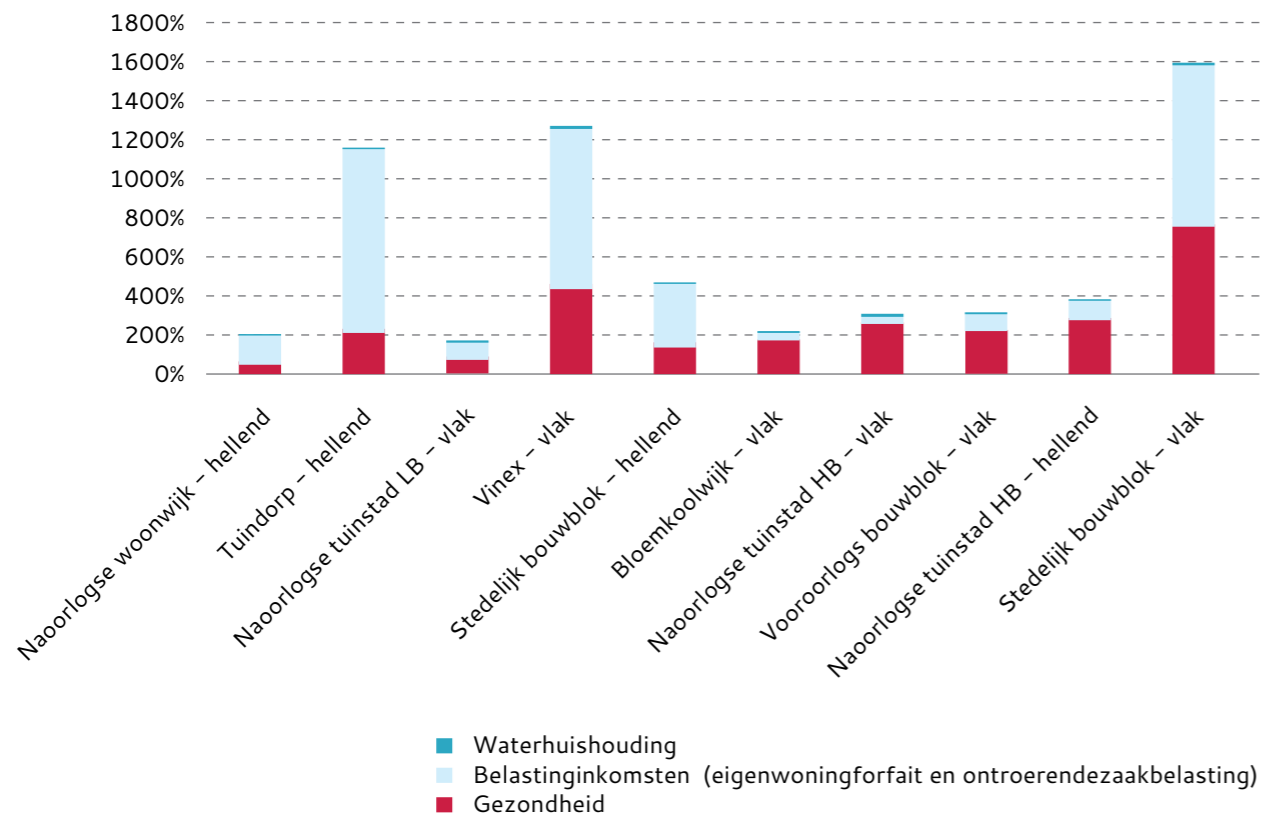
De verbanden die in bovenstaande studies worden gelegd, zijn nog onvoldoende onderbouwd om de grote baten die hieruit komen op te nemen in de MKBA. Wanneer we deze getallen voorleggen aan

experts die aan de inrichting van de openbare ruimte werken, kunnen ze deze waarde van groen moeilijk interpreteren en helpt de baat niet bij het overtuigen om in groen te investeren. Daarom komen de sociale baten niet terug in het totaaloverzicht.

Thema 6: Waterhuishouding

De baten voor de waterhuishouding worden in TEEB-stad bepaald door:

- 1 Bescherming tegen regionale wateroverlast door toevoeging van waterbergingscapaciteit, en
- 2 Vermeden investeringskosten RWZI door toevoeging van waterbergingscapaciteit.



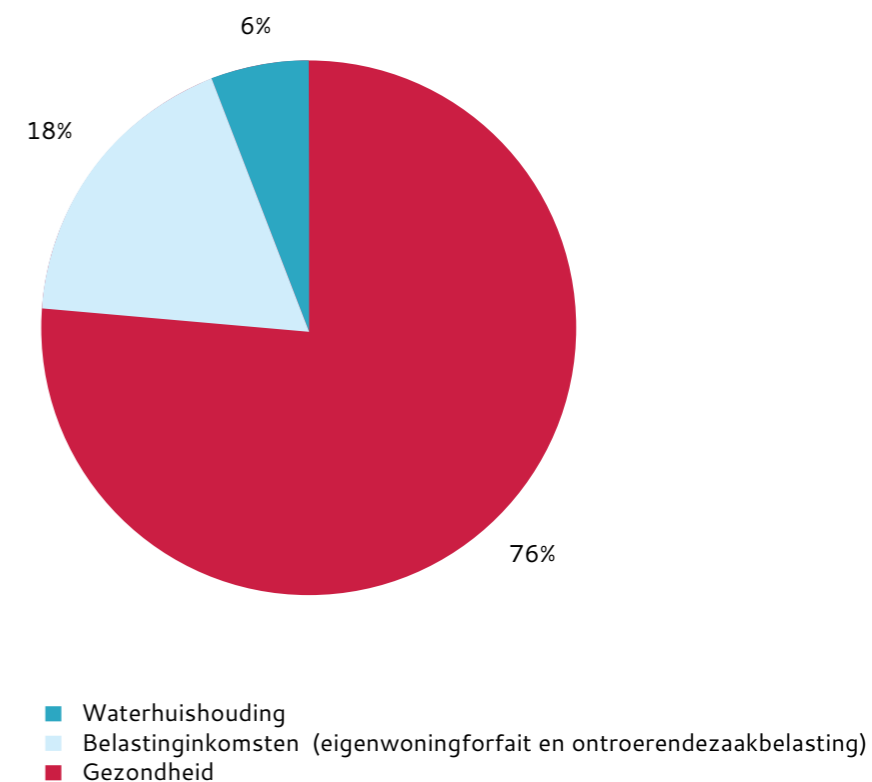
Figuur 3.7. Verhouding tussen de groenbaten ten opzichte van de kosten voor aanleg en onderhoud van groen per praktijkvoorbeeld. (LB = laagbouw, HB = hoogbouw)

Ad 1

De bescherming tegen regionale wateroverlast hebben we niet gebruikt in deze studie, omdat i) wijzigingen in de hoeveelheid groen in straatrichtingsvarianten geen of zeer beperkte invloed hebben op regionale wateroverlast; ii) het verminderen van lokale wateroverlast (door extreme neerslag) al op een andere en meer gedetailleerde manier is opgenomen in onze eigen MKBA-methodiek (zie paragraaf 4.3).

Ad 2

De RWZI-investeringskosten worden vermeden als het rioolwater via een gemengd riool naar de zuiveringsinstallatie gaat. Er zijn immers groenbaten indien door meer groen minder water het gemengde (of verbeterd gescheiden) riool inloopt en dan niet naar de RWZI wordt afgevoerd. Bij een gescheiden riool stelsel is die besparing er niet.



Figuur 3.8. Verhouding tussen de baten per thema.

Omdat een gescheiden afvoer van regen en afvalwater in de toekomst in de praktijk zal zijn gebracht, zal het effect van groen op de RWZI-kosten afnemen. Wel kan het effect van groen dan bijdragen aan het regenbestendig inrichten van de straat.

Vermindering van waterafvoer naar RWZI bespaart volgens SBRCURnet (2014) €0,50 per m³ water per jaar. Deze waarde is lager dan de waarde in de berekening van TEEB-stad, waar wordt uitgegaan van €0,75 /m³ (Dekker et al., 2013). Wanneer we dit doorredeneren en ervan uitgaan dat van groen, boomspiegel of wadi op jaarbasis maar zeer weinig afstroomt, kunnen we de kosten die anders zouden zijn gemaakt voor de afvoer van regenwater van verharding als baat opvoeren. Een gemiddelde jaarlijkse neerslag van 800mm geeft per vierkante meter groen €0,25 besparing op RWZI⁶.

In bovenstaande is het effect van de boomkruin niet meegenomen. Doen we dat wel, dan kunnen we ervan uitgaan dat één boom in een jaar tot wel 3000 liter aan water kan vasthouden, alleen al in de kruin. Het vastgehouden water bij langdurige zachte regen draagt bij aan minder afvoer naar de waterzuiveringsinstallatie, zie paragraaf 3.2. De 3000 liter afvang per jaar is de capaciteit van een volwassen boom, en om ook rekening te houden met jonge bomen is het kengetal bijgesteld naar 1500 liter. Een gemiddelde boom geeft daarmee een baat van €0,75 per jaar. Ook dit geldt alleen bij een gemengd rioelstelsel (of een verbeterd gescheiden rioelstelsel) waar het regenwater naar de zuiveringsinstallatie gaat. In polders zou je hier nog een extra waarde kunnen berekenen voor de bespaarde pompenergie.

Kortom

We nemen een deel van de groenbaten voor de thema's gezondheid, waarde van woningen en water mee. Voor de overige thema's worden de groenbaten (nog) niet gemonetariseerd.

3.4.2 Baten van groen voor praktijkvoorbeelden

In Kluck (2017a) vergelijken we inrichtingsvarianten voor tien praktijkvoorbeelden verdeeld over acht verschillende wijktypologieën. Voor deze praktijkvoorbeelden hebben we ook een groenvariant opgesteld. Deze hebben we vergeleken met de situatie met zeer weinig groen in het praktijkvoorbeeld. Voor elke groenvariant hebben we de groenbaten bepaald op bovenstaande drie thema's: gezondheid, waarde van woningen en water (zie paragraaf 3.4.1). Ook hebben we de gemiddelde jaarlijkse groenkosten per variant bepaald (aanleg, beheer en onderhoud) en hebben we de jaarkosten voor aanleg, beheer en onderhoud voor de hele herinrichting bepaald. Om deze praktijkvoorbeelden onderling te kunnen vergelijken zijn de kosten en baten omgerekend naar de eenheid per huishouden.

Figuur 3.6 toont de groenbaten per praktijkvoorbeeld ten opzichte van de totale investeringskosten voor een klimaatbestendige herinrichting. Dus 100% op de y-as duidt erop dat de groenbaten even hoog zijn als de totale herinrichtingskosten. De door ons (voorzichtig ingeschatte) baten van het vergroenen zijn dan zo hoog dat de investeringskosten maatschappelijk gezien weer terugkomen via de groenbaten. De baten liggen evenwel niet allemaal bij de gemeente.

Wat opvalt zijn de aanzienlijke groenbaten voor met name het vooroorlogs bouwblok (vlak), het stedelijk bouwblok (vlak) en de naoorlogse tuinstad hoogbouw (hellend). In deze voorbeelden zijn de groenbaten ruim twee keer zoveel als de kosten van de totale herinrichting. Voor de twee eerstgenoemde voorbeelden zijn de baten hoog door de grote inwonersdichtheid, ook de naoorlogse tuinstad hoogbouw heeft een relatief hoge dichtheid, maar vooral lage kosten bij herinrichting. Wat verder opvalt is dat vooral de gezondheidsbaten en de baten voor het rijk en gemeenten, de belasting-

inkomsten van het eigenwoningforfait en onroerende-zaakbelasting, hoog zijn. Baten in waterhuishouding zijn relatief klein en vaak niet gekwantificeerd als er geen verandering is in afvoer naar de RWZI.

Groenbaten zijn vooral belangrijk bij de argumentatie om in groen te investeren. Daarom geeft de grafiek in figuur 3.7 de baten ten opzichte van de kosten voor de aanleg en onderhoud van dat groen. Voor alle praktijkvoorbeelden zijn de groenbaten hoger dan de kosten voor groen.

Opvallend is dat nu de pieken veel hoger en deels verschoven zijn. Er zijn hier drie uitschieters met groenbaten die wel tien tot zestien keer zo veel zijn dan de kosten voor het groen. In deze praktijkvoorbeelden zijn de groenkosten heel laag (bij lage groenkosten is de verhouding tussen groenbaten en groenkosten relatief groot) doordat er geen groenstroken of wadi's zijn aangelegd, maar alleen bomen in een ruim plantgat met vaste planten. De andere voorbeelden waar wel groenstroken of wadi's zijn berekend komen op groenbaten die weliswaar lager zijn, maar toch nog overeenkomen met twee tot vier keer de kosten van groen.

In figuur 3.8 staan de drie thema's die we met voldoende overtuiging in de MKBA kunnen overnemen. Baten binnen het thema gezondheid geven ruim driekwart van de totale baten. Daarop volgen de baten die uit het eigenwoningforfait en de onroerende-zaakbelasting voortkomen voor rijk en gemeenten. De baten van de waterhuishouding zijn relatief klein ten opzichte van de andere twee thema's. Deze drie thema's alleen al geven een voldoende en overtuigende argumentatie voor de voordelen van groen in de stad.

3.4.3 Toekomstige potentie van groenbaten

Meer onderzoek naar de baten van groen is noodzakelijk, met name naar het vertalen in economische baten van de volgende thema's:

- Concentratie fijnstof: bij welke type straten (verkeersdruk) werken straatbomen niet nadelig?
- Minder energieverbruik door beschutting bomen tegen wind;
- Minder energieverbruik door verkoeling;
- Baten van opname CO₂-emissies;
- Baten van hogere biodiversiteit;
- Baten van geluidreductie door groen;
- Vermindering van autogebruik door groene routes;
- Minder doden door hitte- en koudestress;
- Baten sociale cohesie (naast minder verhuizingen): veiligheid, minder eenzaamheid, betere gezondheid, etc.

Geluidsreductie of stiltezones in steden zijn belangrijk voor de leefbaarheid (Gidlof-Gunnarsson en Ohrstromn 2007).

Geluid kan worden gedempt met 5 tot 6 decibel als er voor een groene inrichting wordt gekozen.

Groene daken leveren een reductie van het geluid met 1 tot 5,5 decibel (Vugt, 2010).

6. Jaarlijkse neerslagsom is gemiddeld 800 mm. Daarvan stroomt 70% van verhard oppervlak af naar riool. Dat wordt bij een gemengd systeem voor 95% naar de RWZI afgevoerd en bij een verbeterd gescheiden systeem voor 70%. Bij 1000m² (jaarlijks 800m³ neerslag) stroomt 560m³ naar het riool. Hiervan stroomt zo'n 500m³/jaar naar RWZI en dat kost €250,-/jaar. Dat is €0,25 besparing per m² groen.



