

FACTSHEETS

Klimaatadaptatiemaatregelen in het stedelijk gebied.
Ter voorkoming van hittestress, verbetering van het watersysteem en de luchtkwaliteit.

BOMEN

DOELSTELLING: VERBETEREN LUCHTKWALITEIT

Waarom? Bomen hebben een verkoelend effect door het verdampen van water. Ze beschermen gebouwen tegen de warmte van de zon en beschermen de bodem tegen uitdroging. Ze verbeteren de luchtkwaliteit door het vasthouden van stof en het produceren van zuurstof.

Waarom niet? Bomen kunnen schaduw geven op de weg en op de voetpaden. Ze kunnen ook schade aan gebouwen veroorzaken door hun wortels.

Wat te doen? Kies voor lokale bomensoorten die geschikt zijn voor de omgeving. Zorg voor voldoende ruimte voor de wortels. Bepaal de juiste afstand tot gebouwen en andere objecten.

Kenmerken Bomen hebben een verkoelend effect door het verdampen van water. Ze beschermen gebouwen tegen de warmte van de zon en beschermen de bodem tegen uitdroging. Ze verbeteren de luchtkwaliteit door het vasthouden van stof en het produceren van zuurstof.

Kaarttoelichting De kaart toont de locaties van de bomen in het gebied. De bomen zijn geplaatst op plekken waar ze de meeste voordelen opleveren.

Focus

10 | januari 2016

BESCHADUWEN GEBOUWEN

DOELSTELLING: VERBETEREN LUCHTKWALITEIT

Waarom? Beschaduwde gebouwen verliezen minder warmte in de winter en krijgen minder warmte van de zon in de zomer. Dit helpt om de energieverbruik te verminderen en de hittestress te voorkomen.

Waarom niet? Beschaduwde gebouwen kunnen ook schaduw geven op de weg en op de voetpaden.

Wat te doen? Gebruik zonwering op de gevels en daken van gebouwen. Gebruik ook beschaduwende planten en bomen.

Kenmerken Beschaduwde gebouwen verliezen minder warmte in de winter en krijgen minder warmte van de zon in de zomer. Dit helpt om de energieverbruik te verminderen en de hittestress te voorkomen.

Kaarttoelichting De kaart toont de locaties van de beschaduwde gebouwen in het gebied. De gebouwen zijn geplaatst op plekken waar ze de meeste voordelen opleveren.

Focus

10 | januari 2016

REFLECTERENDE MATERIALEN

DOELSTELLING: VERBETEREN LUCHTKWALITEIT

Waarom? Reflecterende materialen reflecteren de zonnestraling en helpen om de hittestress te voorkomen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Waarom niet? Reflecterende materialen kunnen ook schaduw geven op de weg en op de voetpaden.

Wat te doen? Gebruik reflecterende materialen op daken en gevels van gebouwen. Gebruik ook reflecterende planten en bomen.

Kenmerken Reflecterende materialen reflecteren de zonnestraling en helpen om de hittestress te voorkomen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Kaarttoelichting De kaart toont de locaties van de reflecterende materialen in het gebied. De materialen zijn geplaatst op plekken waar ze de meeste voordelen opleveren.

Focus

10 | januari 2016

ENERGIE CONCEPTEN

DOELSTELLING: VERBETEREN LUCHTKWALITEIT

Waarom? Energie concepten helpen om de energieverbruik te verminderen en de hittestress te voorkomen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Waarom niet? Energie concepten kunnen ook schaduw geven op de weg en op de voetpaden.

Wat te doen? Gebruik energie concepten op daken en gevels van gebouwen. Gebruik ook energie concepten planten en bomen.

Kenmerken Energie concepten helpen om de energieverbruik te verminderen en de hittestress te voorkomen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Kaarttoelichting De kaart toont de locaties van de energie concepten in het gebied. De concepten zijn geplaatst op plekken waar ze de meeste voordelen opleveren.