Foto: Ronald Loeve

4 MKBA VOOR AFWEGING VAN KLIMAATBESTENDIGE STRAATINRICHTING

4.1 Inleiding

Om een goede afweging tussen klimaatbestendige straatinrichtingsvarianten te kunnen maken is inzicht nodig in de kosten en baten van de varianten. Voor een goede afweging hebben we een maatschappelijke kosten- en batenmethodiek (MKBA) ontwikkeld. Deze kosten en baten beperken zich niet tot alleen financiële kosten en baten. Het onderzoek geeft antwoord op de onderzoeksvragen of een MKBA een geschikt hulpmiddel is om keuzes te maken ten aanzien van de mogelijkheden van klimaatbestendigheid van woonstraten en hoe deze MKBA er uit dient te zien.

4.1.1 Opgave gemeenten: van beleid naar uitvoering

Gemeenten hebben een zorgplicht voor het doelmatig inzamelen en verwerken van afvloeiend hemelwater. Dit is een inspanningsverplichting met een grote beleidsvrijheid. Bij de invulling van deze zorgplicht maakt een gemeente een afweging tussen het nemen van preventieve maatregelen en de kosten die schade door wateroverlast met zich meebrengt.

Uit de diverse gesprekken die tijdens dit onderzoek zijn gevoerd met medewerkers van verschillende gemeenten is gebleken dat een afweging van klimaatbestendigheid bij herinrichting nog nauwelijks plaatsvindt en dat de huidige routines bij gemeenten vaak moeilijk zijn te doorbreken.

Veel gemeenten zijn zich op beleidsniveau aan het oriënteren op het onderwerp klimaatbestendigheid. Enkele steden zijn al verder: zij hebben een visie of adaptatiestrategie opgesteld en proberen daarmee klimaatadaptatie gestalte te geven. De praktijkvoorbeelden van klimaatadaptatie tot nu toe betreffen veelal pilots, losse projecten om een lokaal probleem op te lossen of om maatregelen te onderzoeken. Daarmee is veel kennis opgebouwd over de mogelijkheden om een straat, wijk en uiteindelijk een stad klimaatbestendiger te maken. Voor de komende jaren is het de uitdaging voor gemeenten om de stap te maken van beleid naar uitvoering en van pilotfase naar de gangbare praktijk. Idealiter betekent dit dat bij iedere ruimtelijke ontwikkeling, zoals de herinrichting van een straat, de vraag gesteld moet worden of en hoe daarbij rekening is te houden met een extremer

klimaat. Alleen op die manier kan Nederland klimaatbestendig worden, zoals door de Nederlandse overheden is vastgelegd in een gezamenlijke doelstelling voor komende jaren (Deltaprogramma, 2014a en 2014b).

4.1.2 Behoeften en barrières rondom klimaatbestendig inrichten

Om de stap naar uitvoering te kunnen maken is er bij gemeenten grote behoefte aan informatie over wat een klimaatbestendige inrichting is en wat de kosten en baten van de klimaatbestendige inrichting zijn. Want met goede informatie over kosten en baten van inrichtingsmogelijkheden kunnen inrichtingsvarianten met elkaar vergeleken worden en kunnen gemeenten een afweging maken of en hoe zij klimaatbestendigheid meenemen bij de (her)inrichting van een straat of een wijk.

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse is een goed instrument voor de afweging van klimaatbestendige inrichtingsvarianten.

Ook de perceptie dat klimaatbestendig inrichten kostbaar is en het gebrek aan financiële middelen, worden vaak genoemd als een belangrijke barrière voor het uitvoeren van klimaatbestendige maatregelen (Rovers et al., 2014). Onderzoek laat echter zien dat investeren in het voorkomen van schade vaak aantrekkelijk minder kosten met zich meebrengt dan de (ingeschatte) totale schade in de toekomst (Watkiss, 2011; Stern, 2006). Bovendien wordt het gebrek aan financiële middelen in de literatuur gezien als een te algemene verklaring voor de beperkte investeringen in klimaatbestendige maatregelen.

De hierboven genoemde onderzoeken belichten kosten en baten van klimaatadaptatie zeer globaal en op een mondiale schaal. Om tot uitvoering van klimaatbestendige maatregelen te komen is het nodig naar de situatie en mogelijkheden op het schaalniveau van de gemeente te kijken: stad, de wijk en de individuele straat. Uiteindelijk speelt zich op dit lokale

niveau het vraagstuk af hoe klimaatbestendigheid in de praktijk te brengen.

Klimaatadaptatie kan worden gezien als een toegevoegde waarde en niet als een losstaande doelstelling (Root et al., 2015). Gemeenten zullen vanuit kostenoverweging klimaatmaatregelen meekoppelen met ruimtelijke ingrepen die al plaatsvinden. Slechts bij uitzondering wordt een ingreep geïnitieerd vanuit de noodzaak om een locatie klimaatbestendig te maken, bijvoorbeeld als bestaande wateroverlast direct moet worden opgelost.

4.1.3 Praktische ondersteuning bij realisatie klimaatbestendige inrichting

In de komende jaren, maar ook nu al, ligt er voor gemeenten een grote opgave in de vernieuwing, renovatie en het groot onderhoud van en aan straten. Dit biedt kansen om deze straten klimaatbestendig in te richten. Om gemeenten te ondersteunen bij de realisatie van een klimaatbestendige inrichting hebben we gekeken naar de mogelijkheid om een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) toe te passen op de schaal van straatinrichting en deze verder uit te werken tot een bruikbare methodiek. De inrichting van een straat is een veel kleinere projectschaal dan zaken waarvoor maatschappelijke kosten-batenanalyses doorgaans worden ingezet. Dit is geen probleem, zolang kosten en baten van inrichting goed in beeld te brengen zijn. Om aan te sluiten bij de behoeften en werkwijze van gemeenten, hebben wij medewerkers van verschillende gemeenten actief bij dit onderzoek betrokken.

4.1.4 De maatschappelijke kosten-batenanalyse

In een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) worden de effecten van een project in kaart gebracht en zo mogelijk voorzien van een financiële waardering. De MKBA is een afwegingsinstrument waarmee een project op basis van consequenties voor de maatschappij kan worden afgewogen. Geprobeerd wordt om alle relevante kosten en baten in te schatten en op een rij te zetten. Daarbij wordt bekeken hoe deze zich door de tijd heen ontwikkelen en worden deze toekomstige kosten en baten naar het heden terugerekend (verdisconteerd).

De MKBA is ontstaan uit de behoefte bij de overheid om bij grote infrastructurele werken vooraf een beter en completer beeld van voor- en nadelen van het project en mogelijke varianten te krijgen. Met de MKBA is een vergelijking van varianten en consequenties mogelijk en kunnen keuzes beter overwogen worden. Een MKBA wordt opgebouwd door schattingen en aannames te doen van kosten en effecten, nu en in de toekomst, en kent dus per definitie vele onzekerheden. Belangrijk is om deze onzekerheden weer te geven en de gebruiker kritisch te laten meekijken naar relevantie en acceptatie van uitkomsten van een MKBA.

4.1.5 De MKBA toegepast op de herinrichting van een straat

Wij hebben de MKBA in dit onderzoek ingezet om inrichtingsvarianten op een gelijke wijze door te rekenen en onderling te kunnen vergelijken. Het is niet bedoeld als calculatieprogramma om een nauwkeurige berekening te maken van de hoogte van een eindbedrag, maar wel bedoeld om kosten en baten in te schatten en onderlinge verschillen tussen inrichtingsvarianten in beeld te brengen. Het werken met aannames en kengetallen als input voor de berekeningen betekent dat de uitkomsten van de MKBA altijd inschattingen zijn met een onzekerheid die bepaald wordt door de inputgegevens. De hoogte van uiteindelijke kosten en baten zijn orde-grootte-inschattingen met een onzekerheidsmarge. Uitgangspunt bij de ontwikkeling van de MKBA-methodiek is dat de uitkomsten ervan door de gebruiker geaccepteerd en ondersteund kunnen worden. Het is daarom van belang transparant te zijn over aannames, inschattingen, gebruikte kengetallen en hieruit voortvloeiende onzekerheden.

4.2 Uitgangspunten en afbakening MKBA-methodiek

In de volgende paragrafen presenteren we de gehanteerde voorwaarden en uitgangspunten.

4.2.1 Doelgroep

De MKBA-methodiek is bedoeld voor beleidsmakers, ontwerpers en beheerders die werken aan de praktische inrichting van de openbare ruimte en aan water en riolering. De MKBA moet hen ondersteunen bij het

opzetten van inrichtingsvarianten en het maken van een goede overweging bij een straatinrichting. De MKBA kan met uitgewerkte voorbeelden ook een bijdrage leveren aan visievorming en het opstellen van een klimaatadaptatiestrategie. Ook kan de uitgebreide versie van de MKBA-methodiek onderzoekers verder helpen in het generaliseren van specifieke praktijkvoorbeelden naar generiek waardevolle onderzoeksresultaten.

4.2.2 Meekoppelen

Ruimtelijke aanpassing, herinrichting, renovatie en vernieuwing in de bestaande stad is voor gemeenten een grote opgave. De ingrepen zijn vaak kostbaar en gaan gepaard met tijdelijke overlast en soms ook met economische schade als gevolg van opgebroken straten en wegen. Ook zijn er diverse partijen met verschillende belangen betrokken, wat tot een ingewikkeld proces kan leiden. Om deze redenen probeert een gemeente de diverse ruimtelijke maatregelen die op een locatie worden uitgevoerd, te clusteren. De planning van de belangrijkste en meest urgente ingreep is daarbij leidend. Dit zijn sloop of nieuwbouw van woningen of gebouwen, een reconstructie van de rijweg of vervanging van de riolering. Uitvoering van een van deze werkzaamheden biedt kans om andere zaken die anders niet gerealiseerd kunnen worden ook tot uitvoering te brengen. Het aanhaken op activiteiten die gaan plaatsvinden en het samen optrekken, wordt **meekoppelen** genoemd.

Bij groot onderhoud, renovatie en nieuwbouw maken gemeenten, al dan niet met betrokkenheid van inwoners, keuzes over de nieuwe inrichting van de openbare ruimte. Dát is het moment waarop gemeenten invulling kunnen geven aan klimaatadaptatie.

Voorwaarde voor het klimaatbestendig inrichten van een bestaande straat is dus dat de straat op de schop gaat als gevolg van rioolrenovatie, reconstructie van de weg of bouwwerkzaamheden. Het ligt voor de hand dat een klimaatbestendige inrichting is gekoppeld aan rioleringswerkzaamheden, maar dit is niet noodzakelijk.

De inrichting en het straatwerk van een straat in Nederland is gemiddeld elke 30 jaar aan vervanging toe. Een rioelstelsel gaat gemiddeld ongeveer 60 jaar mee (Stichting RIONED, 2015: Leidraad Riolering D1100).

Ongeveer eens in de 30 jaar is er dus een kans om een straat anders en bijvoorbeeld klimaatbestendiger in te richten. Als daarbij ook het riool vervangen wordt, ligt er een kans om de ondergrondse afvoer van regenwater anders in te richten: scheiden, infiltreren, verminderen of juist vergroten van de afvoercapaciteit.

Het meekoppelen met andere projecten (om zo in circa 30 jaar de hele stad aan te pakken) is een prima manier om de stad klimaatbestendiger te maken indien dit wordt gecombineerd met het aanpakken van enige kritieke locaties waar een klimaatbestendige inrichting urgent is.

4.2.3 Gebiedsfocus

De ontwikkelde MKBA-methodiek richt zich op projectgebieden ter grootte van een individuele straat of een gedeelte van een straat en sluit daarmee aan bij de focus van gemeenten bij planvorming voor herinrichting en werkzaamheden zoals wegconstructie en rioolvervanging. De ontwikkelde MKBA-methodiek beschouwt alleen de herinrichting van de openbare ruimte. De kosten voor eventuele verbouw of nieuwbouw van bebouwing of herinrichting van private ruimte worden buiten beschouwing gelaten. Wel wordt de private ruimte meegenomen bij de technische beschouwing van de inrichting, als zijnde oppervlak waarvan water wordt afgevoerd naar de openbare ruimte en oppervlak waar eventueel oplossingsmaatregelen kunnen worden uitgevoerd.

4.2.4 Kostendragers en baathouders

Een MKBA geeft inzicht in het totaal aan kosten en baten die direct of indirect bij de maatschappij liggen. De MKBA maakt niet overall expliciet wie de kosten maakt of wie de baten heeft, zodat dit geen recht doet aan de afzonderlijke partijen. Een inrichtingsvariant die bijvoorbeeld veel geld bespaart doordat er veel minder waterschade optreedt, is gunstig voor bewoners, bedrijven en verzekeraars. De gemeente is echter de partij die moet investeren en beheren. Bij een andere variant kan het afvoeren van regenwater naar oppervlaktewater voordelig uitpakken voor bewoners, bedrijven, verzekeraars en gemeente, maar voor de waterbeheerder tot kosten leiden om het water te bergen of af te voeren.

Ook binnen de gemeente spelen verschillende belangen, bijvoorbeeld tussen afdelingen onderling. Een algemeen belang kan door individuele belangen van afdelingen in het gedrang zijn, bijvoorbeeld wanneer afdelingen met starheid vasthouden aan eigen budgetten en niet in staat zijn met andere afdelingen samen te werken aan een gezamenlijke, afdelingsoverstijgende financiering. Een voorbeeld is de aanleg van een wadi waardoor het groenonderhoud toeneemt, terwijl het extra budget hiervoor ontbreekt. Dit kan ertoe leiden dat het juiste onderhoud niet plaatsvindt en de voorziening na verloop van tijd onvoldoende functioneert.

Het is interessant om te weten hoe kosten en baten zodanig over de betrokken partijen kunnen worden verdeeld dat de oplossing met de laagste maatschappelijke kosten voor alle partijen interessant wordt. Dit onderzoek geeft vooral inzicht in de kosten en kan een basis zijn voor afspraken over de verdeling van kosten en baten.

4.2.5 Aannames, kengetallen en het omgaan met onzekerheden

Bij het opstellen van een MKBA worden veel aannames gedaan. Enerzijds omdat harde gegevens simpelweg ontbreken, anderzijds omdat een MKBA binnen een bepaalde tijd en een bepaald budget moet worden opgesteld. Voor de door ons ontwikkelde MKBA-methodiek geldt dit niet anders en hebben we dus gebruik gemaakt van kengetallen en aannames. Zie ook paragraaf 4.3 voor verwijzingen naar deze aannames en kengetallen.

Voor het uitvoeren van een MKBA met een gebiedsfocus van projectgebieden ter grootte van een individuele straat of een gedeelte van een straat is het noodzakelijk om een goed onderbouwde inschatting te hebben van:

- de kosten van materialen en diensten;
- de hoeveelheid benodigde materialen en arbeid;
- de baten van de maatregelen;
- de waterschadebedragen.



Foto: Ronald Loeve

Hiervoor hebben we de volgende bronnen geraadpleegd:

- Kenmerken en kosten riool en rioolbeheer: Leidraad Riolering D1100 (Stichting RIONED, 2015);
- Kenmerken en kosten bestrating: Bouwkostenkompas (www.bouwkostenkompas.nl);
- Kansen op wateroverlast: Achtergrond-documenten bij voorbeeldenboeken klimaatbestendig inrichten (Kluck et al., 2016 en Kluck et al., 2017b);
- Kosten wateroverlast: Afgeleid van STOWA WaterSchadeSchatter (WSS) (Nelen en Schuurmans, 2013) www.waterschadeschatter.nl
- Kosten ziektegeval: Studie Doelmatigheidstoets Hemelwaterbeleid, ministerie van VROM (Grontmij en Sterk Consulting, 2009).

4.2.6 Gebruikmaking straattypologieën

In dit onderzoek gebruiken we straat/wijktypologieën om de grote variatie in inrichtingsmogelijkheden van straten te ordenen en om een duidelijke boodschap te kunnen vertellen die zowel de technische (water)beheerders als de ontwerpers aanspreekt. Deze aanpak hebben we ook voor de MKBA gebruikt.

Gebiedskenmerken zijn bepalend voor de kansen voor klimaatadaptatie. Zo maakt het vele publieke groen in naoorlogse tuinsteden deze minder kwetsbaar voor overlast en schade door hitte en extreme regenval. In binnensteden is de ruimte vaak beperkt en is men eerder aangewezen op technische – bijvoorbeeld ondergrondse – oplossingen. De typische structuur van bloemkoolwijken biedt juist weer ruimte voor wadi's om hevige regenbuien lokaal te kunnen verwerken.

Stedelijke typologieën worden in de regel onderscheiden naar bouwjaar, bebouwingsvorm en organisatie van het publieke en private domein (Wassenberg, 1993; Beaten et al., 2004; Lorzing, Harbers en Schluchter, 2008; Ibelings, 1999). De onderverdeling in typologieën en de vertaling daarvan naar het stedelijk microklimaat zoals in dit hoofdstuk wordt beschreven, is gebaseerd op onderzoek van Kleerekoper (2016). Een uitgebreide beschrijving van de diverse typologieën en de kansen voor klimaatadaptatie is te vinden in Kluck et al. (2017a en 2017b).

4.3 De MKBA-methodiek

We hebben in dit onderzoek een gedetailleerde MKBA-methodiek opgezet in Excel waarmee we zelf varianten konden opstellen en vergelijken. Deze MKBA-methodiek hebben we ingezet voor de praktijkvoorbeelden in Voor hetzelfde geld klimaatbestendig: Voorbeelden klimaatbestendige inrichting (Kluck et al., 2016) en Het klimaat past ook in uw straatje: De waarde van klimaatbestendig inrichten (Kluck et al., 2017a).

De Excel-rekenbladen vereisen dat de gebruiker de hoeveelheden van type verharding, rioolbuizen, en bomen aangeeft en zo de varianten beschrijft. De MKBA-methodiek werkt met een database van kosten-kengetallen voor aanleg, beheer en onderhoud. De MKBA-methodiek heeft een methodiek voor contante waarde zodat de jaarkosten voor een langere reeks jaren kunnen worden geschat. Ook de berekeningen van de jaargemiddelde waterschade (op basis van frequenties van falen en een schatting van het aantal panden met schade) zijn opgenomen.

De gedetailleerde MKBA-methodiek is uitgebreid beschreven in het voorbeeldenboek (Kluck et al., 2017a) en vooral in het achtergronddocument (Kluck et al., 2017b). Deze methodiek is voor onderzoekers goed te gebruiken en is door gebruik steeds worden verbeterd. De gedetailleerde MKBA-methodiek (in Excel) is, met heldere invoervelden en inmiddels veel ingevoerde kengetallen online beschikbaar op

www.hva.nl/klimaatbestendigestad. Ook is de uitgebreide MKBA-tool beschikbaar in de online versie van het achtergrondenboek Het klimaat past ook in uw straatje: De waarde van klimaatbestendig inrichten. Achtergronden (Kluck et al., 2017b).

Voor het werkveld hebben we gewerkt aan de doorontwikkeling tot een veel eenvoudiger bruikbaar hulpmiddel: **de MKBA-straattool**. De MKBA-methodiek voor het werkveld moet eenvoudig kunnen worden toegepast. Er moeten dus niet te veel of te gedetailleerde gegevens vereist zijn om een MKBA voor de straat op te zetten. Toch zijn er wel gegevens van enig detailniveau nodig om een plausibel en op de straat toegespitst beeld te kunnen genereren van kosten en baten van inrichtingsvarianten voor deze straat. Vereenvoudiging kunnen we bewerkstelligen door aannames te doen. Dit heeft tot gevolg dat er een marge van onzekerheid moet worden geaccepteerd.

De MKBA-straattool genereert met enkele invoergegevens een beeld van de lokale situatie van een straat en het rioolstelsel. Hierna worden keuzes voorgesteld ten aanzien van een nieuwe inrichting van de openbare ruimte, het rioolstelsel en het omgaan met regenwater. Hieruit volgt direct een beeld van de consequenties in de vorm van een MKBA-overzicht. De MKBA-straattool is nog niet klaar (status april 2017). Bijlage 2 beschrijft meer uitgebreid de ontwikkeling van een eenvoudig toepasbare MKBA-methodiek, de MKBA-straattool, voor de herinrichting van straten in zeven stappen.



Foto: Ronald Loeve



Foto: Laura Kleerekoper

5 DE BOODSCHAP: HET KLIMAAT PAST OOK IN UW STRAATJE

Een van de onderzoeksvragen betreft het overtuigen van de collega's. Bij het opstarten van dit onderzoek en tijdens gesprekken met het werkveld kwam duidelijk naar voren dat bij veel gemeenten mensen werken die inzien dat het belangrijk is om iets aan klimaatadaptatie te doen, maar die moeite hebben hun collega's te overtuigen. De urgentie wordt niet gevoeld, of er is weerstand omdat het extra geld en tijd kost of te ingewikkeld zou zijn. Een belangrijk doel van ons onderzoek was dan ook te laten zien dat klimaatbestendig inrichten meestal niet ingewikkeld of duurder is.

We presenteren hier vier hoofdrichtingen voor de verspreiding van deze boodschap:

- 1 Voorbeeldenboek (paragraaf 5.1);
- 2 Workshops (paragraaf 5.2);
- 3 Uitgevoerde projecten zichtbaar maken (paragraaf 5.3);
- 4 Onderwijs (paragraaf 5.4).

5.1 Voorbeeldenboek: Het klimaat past ook in uw straatje

In ons onderzoek hebben we sterk ingezet op het overdragen van de boodschap met behulp van een voorbeeldenboek (Kluck et al., 2016 en Kluck et al., 2017a).

5.1.1 Opzet

In de praktijk blijkt het lastig om klimaatbestendigheid als extra opgave bij de herinrichting van straten mee te nemen. In reguliere woonstraten is het nodig dat bij elke herinrichting ook klimaatbestendigheid wordt overwogen. Daartoe moeten zowel de ontwerpers als de beheerders worden overtuigd van dit onderwerp en de mogelijkheden.

We hebben er daarom voor gekozen de wijktypologieën als ordenend principe te gebruiken. Mensen begrijpen dat een bloemkoolwijk anders is dan een naoorlogse binnenstad en dat maatregelen voor



Figuur 5.1. Presentatie van het boek *Het klimaat past ook in uw straatje* aan watergraaf Stefan Kuks en minister van Infrastructuur en Milieu Melanie Schultz van Haegen op de Netwerkdag Ruimtelijke Adaptatie (foto Monique Kooijmans).

klimaatadaptatie dus ook kunnen verschillen. Ook is het logisch dat de overeenkomsten tussen de wijken van hetzelfde type in verschillende steden tot ongeveer dezelfde oplossingen leiden. Daarnaast hebben we ons gericht op het tonen van uitgewerkte concrete voorbeelden met varianten, voorzien van een gedetailleerde kosten-batenanalyse. Hiermee kunnen mensen die denken dat het te duur en te ingewikkeld is, worden overtuigd.

Een klimaatbestendige inrichting is veelal eenvoudig en voordelig.

Het voorbeeldenboek biedt in het proces van herinrichting de benodigde inspiratie en kan helpen om collega's te overtuigen van de mogelijkheden. Het heeft daartoe meer plaatjes dan tekst en is visueel aantrekkelijk opgemaakt.

5.1.2 De verspreiding

Op de Netwerkdag Ruimtelijke Adaptatie: Ambities waarmaken (19 januari 2017) hebben we het boek *Het klimaat past ook in uw straatje: De waarde van klimaatbestendig inrichten. Voorbeeldenboek* (Kluck et al., 2017a) gepresenteerd.

Met dit voorbeeldenboek laten we aan de hand van veelvoorkomende straatbeelden zien dat een klimaatbestendige inrichting van woonstraten veelal eenvoudig is en voor vlakke gebieden niet duurder hoeft te zijn dan de traditionele inrichting. We laten zien hoe een straat klimaatbestendig ingericht kan worden, wat een klimaatbestendige inrichting kost, maar vooral ook wat de voordelen zijn. Voor karakteristieke – en voor veel gemeenten herkenbare – straten hebben we telkens vier inrichtingsmogelijkheden uitgewerkt met de bijbehorende kosten en baten.

Reacties op het voorbeeldenboek

Rob Heukels, Gemeente Hengelo (Ov): “Het boek *Het klimaat past ook in uw straatje* meegenomen. Ik vind het van groot belang dat deze filosofie ook bij onze ontwerpers/besteksvorbereiders tussen de oren komt. Vraag: weet jij of er hiervoor workshops kunnen worden georganiseerd?”

Simon Zijlstra, adviseur stedelijk watermanagement: “Het boekje geeft sprekende voorbeelden. Het helpt om concreter te zijn. Momenteel ben ik met een aantal beleidsplannen bezig, waarbij jargon een valkuil kan zijn. De getoonde straatbeelden met klimaatbestendige oplossingen zijn een mooie en duidelijke aanvulling bij planvorming.”

René Fronik, algemeen directeur van Fronik Infra B.V. te Mijdrecht: “Ik heb met belangstelling de publicatie gelezen. Een publicatie die met heldere voorbeelden voor mij een eyeopener vormt met welke eenvoudige ingrepen een straat/wijk klimaatbestendiger kan worden ingericht. Heel interessant, zeker in combinatie met de te verwachten kosten per gekozen variant. Maar ook erg nuttig voor mij om over na te blijven denken en mee te nemen bij herinrichtingsprojecten. Dus bij toekomstig nieuws over dit onderwerp hou ik me zeer aanbevolen om geïnformeerd te worden.”

Het voorbeeldenboek is een vervolg op het voorbeeldenboek *Voor hetzelfde geld klimaatbestendig* (Kluck et al., 2016) en op de publicatie *Kostenindicaties van klimaatmaatregelen in de stad* (SBRCURnet, 2014). In deze publicaties waren respectievelijk drie en één voorbeeld van een woonstraat opgenomen. Het nieuwe voorbeeldenboek bevat tien praktijkvoorbeelden met klimaatbestendige inrichtingsvarianten. Daarbij behandelt dit boek naast vlakke gebieden ook hellende gebieden, verschillen in doorlatendheid van de bodem en grondwaterstanden. Het succes van het eerste voorbeeldenboek leidde ertoe dat STOWA, ministerie van Infrastructuur en Milieu en Tauw besloten bij te dragen aan een vervolgversie.

De voorbeeldenboeken zijn goed ontvangen en er bleek veel interesse bij onze kennistafel op de landelijke RIONEDdag op 2 februari 2017. Enkele gemeenten en samenwerkingsverbanden hebben ons sindsdien verzocht workshops en presentaties te komen geven.

5.1.3 Klimaatbestendig inrichten in de praktijk: conclusies

De tien uitgewerkte praktijkvoorbeelden laten zien dat een klimaatbestendige inrichting in veel gevallen eenvoudig kan zijn en dat er verschillende mogelijkheden zijn. Voor vlakke gebieden hoeft een klimaatbestendige inrichting niet duurder te zijn dan de traditionele inrichting. Vooral het lager aanleggen van de straat is een eenvoudige en goedkope maatregel, waarmee de kosten voor beheer en onderhoud gelijk blijven en de waterschadekosten sterk afnemen. Varianten zonder regenwaterriool zijn ongeveer even duur als de traditionele inrichting. De meerkosten zijn ongeveer gelijk aan de uitgespaarde schadepkosten.

Voor hellende gebieden ligt het gecompliceerder. Water vasthouden op een helling kost meer inspanning dan op vlak terrein. De noodzaak om water vast te houden op een helling hangt af van de benedenstroomse situatie. Als daar kwetsbare gebouwen

liggen, is water vasthouden noodzakelijk. De mogelijke schade door wateroverlast in hellende gebieden, of vaker, benedenstrooms, kan aanzienlijk zijn en van situatie tot situatie sterk verschillen. In het benedenstroomse gebied hoeft in zo'n geval niet altijd een woonstraat te liggen. Er kan ook een ziekenhuis staan, waar instromend water tot grote schade kan leiden.

Aangezien de schade bij hellende gebieden van geval tot geval verschilt, hebben we ons beperkt tot het tonen van de mogelijkheden van het vasthouden van water in hellende gebieden. We hebben ook de kosten van het vasthouden berekend en vergeleken met de traditionele herinrichting.

Op hellende terreinen waar het water ondergronds moet worden geborgen, betekent circa 20 mm ondergronds vasthouden grofweg een verdubbeling van de herinrichtingskosten. Maar indien er in een hellend gebied veel openbare ruimte is (bijvoorbeeld in de naoorlogse tuinsteden hoogbouw) en de groenvoorzieningen deels evenwijdig aan de hoogtelijnen liggen (bijvoorbeeld in bijna vlakke zijstraten), is het goed mogelijk water op een goedkopere manier vast te houden. Dan komt voor *hetzelfde geld klimaatbestendig* weer in beeld.