Focus

10 | januari 2016

WATERELEMENTEN

DOELSTELLING: VERBETEREN LUCHTKWALITEIT

Waarom? Water elementen helpen om de hittestress te voorkomen en de energieverbruik te verminderen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Waarom niet? Water elementen kunnen ook schaduw geven op de weg en op de voetpaden.

Wat te doen? Gebruik water elementen op daken en gevels van gebouwen. Gebruik ook water elementen planten en bomen.

Kenmerken Water elementen helpen om de hittestress te voorkomen en de energieverbruik te verminderen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Kaarttoelichting De kaart toont de locaties van de water elementen in het gebied. De elementen zijn geplaatst op plekken waar ze de meeste voordelen opleveren.

Focus

10 | januari 2016

STADSGROEN EN PARKEN

DOELSTELLING: VERBETEREN LUCHTKWALITEIT

Waarom? Stadsgroen en parken helpen om de hittestress te voorkomen en de energieverbruik te verminderen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Waarom niet? Stadsgroen en parken kunnen ook schaduw geven op de weg en op de voetpaden.

Wat te doen? Gebruik stadsgroen en parken op daken en gevels van gebouwen. Gebruik ook stadsgroen en parken planten en bomen.

Kenmerken Stadsgroen en parken helpen om de hittestress te voorkomen en de energieverbruik te verminderen. Ze kunnen ook de energieverbruik verminderen.

Kaarttoelichting De kaart toont de locaties van de stadsgroen en parken in het gebied. De groen en parken zijn geplaatst op plekken waar ze de meeste voordelen opleveren.

Focus

10 | januari 2016

Laura Kleerekoper
2016
lkleerekoper@gmail.com

TU Delft, faculty of Architecture,
Climate Design



	Regio	Stad	Wijk	Perceel
vegetatie			straatbomen	bomen
			grasvelden	
			parken	
			groenedaken	vertikaal groen
			wadi's	
		stadsbossen en parken		
		groene routes		
			groen geluidsscherm	particulier groen
		natuurlijke zones		stadslandbouw
water			waterelementen	
	open water en waterparken		waterpleinen	regenton/tank
		grachten en kanalen		
			afkoppelen regenwater	
			open waterafvoer	
			infiltratie punten (evt. combi met wadi)	
			natuurlijke oevers	
			helofyten filter/grijswatersysteem	
bebouwingvorm	herontwikkel-/uitbreidingsstrategie		beschaduwen gebouwen	
		regenwater bestendig bouwen		
		oriëntatie op zon t.b.v. binnenklimaat		
		bevorderen ventilatie		
		gevel- en dakoppervlak		
materiaal			reflecterende materialen	
			materialen met lage warmte accumulatie	
			luchtstroming door ΔT	
			permeabele materialen	
energie	exergie concepten			
		antropogene warmte		
			asfalt/gevel collectoren	

INHOUD



	pagina
Inleiding	4
Vegetatie	5
Water	18
Bebouwingsvorm	29
Materiaal	35
Energie	39
Literatuurverwijzingen	42

INLEIDING



Voor u ligt een bundel van factsheets ter ondersteuning van afwegingen in het ontwerp van de openbare ruimte in relatie tot het stedelijk microklimaat en klimaatadaptatie.

Deze bundeling van kennis en voorbeelden is samengebracht op basis van het promotieonderzoek *Urban Climate Design* aan de Technische Universiteit Delft, afdeling Architectural Engineering and Technology. Het onderzoeksproject was tevens onderdeel van het nationale consortium *Climate Proof Cities*, onderdeel van *Kennis voor Klimaat*.

Het doel van de factsheets is het presenteren van bestaande en innovatieve klimaatadaptatiemaatregelen. De wetenschappelijke kennis uit het onderzoek is vertaald in het Nederlands en in beeld om de toepassing in de praktijk te vergroten.

De factsheets zijn geordend in vijf categorieën: vegetatie, water, bebouwingsvorm, materiaal, energie en overig. Deze kunnen tijdens besprekingen en ontwerpessies op tafel komen om een beeld van de mogelijkheden te geven en vervolgens tot een selectie te komen. Ook als digitaal document kunnen de sheets snel inzicht in mogelijke maatregelen geven.

De informatie over de verschillende onderwerpen verschilt in hoeveelheid bestaande kennis en is soms wel en soms niet veel toegepast. Om dit te kunnen aangeven zijn deze apart in de vakken met kansen en kanttekeningen opgenomen. De factsheet zijn niet samengesteld om een overzicht te geven van alle kennis over de onderwerpen. Voor meer kennis over effecten van maatregelen en ontwerp toepassingen kunt u het proefschrift of gepubliceerde artikelen uit dit onderzoek raadplegen.

BOMEN

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie en
schaduw werking

water

lucht

luchtfilter voor fijnstof
en VOC's

Individuele bomen hebben vooral een verkoelend effect door hun beschaduwung. Het beschaduwen van gebouwen kan een energiebesparing voor koeling van wel 25 tot 80% opleveren (Meier 1991).

In steden zijn er twee type locaties waar bomen worden geplant: op een verharde plek (de stoep, een plein of langs de weg) waar ze bestrating beschaduwen of op open plekken waar ze gras beschaduwen. Een studie voor New York toont aan dat door alle grasvelden te beplanten met bomen de middagtemperatuur in Manhattan met 1°C zal dalen. (Luley, et al 2002).

In Chicago zijn de kosten en baten bij het planten van bomen onderzocht; de baten zijn bijna drie keer zo veel als de kosten. De terugverdientijd varieert tussen de 9 en 18 jaar. Een boom in de stad heeft een levensduur van gemiddeld 40 jaar, reken je winst maar uit. Om meer bomen in het straatprofiel van Chicago te krijgen zijn privétuinen interessant, hier ligt weinig bekabeling en riolering, hebben de bomen een langere levensduur, volgroeien bomen beter en zorgen de bomen dicht bij de woning voor meer energiebesparing (Mc Pherson 1997).

Voor de regio Manchester in het Verenigd Koninkrijk is berekend dat een toename van het bomen areaal met 10% de temperaturen in 2080 op hetzelfde niveau zal houden bij een hoog emissie scenario (Walsh et al., 2007).



Bomen beschaduwen glazen gevel, TU Eindhoven



Parkeren in groene nissen

Kansen

- Loofbomen hebben in de zomer het positieve effect van beschaduwung en in de winter het positieve effect van het doorlaten van de schaarse zonneschijn door het verliezen van hun blad;
- Bomen die parkeerplaatsen beschaduwen verminderen de verdamping van de vluchtige organische stoffen uit brandstof tanks;
- Door bestaande bomen te beschermen kan een nieuw ontwikkelingsgebied reeds volwassen bomen hebben met al hun positieve effecten;
- Een boomaanplant project kan gecombineerd worden met het gebruik van water van zuiveringsinstallaties. Dit water wordt nu op oppervlaktewater geloosd, de vele nutriënten verslechteren de waterkwaliteit, terwijl bomen hier juist van profiteren (Akbari, et al. 1992).

Kanttekeningen

- Er is niet altijd ruimte voor bomen. Een leiboom kan hierbij uitkomst bieden. Andere alternatieven zijn bijvoorbeeld pergola's of gevelgroen;
- Reserveer bij de planning ruimte voor bomen;
- Bomen kunnen de luchtcirculatie teveel beperken, ook dan zijn de bovengenoemde alternatieven inzetbaar;
- In warme droge periodes hebben bomen in steden een tekort aan water, om dit te voorkomen kan regenwater in de bodem worden geïnfiltrerd of opgeslagen in plaats van al het water de stad uit te voeren.

GROENE DAKEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | PERCEEL

hitte

verkoeling door evapotranspiratie en isolatie van gebouwen

water

vertraagde afvoer en waterberging

lucht

luchtfilter voor fijnstof en VOC's



Vegetatie op daken en gevels koelen door evapotranspiratie (evaporatie en transpiratie van planten) en doordat de schaduw van de beplanting opwarming voorkomt. Het binnenklimaat blijft koeler door de isolatiewaarde van een vegetatielaag.