De praktijkvoorbeelden in dit boek laten zien dat de mogelijkheden voor het klimaatbestendig inrichten nauw samenhangen met de wijktypologieën. In de ruimer opgezette wijktypologieën (met meer publiek terrein), zoals de naoorlogse tuinstad hoogbouw en de bloemkoolwijk, is er ruimte genoeg om water in groenstroken te bergen. Zelfs in hellende gebieden zijn daar mogelijkheden om het water vast te houden. De dichter bebouwde binnensteden (historisch bouwblok, tuindorp en vooroorlogs bouwblok) hebben maar weinig ruimte op straat. In dichtbebouwde vlakke gebieden kan met een lager maaiveld veel waterberging op straat worden gecreëerd, zodat water minder snel de woningen binnenstroomt. Ook doorlatende verharding en andere infiltratievoorzieningen zijn mogelijk om deze gebieden klimaatbestendiger in te richten.

Het beperken van hittestress in een straat vereist vooral de aanwezigheid van bomen, vanwege hun schaduwwerking. Er is echter geen duidelijke doelstelling voor het omgaan met hitte of een norm voor de hoeveelheid schaduw die gewenst is. Daardoor is er geen duidelijk beeld te geven van een 'volledig'

hittebestendige straat. Wij hebben met de TEEB-stad-methodologie (zie ook hoofdstuk 3) voor een aantal praktijkvoorbeelden laten zien dat de baten van groen de meerkosten voor beheer en onderhoud ruimschoots compenseren. Indien gezondheidskosten en leefcomfort worden meegenomen, zijn de jaarlijkse baten zelfs enige malen hoger dan de jaarkosten voor de herinrichting. Deze baten komen niet rechtstreeks ten goede aan de overheid, die de kosten draagt van de inrichting, maar wel aan de samenleving als geheel. De waardevermeerdering van panden door de aanwezigheid van groen leidt wel tot extra inkomsten bij het rijk (via WOZ) en de gemeente (OZB).

Kortom:

- In vlakke gebieden is een klimaatbestendige inrichting goed mogelijk.
- Verlagen van het straatprofiel is het goedkoopst.
- Vergroenen is multifunctioneel (infiltratie, beperken hittestress, beperken kosten zuivering).
- Alternatieven voor regenwaterriolering kunnen voor de gemeente duurder uitvallen dan de traditionele regenwaterriolering. Maatschappelijk gezien kunnen ze echter aantrekkelijk zijn, omdat de kostenbesparingen bij wateroverlast gelijk zijn aan de meerkosten. Het vasthouden van regenwater heeft bovendien voordelen voor het watersysteem en mogelijk voor de RWZI.
- Meeliften met herinrichtingen en groot onderhoud is essentieel om de meerkosten beperkt te houden.

Wij hopen dat het voorbeeldenboek gemeenten en uitvoerders inspireert en helpt om bij een herinrichting of groot onderhoud te kiezen voor meer klimaatbestendige inrichtingsvarianten. Wij adviseren gemeenten en uitvoerders om op basis van de lokale kenmerken eerst te onderzoeken hoe de regenwaterafvoer functioneert bij extreme buien, na te gaan waar het water bovengronds naartoe kan gaan en of dat gewenst is, en vervolgens te overwegen of er met eenvoudige maatregelen meer ruimte voor water en groen kan worden gecreëerd. Zo maken we samen onze straten één voor één klimaatbestendig.

5.2 Klimaatbestendig inrichten in de praktijk: samenwerking

Om het onderwerp klimaatadaptatie in een gemeente hoger op de agenda te krijgen is het van belang dat mensen inzicht krijgen in de gevolgen van klimaatverandering en in de mogelijkheden om er wat aan te doen. Klimaatadaptatie zal voor velen weer een extra opdracht of randvoorwaarde zijn in de complexe projecten die ze uitvoeren of beheren. Een interactieve workshop is een geschikt middel omdat het betrokkenheid vergt, meestal over een concrete (liefst eigen) locatie gaat en omdat men dan met collega's in contact komt die ook iets kunnen betekenen voor dit onderwerp, maar met wie in het reguliere werk mogelijk weinig contact is.

We hebben tijdens het onderzoek een workshop in Eindhoven georganiseerd gedaan en in Hoogeveen hebben we een uitgebreide serie workshops opgezet: masterclasses Hoogeveen. Deze masterclasses waren onderdeel van het impactproject klimaatbestendig inrichten in Hoogeveen van het ministerie van

Infrastructuur en Milieu om klimaatadaptatie te bevorderen. De Hanzehogeschool Groningen heeft daarin samen met de gemeente Hoogeveen, Waterschap Drents Overijsselse Delta en diverse andere partijen in drie masterclasses inzicht gecreëerd in de problematiek en oplossingen voor wateroverlast en hittestress in de gemeente Hoogeveen en omgeving. Zie Boogaard et al. (2016) voor meer informatie.

5.3 Projecten zichtbaar maken

De workshops en ook de ervaringen uit de praktijk laten zien dat het belangrijk is dat men ziet dat het kan, en dat het overal kan. Enthousiasme geeft het geheel een persoonlijk noot, en dat is waardevol, want het spreekt mensen aan. Een mooi voorbeeld is de tocht (paragraaf 5.3.1) die Thomas Klomp, adviseur stedelijk water en klimaatadaptatie bij de gemeente Hoogeveen en actief consortiumlid van dit onderzoek, heeft gemaakt. Maar ook de tool (paragraaf 5.3.2) van de Hanzehogeschool Groningen om voorbeelden op internet te tonen verdient aandacht.

Een tocht door Nederland

(Thomas Klomp)

...We begonnen in Arnhem. Via de wijk Monnikenhuisen met zijn bovengrondse afvoer op hellend gebied reden we door naar Arnhem Schuytgraaf aan de andere kant van de Rijn. Gebouwd in oud polder- en kleigebied. Ook hier (deels) bovengrondse afvoer, met V-profielen, robuuste lijngoten en wadi's als bergingsgebieden. Daarna op pad naar Tiel. Het waterplein van de Urbanisten. Verder naar Zaltbommel, een waterpleintje (de grote verrassing van de dag) met een ondergrondse en bovengrondse bergende functie. Door naar Den Bosch waar het Eikendonkplein en de wijk Groote Wielen op het programma stonden. Afsluiter was Eva-Lanxmeer, maar dat vervaagde al in de schemer. Maandag hebben we ook de groene infiltratiegoot in Amsterdam aangedaan.

Op zo'n dag praat je veel met elkaar. Wat zie je? Wat merk je? Wat valt nu op? En ja, als je op zondagmorgen vroeg op je buik ligt foto's te maken van een goot in de straat, duurt het maar eventjes of iemand in z'n badjas vraagt wat je precies komt doen! Het zijn waardevolle gesprekken. Met de juiste vragen aan de mensen die er wonen kom je erachter wat nu wel werkt en wat niet. En goot midden in de weg (waar bij menig civiel technicus en ingenieur nog wel eens discussie over is) is al vijftien jaar functioneel, nooit vervangen, goed te berijden, ook in te zetten als verkeersremmer. Nagenoeg smetteloze staat van dienst in al z'n robuustheid en eenvoud. In een wijk met alleen maar oppervlakkige afvoer. Dat zijn de verhalen die je wilt horen!

5.3.1 Een tocht door Nederland

Thomas Klomp (gemeente Hoogeveen) heeft met onder andere Gregor van Lit (gemeente Amsterdam-Zuidas) en Floris Boogaard (Hanzehogeschool Groningen, Tauw) een tocht langs klimaatadaptatielocaties gemaakt en daarover bericht op sociale media. Ze lieten zien dat er op veel plaatsen al veel gebeurt, en dat er dus veel mogelijk is. Op 2 februari 2017 stond Thomas Klomp op het grote podium op de landelijke RIONEDdag en presenteerde hij zijn resultaten (figuur 5.2). Zijn aanpak sloeg aan en heeft veel mensen bereikt. Alle bezochte plaatsen zijn (letterlijk) op de kaart gezet op www.climatescan.nl.

5.3.2 Zichtbaar op internet

Om projecten zichtbaar te maken heeft Hanzehogeschool enige jaren geleden [Climatescan.nl](http://www.climatescan.nl) (www.climatescan.nl) ontwikkeld. Dit is een handige website waarop onder andere klimaatadaptatie-projecten een plek kunnen krijgen, zodat iedereen kan zien wat er allemaal al gebeurt en nieuwe ideeën kan opdoen. Het mooie is dat iedereen zelf projecten kan toevoegen. Op www.climatescan.nl staan veel creatieve 'groene en blauwe' oplossingen die al geïmplementeerd zijn. Het zijn zowel Nederlandse als internationale voorbeelden. De boodschap is dat er al heel veel voorbeelden zijn en dat we kunnen leren van de creativiteit en ervaring van onze (verre) burens.

5.4 Onderwijs

Het is belangrijk dat de studenten van nu, de nieuwe watermanagers, stedenbouwkundigen, en civiel ingenieurs van de toekomst zich bewust zijn van klimaatverandering en hier in hun werk rekening mee houden. Hogeschool van Amsterdam en Hanzehogeschool Groningen hebben het onderwerp in hun curriculum opgenomen:

- Minor 'Klimaatbestendige Stad', Hogeschool van Amsterdam waarin studenten samen met een gemeente waterhuishoudkundige klimaatproblemen voor een bepaalde locatie bestuderen.
- Afstudeeratelier over klimaatbestendige inrichting, Hogeschool van Amsterdam en Hanzehogeschool

Groningen waarin studenten voor gemeenten en waterschappen praktijkvoorbeelden van klimaatbestendig inrichten opzetten en uitwerken met de methodiek van het voorbeeldenboek.

- *Full scale* testen
Studenten doen mee aan proeven waarin klimaatbestendige voorzieningen onder water worden gezet zodat de werking voor alle factoren duidelijk wordt.
- Vullen Climatescan
Studenten verzamelen informatie en vullen hiermee de website www.climatescan.nl, waarmee alle belanghebbenden hun voordeel kunnen doen.



Foto: Floris Boogaard

Figuur 5.2. Thomas Klomp op de RIONEDdag, 3 februari 2017.



Figuur 5.3. Climatescan.nl



6 ADVIEZEN OM KLIMAATBESTENDIG IN TE RICHTEN

Op basis van ons onderzoek komen we met de volgende tien adviezen om bij herinrichting straten en wijken klimaatbestendig te maken.

1. Toon de urgentie van hitte met de 'hittemindmap'.

Overtuig collega's van de noodzaak van een hittebestendige inrichting, gebruikmakend van de hittemindmap en onderstaande adviezen.

Om collega's ervan te overtuigen dat hitte in ieder stedelijk ontwerp zou moeten worden meegewogen, is het soms nodig om inzicht te geven in de gevolgen die extreme hitte voor het stedelijk gebied met zich meebrengt. De mindmap (Figuur 2.1) kan daarvoor een mooie aanzet geven en kan gebruikt worden om aan te geven welke effecten zullen afnemen door hittebestendig in te richten. Daarnaast kunnen onderstaande aanbevelingen worden gebruikt om collega's bewust te maken van de noodzaak van een hittebestendige inrichting.

- Verduidelijk wie de probleemeigenaren zijn van de gevolgen van extreme hitte.
- Koppel de boodschap aan recente gebeurtenissen die te maken hebben met extreme hitte.
- Laat voorbeelden zien van andere steden in warmere klimaten en hoe zij omgaan met hitte.
- Koppel het hittebestendig inrichten aan andere ambities van de stad, en laat het geen doel op zich zijn.
- Presenteer de gevolgen van extreme hitte tegelijk met mogelijke oplossingen.
- Benadruk niet alleen de negatieve gevolgen van meer hitte, maar geef ook inzicht in de positieve effecten (meer recreatie aan plassen en meren en een toename in het gebruik van de buitenruimte).

2. In een klimaatbestendige stad dienen de gevolgen van hitte te worden meegewogen in ieder ontwerp.

Een leefbare stad vraagt om ruimtelijke aanpassingen zodat er voldoende koele plekken zijn tijdens hete dagen. Duidelijk is dat schaduw en groen de beste koele inrichtingsmaatregelen zijn. Uit een peiling tijdens het symposium van dit onderzoek in 2015 bleek dat een richtlijn niet nodig of niet wenselijk is. Een goede aanpak zou zijn om in ieder ontwerp een bewuste (eigen) overweging te maken met betrekking tot hittestress.

3. Houd in het ontwerp rekening met een zeer extreme bui.

Voor het ontwerp van straten is het verstandig rekening te houden met zeer extreme neerslag. Bij welke herhalingstijd water in woningen moet worden voorkomen is aan de gemeente. Uitgaande van once in a lifetime lijkt een herhalingstijd in de orde van 100 jaar logisch. Veelal blijkt bij een analyse dat op eenvoudige wijze zeer extreme buien (bijvoorbeeld 40 tot 100 mm in één uur) zonder schade kunnen worden verwerkt, door berging op straat of afvoer. Daarom is het verstandig de maatregelen voor verschillende extreme waarden te onderzoeken. Afhankelijk van de vereiste inspanning kan men maatregelen kiezen.

Wij adviseren gemeenten en uitvoerders om op basis van de lokale kenmerken eerst te onderzoeken hoe de regenwaterafvoer functioneert bij extreme buien, na te gaan waar het water bovengronds naartoe kan gaan en of dat gewenst is, en vervolgens te overwegen of er met eenvoudige maatregelen meer ruimte voor water en groen kan worden gecreëerd. Zo maken we samen onze straten één voor één klimaatbestendig.

4. Het zonder waterschade kunnen verwerken van 60 mm neerslag in één uur kan voorlopig worden gezien als toekomstbestendig.

Er is discussie in Nederland over het bepalen van de hoeveelheid kortdurende neerslag die zonder schade moet kunnen worden verwerkt. Omdat de afvoer van regen van straten en daken relatief snel gaat, zijn kortdurende buien, met een buiduur van bijvoorbeeld één uur, van belang. Doordat we steeds meer meten

(met grondstations en radar) zien we dat extreme buien vrij vaak optreden. Uit gegevens van de buien-radar blijkt dat 60 mm in één uur wel meer dan 60 keer per jaar ergens in Nederland wordt gemeten. Voor het ontwerp van een straat of wijk is het echter niet belangrijk hoe vaak het ergens in Nederland (of in Noordwest-Europa) mis gaat, maar hoe groot de kans is dat een extreme waarde op die plek wordt overschreden.

Een bui van 60 mm in één uur wordt steeds vaker gezien als een maat voor de extreme neerslag waarop we moeten anticiperen. Deze 60 mm in één uur valt binnen de verwachte bandbreedte (50 tot 70 mm in één uur) voor de maximale uurneerslag eens per 100 jaar, uitgaande van 2°C temperatuurstijging (Kluck et al., 2013).