In vergelijking met een dak met zwarte dakbedekking zijn de pieken in oppervlakte temperatuur bij een groendak gemiddeld 33°C lager (Gaffin, et al 2010). Een groendak zorgt bovendien voor een vertraagde afvoer van regenwater. Door het substraat en de plantwortels wordt het water langer vastgehouden en gefilterd. De waterafvoer kan op regionale schaal met 2,7% verminderen wanneer slechts 10% van de gebouwen een groendak hebben (Mentens, 2006). de waterretentie kan oplopen tot 82,8% per individueel gebouw (VanWoert et al, 2005).

Er kan ook worden gekozen voor extra wateropslag op het dak waarmee de beplanting altijd voldoende water ter beschikking heeft en meer kan koelen door verdamping. Ook kan dit water worden ingezet voor bijvoorbeeld toiletwater.



Groendak Bibliotheek TU Delft



Intensief Groendak Garderen

Kansen

- Energiebesparing in de zomer én winter;
- Mogelijkheid om te combineren met een grijswatersysteem;
- De levensduur van daken wordt verlengd;
- Vermindering luchtvervuiling (ozon en fijnstof);
- Aantrekkelijke stedelijke omgeving;
- Habitat voor vogels en ander organisch leven;
- Groene daken zijn op zowel platte als schuine daken toe te passen. De maximale helling bedraagt ongeveer 45 graden. Een plat dak, tot een helling van 6 graden, is goedkoper.

Kanttekeningen

- Extensieve begroeiing van daken kan kostbaar zijn in aanleg en onderhoud, vooral wanneer de constructie moet worden verzaamd om het gewicht van het dak te kunnen dragen;
- Het uiterlijk van het gebouw wordt beïnvloed door de vegetatie. Dit is niet altijd het gewenste uiterlijk;
- Water dat van een groendak komt bevat meer nutriënten dan regenwater. Dit geeft een extra belasting voor traditionele waterzuiveringsinstallaties. Door waterzuivering te combineren met bijvoorbeeld een algen kwekerij kan hier juist van geprofiteerd worden.

VERTICAAL GROEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | PERCEEL

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie en
schaduw werking

water

extra waterverdamping

lucht

luchtfilter voor fijnstof
en VOC's



Groengevels verkoelen door verdamping en beschaduwung, maar beschermen de gevel ook tegen temperatuur-, uv- en piekbuienbelasting.

Bij grondgebonden systemen wortelen klimplanten in de bodem en wordt onderscheid gemaakt in directe gevelbegroeiing of indirecte gevelbegroeiing waarbij een klimhulp noodzakelijk is.

Bij niet grondgebonden systemen groeien planten in een substraat of worden gevoed door een geavanceerd regelsysteem.

Een studie in Tokyo toont een koeffect van gevelgroen op de omgeving en het binnenklimaat aan. In de zomer werd een temperatuurverschil dicht bij de grond gemeten van 0,2–1,2 °C. De simulaties lieten ook een vermindering in het energieverbruik voor koeling zien van 4–40%. Vooral in woonstraten werd een grote energie besparing bereikt. (Kikegawa, et al 2006)



Musée du quai Branly, Jean Nouvel



Institute of Physics, Berlin-Adlershof

Kansen

- Planten verdampen meer wanneer ze een overvloed aan water hebben dan als ze te weinig water hebben. In de zomermaanden van juli tot en met september is gemeten aan de waterconsumptie van de testplant 'Wisteria sinensis' namelijk 420 liter per dag voor in totaal 56 planten. Dit staat gelijk aan een koeling van 280 kWh per dag voor een binnengebied van het Berlin-Adlershof (Schmidt 2006);
- Groene gevels dienen als warmte-isolatie door hun luchtbuffer en beperken van het warmte verlies door remmen van de wind.

Kanttekeningen

- Groene gevels kunnen veel onderhoud vergen, dit is afhankelijk van de soort begroeiing, vorm van de gevel en de klimaatomstandigheden;
- Het uiterlijk van het gebouw wordt voor een groot deel bepaald door de vegetatie. Het type groengevel moet in overeenstemming zijn met de beoogde uitstraling van het gebouw.

PARTICULIER GROEN

SCHAALNIVEAU: PERCEEL

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie en
schaduw werking

water

tijdelijke waterberging
en extra waterinfil-
tratie

lucht

luchtfilter voor fijnstof
en VOC's



Een groot deel van het stadsoppervlak wordt ingericht door particulieren. Vaak resulteert dit in veel verharding en weinig groen. Als hier verandering in kan worden gebracht levert dit heel veel winst op. Er kan een significant verkoelingseffect en extra ruimte voor waterretentie behaald worden. Er kunnen meer bomen, grote gras- en plantzones, opritten met halverharding en waterpartijen worden aangelegd.

Ook blijkt dat groen op particulier terrein vaak het meest effectief is en daarom ook de beste kosten-batenverhouding heeft:

Een studie in Chicago wijst uit dat door de hoeveelheid bomen in de stad met 10% te vermeerderen hoge besparingen in gebouwen op koeling en verwarming kan worden behaald (Mc Pherson 1997). Met name het planten van bomen op privé kavels is zeer kostenefficiënt. Bomen op deze locaties zijn relatief goedkoop te realiseren, hebben een hoge levensverwachting en groeien uit tot gezonde bomen. Daarbij leveren bomen direct voordelen aan de gebouweigenaar in kosten besparing op energie, schonere lucht en waardestijging vanwege de esthetische en sociale bijdrage van bomen.



Eduard François, L'Immeuble qui Pousse, Montpellier, France



Kastanjelaan, Arnhem

Kansen

- Particulier groen stimuleren door bij de aanleg van tuinen ondersteuning te bieden is vaak een goede investering. Door de juiste planten en bomen te kiezen kan dit worden afgestemd op de capaciteiten en wensen van de eigenaar;
- Ook initiatieven van bewoners kunnen leiden tot vergroening van de wijk. Een burger organisatie als Permacultuur toveren tuinen in een dag om tot permacultuur waar de bewoners hun eigen voedsel kunnen verbouwen (www.eindhoven.transitiontowns.nl);
- Een goed begin is het halve werk, wanneer een tuin goed en onderhoudsvriendelijk is aangelegd is de kans groot dat de tuin groen blijft.

Kanttekeningen

- Het motiveren van bewoners voor een groene tuin zonder deze een verplichting op te leggen is niet altijd gemakkelijk. Belangrijk hierbij is het aantrekkelijk en eenvoudig maken van groen op eigen grond. Bijvoorbeeld door als gemeente planten en tuinadvies aan te bieden en te laten zien wat het kan opleveren in energiebesparing, extra comfort, in voedsel productie, meer vogeltjes in de tuin of in waarde stijging van je huis.

TU Delft



Kleerekoper, L.

PARKEN

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK

hitte

verkoeling door evapotranspiratie, schaduw, radiatie en koele luchtstroming

water

waterretentie en -infiltratie

lucht

luchtfilter voor fijnstof en VOC's



Een stedelijk bos of park is een groengebied binnen een stedelijke omgeving. Deze groengebieden hebben een lagere lucht- en oppervlaktetemperatuur. Deze koelere plekken worden in de wetenschappelijke stukken een Park Cool Island (PCI) genoemd. Een PCI werkt verkoelend door: evapotranspiratie van bomen en planten, evaporatie van oppervlaktewater en/of vocht in de bodem en het genereren van een koele luchtstroming. Gedurende de nacht zorgen open velden voor een snelle afkoeling vanwege de hoge uitstralingsfactor naar de hemelkoepel.