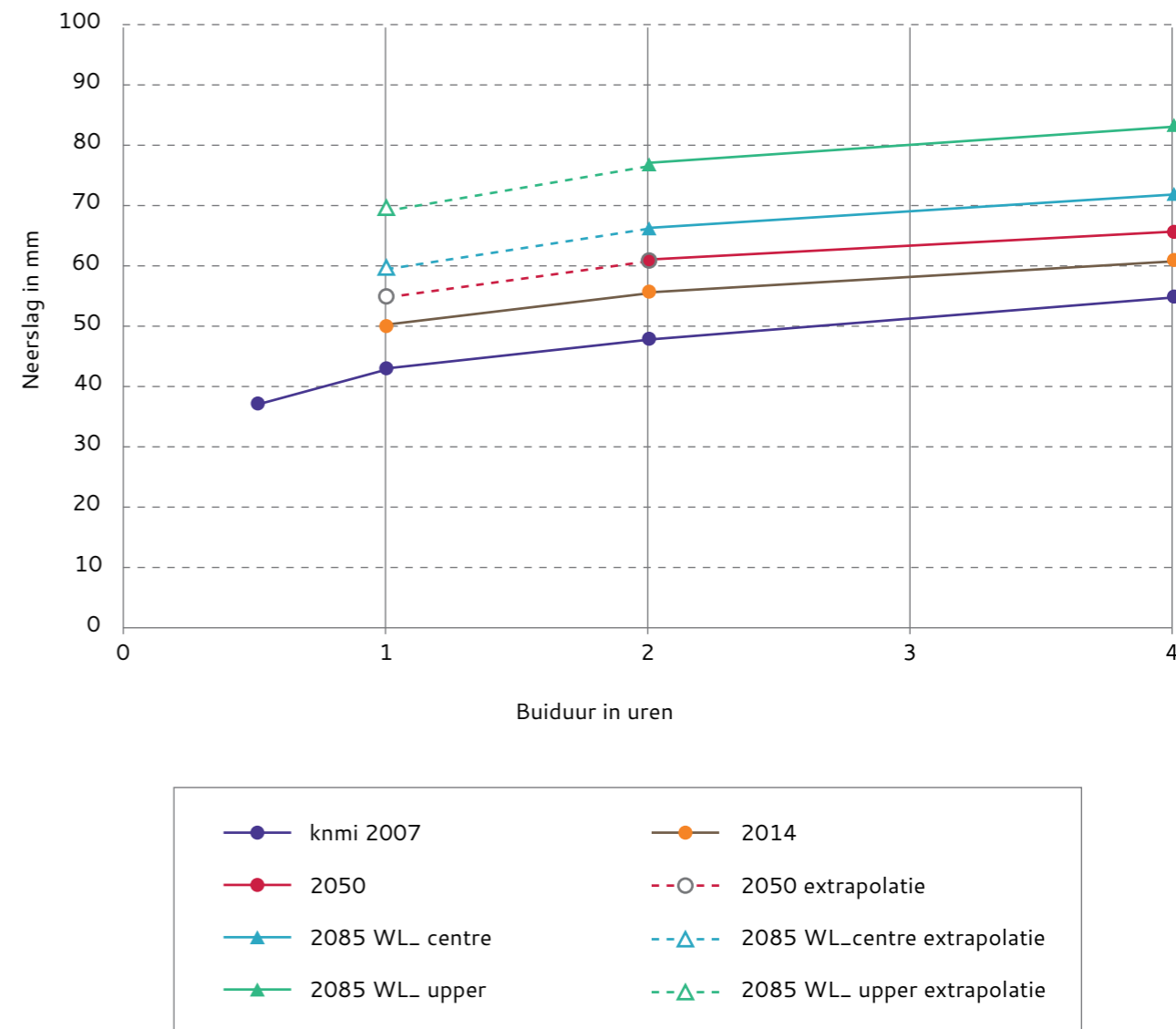
De laatste inzichten van het KNMI (statistiek van KNMI zoals beschreven door Beersma et al., 2015) laten zien dat in 2050 bij 2°C temperatuurstijging 61mm in twee uur wordt verwacht voor een herhalingstijd van 100 jaar (zie figuur 6.1). De neerslag in één uur tijd zal minder zijn. Vanwege alle onzekerheden hebben we in Kluck et al. (2017b) geconcludeerd dat 60 mm in één uur een goede schatting is van wat eens in de honderd jaar bij 2°C temperatuurstijging kan worden verwacht. Verwacht wordt dat het KNMI binnenkort met een gedegen onderbouwing komt.

5. Zorg voor een koele verblijfsplek (park, waterspeelplaats, bankje onder bomen) binnen 300m van woningen.

Kwetsbare groepen (ouderen en kinderen) zouden tijdens een hittegolf ook naar buiten moeten kunnen. Daarom adviseren wij wijken zo in te richten dat binnen 300m van woningen en verblijf van kwetsbare mensen een koele plek is te vinden (park, waterspeelplaats, bankje onder bomen). De afstand van 300m wordt gezien als een overbrugbare afstand om verkoeling op te zoeken.

6. Diversiteit in het sortiment van bomen in de straat maakt klimaatbestendiger.

Bomen van verschillende soorten in een straat zijn in verschillende mate bestand tegen klimaatverandering



Figuur 6.1. Maximaal verwachte neerslag voor verschillende buiduren voor een herhalingstijd van 100 jaar (T=100) volgens diverse scenario's en bronnen.

(hitte en droogte) en ziektes, zodat de diversiteit het geheel klimaatbestendiger is. Indien een homogeen straatbeeld gewenst is kunnen bomen van verschillende maar met eenzelfde vorm en hoogte worden gekozen worden gekozen.

7. Het beplanten van wadi's met vaste planten of weidemengsels heeft voorkeur boven gras wanneer de wadi uitsluitend een waterbergende functie heeft.

De voordelen zijn meer biodiversiteit, een gekleurd en gevarieerd straatbeeld en betere infiltratiecapaciteit. Bovendien bespaart het kosten omdat er slechts één of twee keer per jaar moet worden gemaaid in plaats van 24 keer per jaar.

8. Zorg voor goede groeiplaatsen voor bomen waar ook tijdens hete periodes water beschikbaar is.

Een belangrijk onderdeel van het klimaatbestendig inrichten van de stad is te zorgen voor goede groeiplaatsen voor bomen waar ook tijdens hete periodes water beschikbaar is voor bomen.

9. Maak gebruik van de MKBA om te laten zien dat een klimaatbestendige inrichting belangrijke voordelen heeft.

Als collega's je nog niet geloven, kun je voor je eigen situatie zelf een MKBA invullen.

10. Doe mee aan ons vervolgonderzoek

Er zijn nog belangrijke vragen onbeantwoord:

1. Wat zijn de exacte ambities en doelstellingen voor hittebestendig ontwerpen en inrichten? Wanneer is een koele ruimtelijke inrichting noodzakelijk en wat is voldoende?
2. De wijktypologieën bieden veel inzicht in de risico's en kansen voor een wijk. Hoe kunnen de kansen die deze indeling geeft verder worden ingezet om maatregelen te selecteren en aan de slag te gaan?



Foto: Ronald Wentink



Foto: Thomas Klomp

Literatuur

- Alcock, I., White, M.P., Wheeler, B.W., Fleming, L.E., & Depledge, M.H. (2014). Longitudinal effects on mental health of moving to greener and less green urban areas. *Environmental Science & Technology*, 48(2), 1247–1255.
- Alvey, A.A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5(4), 195–201.
- Bacci, L., Morabito, M., Raschi, A., & Ugolini, F. (2003). Thermohygro-metric conditions of some urban parks of Florence (Italy) and their effects on human well-being. Paper presented at the *Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz (Poland) O.24.5. http://meteo.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/O_24_5.pdf
- Bade, T., Smid, G., & Tonneijck, F. (2011). *Groen loont! Over maatschappelijke en economische baten van stedelijk groen*. De Groene Stad.
- Beaten, J., Berg, J.J., Betsky, A., Bergeijk, H. van, Ibelings, H., Kuipers, M., Steenhuis, M., Vletter, M. de, Teunissen, M., & Stissi, V. (2004). *Gewoon architectuur 1850–2004*. Rotterdam: NAi.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., & Taylor G. (2000). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal. The International Journal of Urban Forestry*, 24(2–3), 209–230. <http://dx.doi.org/10.1080/03071375.2000.9747273>
- Beersma, J., Bessembinder, J., Brandsma, T., Versteeg, R. & Hakvoort, H. (2015). *Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015*. STOWA rapport 2015–10. Amersfoort: STOWA.
- Bell, J.F., Wilson, J.S., & Liu, G.C. (2008). Neighborhood greenness and 2-year changes in body mass index of children and youth. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(6), 547–553.
- Berg, A.E. van den, Jorgensen, A., & Wilson, E.R. (2014). Evaluating restoration in urban green spaces: Does setting type make a difference? *Landscape and Urban Planning*, 127, 173–181. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.04.012
- Berg, A.E. van den, & Winsum-Westra, M. van (2006). *Ontwerpen met groen voor gezondheid: Richtlijnen voor de toepassing van groen in 'healing environments'*. Wageningen, Alterra-rapport 1371/ Reeks Belevingsonderzoek nr. 15, 64. Wageningen: Alterra.
- Berman, M.G., Kross, E., Krpan, K.M., Askren, M.K., Burson, A., Deldin, P.J., Kaplan, S., Sherdell, L., Gotlib, I.H., & Jonides, J. (2012). Interacting with nature improves cognition and affect for individuals with depression. *Journal of Affective Disorders*, 140(3), 300–305.
- Beusekom, L. (2015). Amersfoort maakt haar stad groener samen met bewoners. *Vitale Groene stad*, 3(2), 34–37
- Blansdorf, E. (2015). Natuurvriendelijke wadi's. Waterberging in de stad
- Boogaard F, Klomp, T., & Maneschijn, M. (2016). Masterclasses klimaatbestendig inrichten. *H2O-Online*, 21 maart 2016, 5p <http://edepot.wur.nl/377874>
- Boogaard, F.C., Jeurink, N., & Gels, J.H.B. (2003). *Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's: Inrichting, functioneren en beheer*. Stowa rapport 2003–04. Amersfoort: STOWA.
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., & Pullin, A.S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.05.006
- Buishand, T.A., & Wijngaard, J.B. (2007). *Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren*. KNMI technical report TR–295. De Bilt: KNMI.
- Burg, A. van den, Swaagsta, H., Loef, P., Broer, W., & Cohen, G. (Red.) (2006). *Kennisdocument Vegetatie-luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen*. RWS rapport DWW 2006–094 /IPL 06.00019. Delft: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouw kunde, Innovatie Programma Luchtkwaliteit.
- Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., & Davison, J.B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), 1582–1591.

- Coalities klimaatbestendige stad (2013). Het Manifest Klimaatbestendige Stad: Nú bouwen aan de stad van de toekomst. Advies aan de stuurgroep van het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering van de coalities klimaatbestendige stad, 3 oktober 2013, 22p
- Coder, K.D. (1996). *Identified benefits of community trees and forests*. Report FOR96-39 Athens, Georgia, USA: University of Georgia, School of Forest Resources.
- Daams, M.N. (2016). *Rethinking the economic valuation of natural land: Spatial analyses of how deeply people value nature in rural areas and in cities* (Doctoral dissertation). Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Deltaprogramma Ruimtelijke adaptatie. (2014a). Deltabeslissing Ruimtelijke adaptatie: Het Deltaprogramma: een nieuwe aanpak. De Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken
- Deltaprogramma. (2014b). Bestuursvereenkomst Deltaprogramma: Borging deltabeslissingen en voorkeursstrategieën. *Staatscourant Nr. 26797*, 22 september 2014.
- Daalen, E. van, & Riet, N.F. (2010). *Onderzoek naar warmtebeleving bij ouderen – zomer 2010*. Tilburg: Bureau Gezondheid, Milieu en Veiligheid GGD'en Brabant/Zeeland.
- Daanen, H.A.M., Jonkhoff, W., Bosch, P., & Broeke, H.T. (2013). The effect of global warming and urban heat islands on mortality, morbidity and productivity in The Netherlands Anonymous 15th International Conference on Environmental Ergonomics, Queenstown (NZ).
- Daanen H.A.M., Simons, M., & Janssen, S.A. (2010). *De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam*. TNO-rapport, TNO-DV 2010 D248. Utrecht: TNO.
- Dekker, A., Menkveld, W., & Franken, P. (2013). *Symbool zuivering, Theoretische verkenning van de haalbaarheid*. STOWA rapport 2013-10. Amersfoort: STOWA.
- Dillen, S.M.E.V., Vries, S. de, Groenewegen, P.P., & Spreeuwenberg, P. (2012). Greenspace in urban neighbourhoods and residents' health: adding quality to quantity. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 66 (6), e8.
- Drunen, M.V., Lasage, R., & Brinkman, S. (2007). Klimaatverandering in stedelijke gebieden: een inventarisatie van bestaande kennis en openstaande kennisvragen over effecten en adaptiemogelijkheden. Utrecht: Klimaat Voor Ruimte.
- European Environment Agency (EEA) (2012). *Urban adaptation to climate change in Europe: Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. EEA Report No. 2/2012. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union. <http://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>.
- Eerd, C. van (2012). Poen voor groen: De kosten en de baten van groen in een stedelijke omgeving. *B & G magazine, maart-april 2012*, 18-20.
- Egmond, P. van, & Ruijs, A. (2016). *Natuurlijk Kapitaal: naar waarde geschat*. Rapport 1455. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Faber Taylor, A., & Kuo, F.E.M. (2011). Could exposure to everyday green spaces help treat ADHD? Evidence from children's play settings. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 3(3), 281-303.
- Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H., & Gaston, K.J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology letters*, 3(4), 390-394.
- Geiger, J.R. (2001). Fact Sheet #1: Benefits of the Urban Forest. Davis, CA: Center for Urban Forest Research, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service.
- Gidlöf-Gunnarsson, A., & Öhrström, E. (2007). Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas. *Landscape and Urban Planning*, 83(2), 115-126.
- Giles-Corti, B., Broomhall, M.H., Knuijan, M., Collins, C., Douglas, K., Ng, L., Lange, A., & Donovan, R.J. (2005). Increasing walking. How important is distance to attractiveness, and size of public open space? *Am J Prev Med.*, 28(2 Suppl 2), 169-76. doi:10.1016/j.amepre.2004.10.018
- Gromke, C., & Ruck, B. (2009). On the impact of trees on dispersion processes of traffic emissions in street canyons. *Boundary-Layer Meteorology*, 131(1), 19-34.
- Grontmij, & Sterk Consulting (2009). *Doelmatigheidstoets regenwaterbeleid: Een afwegingsinstrument voor kosten en baten van het regenwaterbeleid*. Den Haag: Ministerie van VROM.
- Hagens, W.I., & Bruggen, M. van (2016). *Nationaal hitteplan: versie 2015*. RIVM Rapport 2014-0051. Bilthoven: RIVM.
- Hancock, P.A., Ross, J.M., & Szalma, J.L. (2007). A meta-analysis of performance response under thermal stressors. *Hum Factors*, 49(5), 851-77.
- Hartig, T., Evans, G.W., Jamner, L.D., Davis, D.S., & Gärling, T. (2003). Tracking restoration in natural and urban field settings. *Journal of environmental psychology*, 23(2), 109-123.
- Hop, M.E.C.M. (2015). Bomen in of naast een wadi. *Vitale groene stad*, 03(2), 46-47.
- Hop, M.E.C.M. (2011). *Vaste planten in openbaar groen, voor functionele en onderhoudsvriendelijke toepassingen*. Boskoop: Plant Publicity Holland.
- Huynen M.M.T.E. (2016). Standing the heat during the 2013 heatwaves in the Dutch province of Limburg. Poster, Theme 4, Public health. Presented at the international conference Adaptation Futures 2016, Rotterdam, the Netherlands
- Huynen M.M., Hollander, A.E.M. de, Martens, P., & Mackenbach, J.P. (2008). *Mondiale milieuveranderingen en volksgezondheid: stand van de kennis*. Bilthoven: RIVM.
- Huynen M.M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M.P., & Kunst, A.E. (2001). The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environ. Health Perspect*, 109(5), 463-470.
- Ibelings, H. (1999). *Nederlandse stedenbouw van de 20ste eeuw*. Rotterdam: NAI.
- Jaffal, I., Ouldboukhite, S.E., & Belarbi, R. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, 43, 157-164. doi:10.1016/j.renene.2011.12.004
- Janssen, S.A., Vos, H., Kluzenaar, Y. de, Berg, J.F. van den, Hofman, A., & Tiemeijer, H. (2011). *De relatie tussen omgevingstemperatuur en slaapkwaliteit van ouderen*. TNO-rapport, TNO-060-UT-2011-01008. Utrecht: TNO.
- Johansson E., Thorsson, S., Emmanuel, R., & Krüger, E. (2014). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate*, 10, 346-366.
- Johnson, H., Kovats, R.S., McGregor, G.R., Stedman, J.R., & Gibbs, M. (2005). The impact of the 2003 heatwave on mortality and hospital admissions in England. *Health Stat. Q* 2005, 6-11.
- Jong, J.J.M. de (2001). *Remote sensing of wet forests* (Doctoral dissertation). Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Jonker, H. (2016). Meer doen met stedelijk groen. *Stadswerk magazine, maart 2016*, 8-10
- Joye, Y., OrangeOlive, TripleE, & Bytr(2010). *Greenspots reloaded*. Eindhoven: Gemeente Eindhoven.
- Kampman, B., Vermeulen, J., & Dings, J. (2001). *Benzine, diesel en LPG: balanceren tussen milieu en economie. Update van 'Optimale brandstofmix voor het wegverkeer'*. Delft: CE Delft.
- Kircholtes, U., Ruijgrok, E.C.M., Brakel, M., Braven, M.F., & Tepe, L. (2012). *Baten van de openbare ruimte. Maatschappelijke kosten-batenanalyse van inrichting en beheer*. Ede: CROW.
- Kleerekoper, L. (2016) *Urban Climate Design. Improving thermal comfort in Dutch neighbourhoods*. Delft: Delft University of Technology. <http://dx.doi.org/10.7480/abe.2016.11.1336>
- Klemm, W., Heusinkveld, B.G., Lenzholzer, S., & Hove, B. van (2015a). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87-98.
- Klemm, W., Heusinkveld, B.G., Lenzholzer, S., Jacobs, M.H., & Hove, B. van (2015b). Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120-128.
- Klok, E.J., Broeke, H.M. ten, Harmelen, A.K. van, Verhagen, H.L.M., Kok, H.J.G., & Zwart, S. (2010). *Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect*. TNO-034-UT-2010-01229-RPT-ML. Utrecht: TNO.
- Klok, E.J., & Rood, N. (2017 in press). Hitemetingen in Amsterdam. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Klok E.J., & Kluck, J. (2016, in press). Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands), *Urban Climate*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.10.005>