Het temperatuurverschil tussen een park en zijn omgeving is gemiddeld 1-7°C, dit blijkt uit een vergelijking van studies. Een groengebied hoeft niet groot te zijn om een verkoelend effect te hebben. Volgens een studie in Tel Aviv heeft een park van 0,15 ha een koeleffect van 1,5°C en rond het middag uur maar liefst 3°C (Shashua-Bar & Hoffman, 2000). Een andere studie in Göteborg toont aan dat een groter groengebied ook een grotere koeling genereert. In een park van 156 ha werd een maximum temperatuurverschil van 5,9°C in de zomer gemeten (Upmanis, et al 1998).



Lange Voorhout, Den Haag



Sonsbeekpark, Arnhem

Kansen

- Een stedelijk bos zou tijdens een hittegolf als koele plek kunnen dienen;
- Interessant is de koelende werking van het groen op de omgeving. In Tel-Aviv hadden de kleine parken een reikwijdte van 100 meter vanaf de rand van het park. De reikwijdte van het koeleffect van het groen was in Göteborg meer dan een kilometer;
- Bij nieuwbouwprojecten ligt een grote kans om groengebieden te combineren met stedelijke gebieden met een hoge dichtheid;
- Plan specifiek ruimte voor parken bij stadsuitbreiding.

Kanttekeningen

- Het koeleffect van een park wordt door vele factoren beïnvloed en is daarom niet altijd gelijk of goed te voorspellen. Zowel op het temperatuurverschil en de reikwijdte van het koeleffect zijn de volgende aspecten van invloed: het lokale klimaat, weersomstandigheden, geografie, bebouwingsvorm en stadsomvang;
- Het realiseren van grote groengebieden binnen een bestaande stedelijke structuur is alleen mogelijk wanneer een gebied op grote schaal wordt herontwikkeld. Zelfs dan is de kans groot dat de druk van ontwikkelaars om meer te bouwen zo groot is dat het groen wordt gereduceerd.

GRASVELDEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

verkoeling door evapotranspiratie en warmte radiatie naar de hemelkoepel

water

extra waterinfiltratie, tijdelijke waterberging

lucht

luchtfILTER voor fijnstof en VOC's



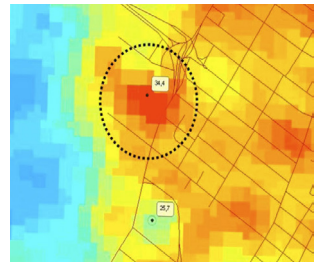
Open grasvelden zijn met name 's nachts belangrijk voor de afkoeling van een gebied. Gedurende de dag zijn open grasvelden minder effectief met betrekking tot koelen dan een groengebied met bomen. Overdag vangt een open veld veel zonlicht waardoor het vocht in de bodem verdampt, waarna deze oppervlakte snel opwarmt. 's Nachts keert dit om in een snelle afkoeling. Warmte kan vrij naar de hemelkoepel stralen omdat er geen obstakels zijn die de warmte reflecteren of vasthouden.

Om de opwarming van een grasveld te minimaliseren is het ook hier van belang dat de grond voldoende vocht bevat. Het grasveld heeft een koelend effect doordat het water verdampt. Een grasveld moet niet te vaak worden gemaaid of gedraineerd om als koeling te kunnen fungeren.

Vegetatie absorbeert ook vervuiling uit regenwater. Zware metalen en nutriënten binden zich aan de grond zodat deze niet in grondwater of oppervlaktewater komen. Meer dan 95% van het cadmium, koper en lood kan uit regenwater worden gefilterd en 16% van het zink. (Johnston & Newton 2004)



Park Lepelenburg, Utrecht



Warmtekaart Montreal, Canada

Kansen

- Een grasveld kan met vele functies gecombineerd worden; speelplaats, voetbalveld, honden uitlatenveld, picknickplaats, visplek, festivalterrein, etc.;
- Een habitat voor kleine dieren, insecten en ander organisch leven;
- Een open grasveld kan fungeren als waterinfiltratie gebied (wadi) en vangt fijnstof af;
- Als parkeerplaats in combinatie met halfverharding;
- Open plekken in parken dragen bij aan overzicht en veiligheid;
- Aantrekkelijke stedelijke omgeving
- Grond een aantal belangrijke functies, waaronder het filteren van water en koolstofafvang (Vrscaj et al 2008). Grasvelden behouden deze functie in tegenstelling tot verharding en bebouwing.