- Kluck, J., Loeve, R., Bakker, W.J., Kleerekoper, L., Rouvoet, M.M., Wentink, R., Viscaal, J.H., Klok, E.J., & Boogaard, F.C. (2017a). *Het klimaat past ook in uw straatje: De waarde van klimaatbestendig inrichten. Voorbeeldenboek*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Onderzoeksprogramma Urban Technology.
- Kluck, J., Loeve, R., Bakker, W.J., Kleerekoper, L., Rouvoet, M.M., Wentink, R., Viscaal, J.H., Klok, E.J., & Boogaard, F.C. (2017b). *Het klimaat past ook in uw straatje: De waarde van klimaatbestendig inrichten. Achtergronden*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Onderzoeksprogramma Urban Technology.
- Kluck, J., Bakker, W.J., Kleerekoper, L., Rouvoet, M.M., Wentink, R., Klok, E.J., & Loeve, R. (2016). *Voor hetzelfde geld klimaatbestendig: Voorbeelden klimaatbestendige inrichting. Achtergronden*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Kluck, J., Bosch, P., Heusinkveld, B.G., & Wal, P. van der (2015). Quick scan tool for heat stress, How to help the urban planner? ECCA 2015, Poster session 14-05-2015, Copenhagen, Denemarken
- Kluck, J., Hogezaand, R.J.P. van, Dijk, E. van, Meulen, J. van der, & Straatman, J.H.M. (2013). *Extreme neerslag: Anticiperen op extreme neerslag in de stad*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam, Kenniscentrum Techniek.
- KNMI (2016). Frequency tables. Gez. 21-02-2017, <http://projects.knmi.nl/hydra/cgi-bin/freqtab.cgi>
- KNMI (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland: Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, herziene uitgave 2015*. De Bilt: KNMI.
- Kolasinski, M., Wrobel, M., & Lepousez, V. (2014). Understanding the needs from sub-national actors for adaptation services: a Climate-KIC case study in 5 European countries. Presentatie op de Adaptation Frontiers Conference, Lisbon, maart 2014
- Kovats, R.S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review Public Health* 29, 9.1-9.15.
- Kovats, R.S., Hajat, S., & Wilkinson, P. (2004). Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during heatwaves in London, UK. *Occup. Environ. Med.* 61, 893-898.
- KPMG (2012). *Groen, gezond en productief: The Economics of Ecosystems & Biodiversity (TEEB NL): natuur en gezondheid.*, Amsterdam: KPMG.
- Kravcik, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kovác, M., & Tóth, E. (2007). *Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm*.
- Kuo, F.E., & Sullivan, W.C. (2001). Environment and crime in the inner city: Does vegetation reduce crime? *Environment and Behavior*, 33(3), 343-367.
- Kuypers, V.H.M., & Vries, E.A. de (2007). *Groen voor lucht: van theorie naar groene praktijk, toepassingen om lucht te zuiveren*. Wageningen: Alterra,
- Lenzholzer, S. (2013). *Het weer in de stad, Hoe ontwerp het stadsklimaat bepaalt*. Rotterdam/Wageningen: Nai010 & Wageningen University.
- Lenzholzer, S., & Wulp, N. van der (2010). Thermal experience and perception in the built environment of Dutch urban squares. *Journal of Urban Design*, 15(3), 375-401.
- Lorzing, H., Harbers, A., & Schluchter, S. (2008). *Een stedenbouwkundige typologie*. Rotterdam: NAI
- Lovell, R., Husk, K., Cooper, C., Stahl-Timmins, W., & Garside, R. (2015). Understanding how environmental enhancement and conservation activities may benefit health and wellbeing: a systematic review. *BMC public health*, 15(1), 864.
- Liu, K., & Minor, J. (2005). Performance evaluation of an extensive green roof. Paper presented at Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington DC, May 5-6, 2005, IRC publication NRCC-48204, 1-11
- Maas, J., (2009). *Vitamin G: green environments-healthy environments* (Doctoral dissertation). Utrecht: Universiteit Utrecht & Nivel.
- Maas, J., Dillen, S.M. van, Verheij, R.A., & Groenewegen, P.P. (2009a). Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. *Health & Place*, 15(2), 586-595.
- Maas, J., Verheij, R.A., Vries, S. de, Spreeuwenberg, P., Schellevis, F.G., & Groenewegen, P.P. (2009b). Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 63(12), 967-973.
- Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., Vries, S. de, & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 60(7), 587-592.
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* 51, 323-334.
- Mayer, H., & Hoeppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 43-49.
- Mercer, C., Scott, C., Pringle, K., Dallimer, M., & Spracklen, D. (2015). *A brief guide to the benefits of urban green spaces*. Leeds: Leeds Ecosystem, Atmosphere and Forest (LEAF) Center and the Sustainable Cities Group at the University of Leeds.
- Mitchell, R., & Popham, F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *The Lancet*, 372(9650), 1655-1660.
- Muilwijk H., Knop, J., & Hollander, G. de (2015). *Van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie; Risico-beoordeling klimaateffecten bij rapport 'Aanpassen aan klimaatverandering', Achtergrondstudie*. Den Haag: PBL.
- Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S.J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, 157-166. doi 10.1016/j.landurbplan.2014.10.013
- Nelen & Schuurmans (2013). *WaterSchadeSchatter (WSS): gebruikershandleiding*. In opdracht van STOWA, dossier M0183. Utrecht: Nelen & Schuurmans. www.waterschadeschatter.nl
- Nielsen, T.S., & Hansen, K.B. (2007). Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. *Health and Place*, 13(4), 839-850. doi:10.1016/j.health-place.2007.02.001
- Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2006). Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41(11), 1455-1470. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.031>
- Nuijten, D. (2008). *Dwingend vergroenen? : Onderzoek naar de toepassing van het richtgetal van 75m² groen per woning uit de Nota Ruimte en de relatie met de kwaliteit van het groen in de stad*. Afstudeerscriptie Sociaal-Ruimtelijke Analyse, SAL-80436, februari 2008, Wageningen University, 119p
- Nutsford, D., Pearson, A.L., & Kingham, S. (2013). An ecological study investigating the association between access to urban green space and mental health. *Public health*, 127(11), 1005-1011.
- Oke T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Ottelé, M., Bohemen, H.D. van, & Fraaij, A.L. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, 36(2), 154-162.
- Poorter, L., Bongers, F., Aide, T.M., Zambrano, A.M.A., Balvanera, P., Becknell, J.M., Boukili, V., Brancalion, P.H., Broadbent, E.N., & Chazdon, R.L. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530(7589), 211-214.
- Pötz H., & Beuzé, P. (2016). *Groenblauwe netwerken, Handleiding voor veerkrachtige steden*. Rotterdam: NAI.
- Pötz H., & Beuzé, P. (2012). *Groenblauwe netwerken voor duurzame en dynamische steden*. Rotterdam: NAI.
- Ravesloot, C.M. (2016). *Kennispaper: Duurzame begroeide daken. Via groen naar geel, blauw en rood*. Delft: SBR curnet.
- Ravesloot, C.M. (2015). Determining Thermal Specifications for Vegetated GREEN Roofs in Moderate Winter Climates. *Modern Applied Science*, 9(13), 208-223. <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v9n13p208>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Atlas Natuurlijk Kapitaal. In samenwerking met Deltares, Alterra, het LEI, BIJ12 en het RIVM. www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl

- Roe, J., & Aspinall, P. (2011). The restorative benefits of walking in urban and rural settings in adults with good and poor mental health. *Health & Place, 17(1)*, 103–113.
- Root, L., Krabben, E. van der, & Spit, T. (2015). Bridging the Financial Gap in Climate Adaptation: Dutch Planning and Land Development Through a New Institutional Lens. *Journal of Environment Planning and Management, 58(4)*, 701–718. doi:10.1080/09640568.2014.885412
- Rovers, V., Bosch, P., & Albers, R. (Red.) (2014). *Eindrapport Climate Proof Cities 2010–2014*. Kennis voor Klimaat rapport nr. 129/2014. Utrecht: Kennis voor Klimaat.
- Ruijgrok, E.C.M., Smale, A.J., Zijlstra, R., Abma, R., Berkers, R.F.A., Németh, A.A., Asselman, N., Kluiver, P.P. de, Groot, D. de, Kirchholtes, U., Todd, P.G., Buter, E., Hellegers, P.J.G.J., & Rosenberg, F.A. (2006). *Kentallen waardering natuur, water, bodem en landschap; hulpmiddel bij MKBA's*. Project GV706–1. Rotterdam: Witteveen+Bos.
- SBRCURnet (2014). *Kostenindicaties van klimaatmaatregelen in de stad*. Rotterdam: SBRCURnet.
- Schildwacht, P., & Schoenmaker, E. (2010). *De relevantie van het juiste ontwerp bij bestrijding van de luchtverontreiniging door fijnstof en NO₂: Wat er ontbreekt in het status 2008 rapport van het RIVM?* In: Groen en luchtverontreiniging, publicatie in Lucht, bijlage.
- Semenza, J.C., McCullough, J.E., Flanders, W.D., McGeehin, M.A., & Lumpkin, J.R. (1999). Excess hospital admissions during July 1995 heat wave in Chicago. *Am. J. Prev. Med. 16*, 269–77.
- Shanahan, D.F., Lin, B.B., Bush, R., Gaston, K.J., Dean, J.H., Barber, E., & Fuller, R.A. (2015). Toward improved public health outcomes from urban nature. *American Journal of Public Health, 105(3)*, 470–477.
- Shashua-Bar, L., Tsiros, I.X., & Hoffman, M. (2012). Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. *Building and Environment, 57*, 110–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.019>
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M.E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings, 31(3)*, 221–235.
- Slobbe, L.C.J., Smit, J.M., Groen, J., Poos, M.J.J., & Kommer, G.J. (2011). *Kosten van Ziekten in Nederland, 2007. Trends in de Nederlandse zorguitgaven 1999–2010*. Bilthoven: RIVM.
- Someren, E.J.W. van, Raymann, R.J.E.M., Scherder, E.J.A., Daanen, H.A.M., & Swaab, D.F. (2002). Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Research Reviews, 1(4)*, 721–778. doi:10.1016/S1568-1637(02)00030-2
- Steenefeld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., & Theeuwes, N.E. (2014). Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landscape and Urban Planning, 121*, 92–96.
- Steenefeld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., Hove, L.W.A. van, & Holtslag, A.A.M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres, 116(2)*, doi:10.1029/2011JD015988
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stichting Rioned (2015). *Leidraad Riolering D1100*. Ede: Rioned
- Stichting Rioned (2014). *Ervaringen met de aanpak van regenwateroverlast in bebouwd gebied: Voorbeelden en ontwikkelingen anno 2014*. RIONED reeks 18. Ede: RIONED.
- Streng J., & Buijs S. (2013). *Rotterdamse adaptatiestrategie. Themarapport bereikbaarheid en infrastructuur*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- Sullivan, W.C., Kuo, F.E., & Depooter, S.F. (2004). The fruit of urban nature vital neighborhood spaces. *Environment and Behavior, 36(5)*, 678–700.
- Tennessen, C.M., & Cimprich, B. (1995). Views to nature: Effects on attention. *Journal of Environmental Psychology, 15(1)*, 77–85.
- TGS (2016). Treebox HP. Tree Ground Solutions BV
- Thompson, C.W., Roe, J., Aspinall, P., Mitchell, R., Clow, A., & Miller, D. (2012) More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. *Landscape and Urban Planning, 105(3)*, 221–229.
- Toftager, M., Ekholm, O., Schipperijn, J., Stigsdotter, U., Bentsen, P., Grønbaek, M., Randrup, T.B., & Kamper-Jørgensen, F. (2011). Distance to green space and physical activity: a Danish national representative survey. *Journal of Physical Activity & Health, 8(6)*, 741–749.
- Urbanisten, De (2016) *Goed Groen Is Goud Waard. Verkenning Van De Toegevoegde Waarde Van Groen-blaauwe Netwerken Voor De Stad, Case Zwolle*. Rotterdam: De Urbanisten.
- Vandentorren, S., Suzan, F., Medina, S., Pascal, M., Maulpoix, A., Cohen, J., & Ledrans, M. (2004). Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave. *Am J Public Health, 94(9)*, 1518–1520. doi:10.2105/AJPH.94.9.1518
- Verploegh, T. (2016) Kleine wildernis: oerbos in de stad. *Stadswerk magazine, maart 2016*, 14–15
- Vreke, J., Salverda, I.E., & Langers, F. (2010). *Niet bij rood alleen: buurtgroen en sociale cohesie*. Alterra-rapport 2070. Wageningen: Alterra.
- Vries, S. de (2015) Van groen naar gezondheid in de stad: een (nog) kronkelend pad. *Topos, 09-07-2015*.
- Vries, D. de, Hendriks, J., & Milligen, R. van (2014). *Ecosysteemdiensten. De baten van stadsbomen* (BSc thesis). Velp: Hogeschool van Hall Larenstein.
- Vugt, B. van (2010). *Waarde van groen: een studie naar de vraagstelling van de waarde van groen in onze samenleving*. Houten: Branchevereniging VHG.
- Wassenberg, F. (1993) *Ideeën voor naoorlogse wijken*. Delft: Delft University Press.
- Watkiss, P. (Ed.) (2011). *The ClimateCost Project. Final Report. Volume 1: Europe*. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute.
- Werkgroep Discontovoet 2015 (2015). *Rapport Werkgroep Discontovoet 2015*. Den Haag: Werkgroep Discontovoet 2015.
- Wesseling, J., Zee, S.V., & Overveld, A. (2011). *Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit*. Update 2011. RIVM Rapport 680705019. Bilthoven: RIVM
- Wildschut, M. (2016, 29 februari). De stad heeft wilde planten nodig. *Trouw*.
- Willers, M., Jonker, M., Klok, E.J., Keuken, M., Odink, J., Elshout, S. van den, Sabel, C., Makenbach, J., & Burforf, A. (2016). High resolution exposure modelling of heat and air pollution and the impact on mortality. *Environment International, 89-90, 102-109*. doi:10.1016/j.envint.2016.01.013
- Wuijts, S., Vros, A.C., Schets, F.M., & Braks, M.A.H. (2014). *Effecten van klimaat op gezondheid: actualisatie voor de Nationale Adaptatiestrategie (2016)*. RIVM Rapport 2014-0044. Bilthoven: RIVM

BIJLAGE 1: VERGROENEN

Tabel 1. Bomen met gunstige eigenschappen in relatie tot toekomstig klimaat, plaats in wadi of specifieke locatie en bijen (Berk 2016 en Hop, 2015).

Soort	Gunstige eigenschappen voor	Grondsoort	Strooizout-bestendig	Bestand tegen volgende effecten van klimaatverandering				
				Sterke straling zon	Lange droge periodes	Pieken in neerslag / langdurig onder water	Fluctuerende grondwaterstand	Ontstaan van ziektes en plagen
Acer negundo – Vederesdoorn	wadi	klei, kalk, zand	-		+	+		
Acer pseudoplatanus 'Leopoldii' – Gewone esdoorn	grote straten, bijen	zand	-		+	+		
Acer rubrum 'Brandywine' – Rode esdoorn	kleine straten, bijen	klei, zand	-		-	+		
Acer saccharinum – Zilveresdoorn	wadi	klei, zand	-		+	+		
Alnus glutinosa – Zwarte Els	wadi	klei, kalk, zand, veen	+/-		+/-	++		
Alnus incana – Grijs Els	wadi	klei, kalk, zand	+/-		+	++		
Arbutus 'Marina' – Aardbeiboom	kleine straten, bijen				++			
Celtis australis – Oosterse netelboom	grote straten, bijen	klei, zand	-		++	+		
Celtis julianae – Chinese Netelboom	klimaatbestendig	klei, zand	-	+	++	+		+
Ginkgo biloba – Japanse Notenboom	klimaatbestendig	klei, kalk, zand, veen	-	+	+	+		+
Gleditsia triacanthos – Valse Christusdoorn	wadi, klimaatbestendig, grote straten, bijen	kalk, zand	+	+	++	+	+	+

Soort	Gunstige eigenschappen voor	Grondsoort	Strooizout-bestendig	Bestand tegen volgende effecten van klimaatverandering				
				Sterke straling zon	Lange droge periodes	Pieken in neerslag / langdurig onder water	Fluctuerende grondwaterstand	Ontstaan van ziektes en plagen
Malus tschonoskii – Sierappel	kleine straten, bijen	klei, kalk, zand	-		-		+	-
Metasequoia glyptotrobooides – Chinese moeras-cipres	klimaatbestendig	klei, zand	-			++	+	+
Pinus nigra nigra – Oostenrijkse den	klimaatbestendig	klei, kalk, zand, veen	-	+	++			+
Pinus Sylvestris – Grove den	klimaatbestendig	zand	-	+	++			+
Plantanus x acerifolia – Gewone plataan	klimaatbestendig	klei, zand, veen	+	+	+	+	+	
Prunus yedoensis 'Akebono' – Japanse sierkers	kleine straten, bijen	klei, kalk, zand	-					
Quercus palustris – Moer-raseik	klimaatbestendig	klei, kalk, zand, veen	+	+	+	++	+	+
Quercus rubra – Amerikaanse eik	grote straten, bijen	klei, kalk, zand, veen	+		+	+		
Salix alba – Gewone wilg	wadi	klei, kalk, zand	-		++	++		
Salix babylonica – Chinese treurwilg	wadi	klei, kalk, zand	+		++	++		
Salix sepulcralis – Gele treurwilg	wadi	klei, kalk, zand, veen	-		++	++		
Tilia tomentosa 'Doornik' – Zilverlinde	grote straten, bijen	klei, kalk, zand, veen	-		++	+		
Ulmus 'Lobel' – Iep	grote straten, bijen	klei, kalk, zand	-		+	++		

Tabel 2. Geschikte vaste planten voor in wadi's (Blansdorf 2015).

Plantensoorten geschikt voor wadi zonder infiltratievoorziening:	Plantensoorten geschikt voor wadi met infiltratievoorziening:
Althea officinalis	Achilleafilipendulina
Amsoniatabernaemontana	Ajugareptans
Angelica archangelica	Anemonesylvestris
Bistortaamplexicaulis	Artemisia ludoviciana
Calthapalustris	Asclepiastuberosa
Carexgrayi	Aster novae-angliae
Chasmanthiumlatifolium	Aster ptarmicoides
Eupatoriumpurpureum	Baptisiaaustralis
Filipendularubra	Calamagrostisarundinacea
Geranium pratense	Camassiaquamash
Geranium sylvestris	Coreopsismajor
Heliopsishelianthoides	Echinacea paradoxa
Hemerocallisssp	Euphorbiaseguierana
Hibiscus moscheutos	Gauralindheimeri
Iris sibirica	Geranium renardii
Liatirsspicata	Geranium sanguineum
Lobelia cardinalis	Gilleniatrifoliata
Lysimachia vulgaris	Helianthusoccidentalis
Lythrumsalicaria	Hemerocallis citrina
Molinia caerulea	Inulaensifolia
Monarda fistulosa	Knautiamacedonica
Panicumvirgatum	Lysimachiaciliata
Penstemon digitalis	Moliniaarundinacea
Phlox amplifolia	Nepetaracemosa
Primula japonica	Panicumvirgatum
Rheum palmatum	Penstemon barbatus
Rudbeckia maxima	Perovskiaabrotanoides
Rudbeckia nitida	Persicariaamplexicaulis
Sanguisorba officinalis	Rudbeckia missouriensis
Stachys palustris	Solidago phacelata
Symphytum officinale	Teucrium chamaedrys
Thalictrum aquilegifolium	
Trollius	
Vernonia noveboracensis	
Veronicastrum virginicum	

Randvoorwaarden voor bovenstaande soortenrijke beplanting (Blansdorf 2015):

- Wadi wordt niet gebruikt als speelplek
- Er wordt niet teveel strooizout gebruikt.
- Maaien en afvoeren gebeuren op tijd.
- Er wordt niet bemest.
- Bij de aanleg wordt arme, zuivere grond zonder wortelonkruiden gebruikt

BIJLAGE 2: DE MKBA-STRAATTOOL

De ontwikkeling van een eenvoudig toepasbare MKBA-methodek voor de herinrichting van straten in zeven stappen.

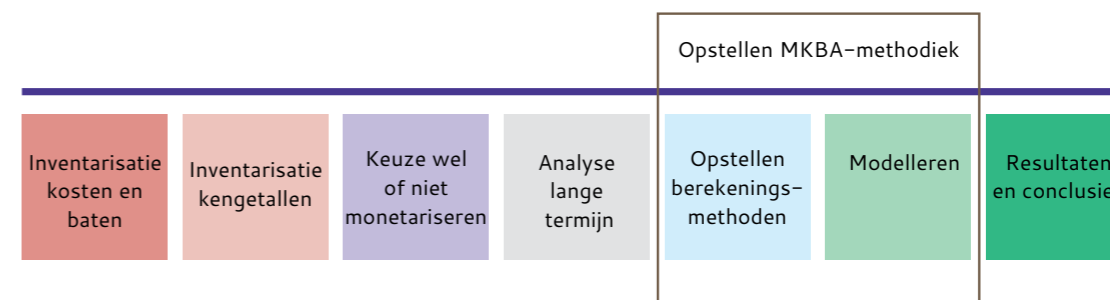
Het onderzoek is gestart met een inventarisatie en analyse van kosten en baten en van de beschikbaarheid van kengetallen. Vervolgens is de acceptatie gepeild om kosten en baten in geld uit te drukken. Ook is de mogelijkheid uitgewerkt om kosten en baten over een langere termijn te kunnen beschouwen. Met de verkregen kennis is gewerkt aan de opzet van een werkbare MKBA-methodek. Enerzijds zijn hiervoor berekeningsmethoden opgesteld om de hoogte van de kosten en baten te kunnen bepalen, anderzijds is gewerkt aan manieren om de invoer van gegevens te vereenvoudigen door modellering. Een voorwaarde is immers dat de MKBA eenvoudig moet kunnen worden toegepast. Tot slot is de opgezette MKBA-methodek kritisch bekeken en zijn diverse varianten van praktijkvoorbeelden doorgerekend. De stappen en tussenresultaten zijn in de navolgende paragrafen beschreven.

Stap 1. Inventarisatie kosten en baten

De kosten en baten die meewegen bij de vergelijking van klimaatbestendige en niet-klimaatbestendige straatinrichting zijn geïnventariseerd en ter discussie voorgelegd aan onderzoekers uit de kenniskring en mensen uit de praktijk. Gezamenlijk hebben zij een indeling gemaakt van kostenposten en baten (zie tabel 3).

De totale kosten en baten van een hoofdcategorie zijn een optelsom van de kosten en baten van de subcategorieën.

We hebben gekeken of de kosten en baten redelijkerwijs in geld uit te drukken zijn. Hierbij is de beschikbaarheid van kengetallen van belang én is een beeld nodig van de onzekerheden bij deze kengetallen en de gevoeligheid van de eindresultaten voor deze onzekerheden.



Figuur 1. Zeven stappen voor de ontwikkeling van een MKBA-methodek voor de herinrichting van straten.

Tabel 3. Kosten en baten opgenomen in de MKBA.

Hoofdcategorie	Uitleg	Subcategorie
Investeringskosten	Kosten voor de herinrichting van een straat: arbeid en materiaal voor het verwijderen van de oude straat en realiseren van een nieuwe straat, inclusief grondwerk, verharding, groen en wel of geen vernieuwing van het rioolstelsel met eventuele regenwatervoorzieningen.	Bestrating Riool Voorzieningen Grondwerk Groen Afkoppelen
Onderhoudskosten	Onderhoudskosten aan de straat, het groen, de riolering en voorzieningen.	Wegbeheer Rioolbeheer Groenbeheer
Waterschade	Schadecosten door een extreme neerslaggebeurtenis die leidt tot water in woningen.	Schade aan woning Medische kosten Herstelkosten weg
Baten van afkoppelen	Kostenreductie door regenwater niet naar de RWZI te transporteren.	Minderkosten RWZI
Baten van groen	(Beschouwing van) voordelen van groen, gelet op omgevings-/ beeldkwaliteit, gezondheid, leefcomfort, woningwaarde en energieverbruik.	Gezondheidsbaten Energiebaten Verhoging waarde van woningen Recreatiebaten Verbetering sociale cohesie

Stap 2. Inventarisatie kengetallen

Bij de kosten en baten is gezocht naar beschikbare kengetallen. Kengetallen zijn de sleutel tot een inschatting van effecten en de raming van kosten en baten. Samen met kwantitatieve, projectspecifieke gegevens, zoals het aantal meters rioolbuis, het aantal bomen of het aantal vierkante meters verharding, geeft het kengetal de hoogte van de betreffende kostenpost of baat. Het kan ook zijn dat je met het kengetal een effect kan inschatten, waarna dit effect met een ander kengetal naar een kosteninschatting wordt berekend.

Het werken met kengetallen biedt een snel en goedkoop alternatief voor tijdrovend en kostbaar empirisch onderzoek. Een kanttekening is wel dat de kwaliteit van een raming op basis van kengetallen afhangt van de kwaliteit en actualiteit van de kengetallen en bovendien van de variatie in waarden en in afhankelijkheid van onbekende lokale factoren. Kengetallen zijn vaak gebaseerd op gemiddelde ervaringscijfers in een bepaalde periode. In sommige gevallen zijn kengetallen gevormd op basis van aannames en dus met onzekerheid omgeven. Het is van belang te weten wat de onzekerheden zijn en wat de invloed hiervan is op een einduitkomst. Hiervoor gebruiken we een gevoeligheidsanalyse. Die bepaalt de betrouwbaarheid en robuustheid van een kosten-batenanalyse en de voorzichtigheid bij gebruik van de uitkomsten.

Stap 3. Keuze wel of niet moneteriseren

Bij de keuze om bepaalde kosten en baten wel of niet in geld uit te drukken (moneteriseren) staat de vraag centraal hoeveel onzekerheid acceptabel is. Het is daarom van belang om bij deze keuze de gebruiker van een MKBA te betrekken. Het is immers de gebruiker die de uitkomsten van een MKBA zal inzetten bij de afweging van inrichtingsvarianten en onderbouwing bij keuzes.

De aannames en onzekerheden bij inschatting van de verschillende kosten en baten zijn besproken met meerdere praktijkmensen en onderzoekers. Uit de discussies bleek dat het moneteriseren van alle groenbaten als discutabel wordt gezien. Er is een grote mate van onzekerheid over effecten van groen op de schaal waar de studie zich op richt. Daarnaast bestaat er twijfel over de bestaande berekeningswijzen en kengetallen waarmee baten van groen worden gemonetariseerd. Het idee om de waarden van groen mee te wegen bij inrichtingsplannen wordt wel belangrijk gevonden. Het wordt ook als positief gezien dat dit aandacht krijgt en dat er nader onderzoek plaatsvindt om de mogelijkheden hiertoe verder en beter uit te werken (TEEB-stad). Na overleg met de beoogde gebruikers hebben we besloten we alleen een deel van het gezondheidseffect, de waardevermeerdering van gebouwen en vermindering van afvoer naar RWZI in kosten uit te drukken. Zie paragraaf 3.4 voor meer details en een motivering van deze keuze.

Ook werd een kritische noot geplaatst bij de inschatting van kostenreductie door afkoppelen van regenwater van het riool en de zuivering. Het commentaar is dat kleinschalig afkoppelen (op de schaal van een straat of een wijk) geen noemenswaardig effect zal hebben op de kosten van de zuivering. Pas bij grootschalig afkoppelen kan een zuivering anders, kleinschaliger en kosteneffectiever worden ingericht. Hier kan tegenin worden gebracht dat grootschalig afkoppelen altijd een som is van vele kleinschalige projecten. Ieder project draagt bij aan een uiteindelijke efficiëntiestap. De baten die pas bij grootschalig afkoppelen in beeld komen, zijn terug te voeren naar het kleinschalig afkoppelen bij herinrichting van een straat. In de ontwikkelde MKBA-straattool worden de baten van afkoppelen wel meegenomen.

Stap 4. Analyse lange periode

Een belangrijk aspect van een MKBA is dat kosten en baten over een langere periode worden berekend. Op het eerste gezicht kan een inrichting van een straat die is aangepast aan meer extreme neerslag en hitte duurder lijken dan de conventionele inrichting. Met een betere kijk op totale kosten die er nu én in de toekomst zijn kan echter een ander beeld ontstaan.

In de ontwikkelde MKBA-methodiek is ervoor gekozen om een periode van honderd jaar te beschouwen. Tijdens deze periode zijn er jaarlijks onderhoudskosten, eventuele baten en komen grotere investeringen voor vervanging van straatwerk, voorziening en groen meerdere keren aan bod. Ook het riool wordt een of twee maal vervangen in deze periode. De periode komt overeen met de gemiddelde herhalingstijd van de zeer extreme bui waaraan in dit onderzoek een klimaatbestendige straatinrichting getoetst wordt (zie Kluck et al., 2017b voor meer informatie over de gekozen extreme bui).

De toekomstige kosten en baten over de periode van honderd jaar moeten op een universele wijze worden samengevoegd om varianten onderling te kunnen vergelijken. Daarbij is het belangrijk dat toekomstige kosten en baten worden teruggerekend naar een referentiejaar, bijvoorbeeld het jaar waarop een project start. Dit terugrekenen heet disconteren. Op die manier kunnen we er rekening mee houden dat een euro nu meer waard is dan een euro in de toekomst. Dit als gevolg van rente, inflatie en een debiteurenrisico (het risico dat in de toekomst te verwachten geld niet wordt ontvangen). Het percentage waarmee gerekend wordt is de zogenaamde discontovoet. De discontovoet kan worden geïnterpreteerd als een jaarlijkse rendementseis die de overheid stelt met betrekking tot investeringen. In dit onderzoek is gerekend met een discontovoet van 3%, wat aansluit op het advies van de nationale Werkgroep Discontovoet 2015 (Werkgroep Discontovoet 2015, 2015).

Stap 5. Opstellen berekeningsmethoden

Met duidelijkheid over de kosten en baten die meewegen, de beschikbaarheid van kengetallen en een beeld van de acceptatie om kosten en baten te monetariseren, is duidelijk welke kosten en baten in geld worden uitgedrukt. Ook is duidelijk hoe deze kosten en baten te berekenen zijn over een langere periode. Met voorgaande informatie is voor iedere kosten- en batenpost die in geld wordt uitgedrukt, een berekeningsmethode opgesteld om de hoogte ervan te kunnen berekenen.

5.a Investerings- en onderhoudskosten

Voor berekening van de aanleg-, vervangings- en onderhoudskosten van riool, bergings- en infiltratievoorzieningen is gebruik gemaakt van de kengetallen zoals die zijn opgenomen in module D1100 van de Leidraad Riolerings, (RIONED maart 2015) met prijspeil januari 2015. Voor kostenkengetallen voor aanleg en vervanging van de bestrating is Bouwkostenkompas (www.bouwkostenkompas.nl) geraadpleegd. In aanvulling zijn kengetallen van de gemeente Almere gebruikt en zijn ontbrekende gegevens aangevuld met eigen inzichten.

Tabel 4. Waterschade.

Inboedelschade en herstelkosten woning Hieronder vallen het verwijderen en afvoeren van vloerbedekking e.d., nieuwe vloerbedekking / parket, stucwerk / schilderwerk.	€3.500,-
Gezondheidsrisico door water op straat	€193 per persoon
Herstelkosten weg	€0,73 per m ¹
Verwijderen slib van verhardingen	€0,40 per m ¹
Tijdelijke afzetting rijweg	€0,33 per m ¹

5.b Waterschadekosten

De gedetailleerde MKBA-methodiek hanteert een risicobenadering voor de inschatting van de schade die in een straat kan optreden, op basis van de kans dat een kritiek waterpeil wordt overschreden én de hoogte van de schade die bij dat waterpeil ontstaat. Het kritieke waterpeil is de drempelhoogte van een woning.

De eenvoudig toepasbare MKBA-methodiek, de MKBA-straattool, hanteert een vereenvoudigde manier voor het bepalen van de kans op wateroverlast. Er is aangenomen dat bij een traditionele inrichting gemiddeld eenmaal per 20 jaar wateroverlast optreedt, waarbij 60% van de woningen schade ondervindt. In dat geval ontstaan er bij 10% van de inwoners ziektekosten. Bij een klimaatbestendige inrichting ontstaan deze waterschades bij een bui met een theoretische herhalingstijd van 100 jaar.

De hoogte van het schadebedrag bij het binnenstromen van water in de woning is afgeleid van de Waterschadeschatter (Nelen en Schuurmans, 2013). De kosten van een ziektegeval zijn gebaseerd op de studie Doelmatigheidstoets Hemelwaterbeleid (Grontmij en Sterk Consulting (2009). Het gaat hierbij om woningschade, kosten als gevolg van gezondheidsrisico's, tijdelijke afzetting van de weg en het verwijderen van slib van verharding na water op straat (zie tabel 4). De schadebedragen zijn geactualiseerd naar het niveau van 1 januari 2015 door een jaarlijkse indexering door te voeren van 3%.

5.c Baten van afkoppelen

Afkoppelen van één vierkante meter verhard oppervlak bespaart €0,25 zuiveringskosten. Zie paragraaf 3.4.1 voor de onderbouwing.

5.d Baten van groen

In paragraaf 3.4 wordt uitgebreid beschreven welke groenbaten kunnen worden gemonetariseerd en hoe dat wordt uitgevoerd.

Stap 6. Modelleren: vereenvoudigen van de werkelijkheid

Om inzicht te hebben in de mogelijkheden van (klimaatbestendige) inrichting van een straat is het nodig om de eigenschappen van de straat te kennen. Belangrijk daarbij zijn het maaiveldverloop, de bouwpeilen, de bebouwing, het oppervlak privaat terrein, de verharding, het groen en het water. Deze eigenschappen bepalen eventuele problemen bij extreme neerslag, maar ook of er in de straat de mogelijkheid bestaat om maatregelen tot verbetering te treffen.

Doel van de ontwikkelde MKBA-methodiek is dat deze snel en op eenvoudige wijze inzicht biedt in inrichtingsmogelijkheden en de consequenties daarvan. Tijdrovende detailstudies van de lokale eigenschappen moeten worden vermeden en met een beknopte scan en het invoeren van enkele hoofdzaken moet een beeld kunnen worden geschetst van de maatschappelijke kosten en baten van een inrichtingsvariant. Dit vraagt om een vereenvoudigde weergave van de werkelijke situatie, zonder dat er teveel wordt afgeweken van de werkelijkheid. Hiervoor is in deze studie een methode ontwikkeld: de **MKBA-straattool**. Met deze tool kan een gebruiker zelf in hoofdlijnen de lokale situatie van een straat in beeld brengen, een nieuwe inrichting schetsen, de consequenties daarvan inzien en inrichtingsvarianten onderling vergelijken. De MKBA-straattool is niet bedoeld om een exacte uitspraak te doen over de absolute hoogte van een eindbedrag, maar om onderlinge verschillen tussen inrichtingsvarianten in beeld te brengen.

De MKBA-straattool

De methodiek genereert met enkele invoergegevens een beeld van de lokale situatie van een straat en het rioolstelsel. Hierna worden keuzes voorgelegd ten aanzien van een nieuwe inrichting van de openbare ruimte, het rioolstelsel en het omgaan met regenwater. Hieruit volgt direct een beeld van de consequenties in de vorm van een MKBA-overzicht.

De schets van de lokale situatie en de kenmerken van straat en rioolstelsel is gebaseerd op de volgende invoergegevens:

- Hoeveelheid woningen;
- Soort rioolstelsel;
- Type straat;
- Huidige afvoersituatie regenwater;
- Aanwezigheid groen en blauw: bomen, haag, gazon, water.

De volgende keuzes worden vervolgens voorgelegd:

- Wordt het riool vervangen?
 - Nee: over hoeveel jaar dan wel?
- Wordt de bestrating vervangen?
 - Nee: over hoeveel jaar dan wel?
- Wat te doen met het regenwater? Behouden zoals het was of anders:
 - Afvoeren: via riool of bovengronds
 - Lokaal verwerken: middels voorziening(en) naar keuze
- Wat te doen met het groen? Behouden, verminderen of uitbreiden.

Wanneer de invoer van gegevens is doorlopen rekent de tool de nieuwe straatinrichting door. Er volgt direct een beeld van de consequenties in de vorm van een MKBA-overzicht, met een uiteenzetting van investeringskosten, onderhoudskosten, besparing op zuiveringskosten (als er wordt afgekoppeld) en schadekosten als gevolg van waterschade. Uiteindelijk toont de tool de contante waarde van deze kosten en baten tezamen over een periode van 100 jaar. Naast de bedragen van kosten en besparingen worden de baten van groen benoemd.

De methodiek is gebaseerd op gemiddelde waarden, ontwerpstandaarden en koppelingen die tussen gegevens zijn te leggen. Zo wordt bijvoorbeeld gerekend met een gemiddelde lengte aan riolering per woning en een gemiddeld aantal vierkante meters verhard oppervlak per woning. De maatvoering en opbouw van de bestrating en het rioolstelsel is grotendeels vooraf bekend, zonder dat er lokale details moeten worden verzameld. Hierbij is gebruik gemaakt van informatie uit de module D1100 van de Leidraad Riolering (RIONED, 2015) en Bouwkostenkompas (www.bouwkostenkompas.nl).

De methodiek is werkend maar nog niet gereed. De eerste resultaten van het prototype zijn verkregen (stand van zaken april 2017). Een volgende stap is om het format aantrekkelijker en gebruikersvriendelijker te maken.

Stap 7. Resultaten en conclusies

- Er bestaat bij gemeenten behoefte aan informatie over kosten en baten van klimaatbestendig en niet-klimaatbestendig inrichten. Dit ter ondersteuning van de afweging, zowel op het niveau van de praktische straatinrichting als op strategisch gemeentelijk niveau.
- Het is zinvol de focus te leggen op de schaal van de individuele straat. Dit sluit aan bij de focus van gemeenten bij planvorming voor herinrichting en werkzaamheden zoals wegreconstructie en rioolvervanging.
- Het moneteriseren van alle groenbaten en het meenemen van deze bedragen in een MKBA is nog discutabel. Er is nog twijfel over de bestaande berekeningswijzen en kengetallen waarmee gepoogd wordt de baten van groen in geld uit te drukken. Voor een aantal aspecten is het al wel goed mogelijk om de baten van groen te moneteriseren.
- De MKBA is een goed instrument gebleken voor de afweging van klimaatbestendige inrichtingsvarianten.
- Twee methodieken zijn ontwikkeld om de gebruiker op eenvoudige wijze inzicht te bieden in herinrichting van een straat, klimaatbestendig en niet-klimaatbestendig: De MKBA-straattool en het voorbeeldenboek (Kluck et al, 2017a,b).
- MKBA-straattool: het onderzoek heeft een prototype van een eenvoudig toepasbare MKBA-methodiek opgeleverd waarmee de gebruiker met geringe inspanning in hoofdlijnen de huidige eigenschappen van een straat in beeld brengt, een nieuwe inrichting schetst en de consequenties daarvan laat inzien om vervolgens inrichtingsvarianten onderling te kunnen vergelijken. Dit prototype moet verder worden uitgewerkt om te kunnen worden ingezet als een gebruiks-vriendelijk en eenvoudig toepasbaar instrument. Het gaat hierbij om een meer 'cosmetische' uitwerking, waarbij niet de inhoud maar het uiterlijk en de functionaliteit van het instrument aandacht nodig heeft.

Gemeente
Amsterdam

EINDHOVEN

gemeente Houten



Gemeente
Hoogeveen

waternet



Hanzehogeschool
Groningen
University of Applied Sciences

Hogeschool van Amsterdam