Kanttekeningen

- Voetbalvelden zijn koude plekken binnen een warmere stedelijke omgeving, in de warmte kaart rechts boven is het zuidelijke groene veld dan ook licht blauw gekleurd. Echter, de nieuwe trend van kunstgrasvelden vormt een gevaar met betrekking tot hittestress. Het noordelijke veld heeft een kunstgrasmat en is niet alleen minder koel, de oppervlaktetemperatuur is zelfs warmer dan dat van het omliggende stedelijke gebied. Het gaat om een verschil van 8,7°C tussen een natuurlijk- en kunstgrasveld;
- Een grasveld als stedelijk groen wordt soms gezien als groen met weinig kwaliteit. Verhoog de kwaliteit door er functies aan te verbinden, selectief te maaien (meer bloemen en bijen) of door open grasvelden te combineren met bomen, struiken en planten.

TU Delft

Kleere koper, L.



STRAATBOMEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT

hitte

verkoeling door evapotranspiratie, schaduw werking en reflectie van straling

water

extra waterinfiltratie

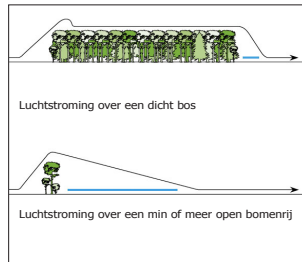
lucht

luchtfilter voor fijnstof en VOC's, kunnen ook vervuilde lucht vasthouden

De impact van bomen in het straatprofiel op de temperatuur in een stad lijkt niet groot te zijn omdat deze erg verspreid door de stad staan. Het aantal bomen is echter enorm waardoor dit effect juist vrij groot is.

Bomen werken in het stedelijk gebied ook als luchtfilter voor fijnstof, stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen (VOS). Loofbomen filteren met name ozon en stikstofoxiden en naaldbomen vooral fijnstof en VOS. Het voordeel van naaldbomen daarbij is dat deze het hele jaar door de luchtzuiveren. Voor een optimale zuivering van de vervuilde lucht is het belangrijk dat de bomen poreus zijn (minimaal 40%) zodat de lucht er doorheen in plaats van over heen waait.

Een bomenrij die in meer of mindere mate open is, laat een deel van de wind door, in tegenstelling tot een groene windsingel of een bos. De windsnelheid neemt minder af dan bij een dichte singel, maar het beschermde gebied met een lage windsnelheid is veel groter. Dit gebied kan een lengte hebben van 15 tot 20 maal de boomhoogte.



Luchtstroming over groen (Hiemstra et al 2008)



Burgemeester van Tuylkade, Utrecht

Kansen

- De positie van bomen in een verharde omgeving maakt ze zachte en kwetsbare elementen. Hierdoor brengen ze een andere dimensie in de anders zo harde oppervlakten van bestrating en gebouwen;
- Bomen reageren op de seizoenen; in de koude winter zijn bomen warmer dan hun omgeving en tijdens de warme zomerperiode zijn bomen juist koeler dan hun omgeving.

Kanttekeningen

- Bomen in het straatprofiel zijn kostbaarder in aanplant en behoeven meer onderhoud dan die in een park;
- Bomen met een dichte en wijde kruin kunnen een afgesloten scherm van bladeren vormen die de doorstroom van verse lucht belemmeren. Uitlaatgassen van auto's blijven zo in de straat hangen. Wees hierop bedacht bij de selectie van de boomsoort en de positie van de bomen in het straatprofiel. Met het oog op elektrisch vervoer kan wellicht een dichter bladerdek worden geaccepteerd. Maar ook dan blijft voldoende ventilatie van drukke verkeersstraten belangrijk vanwege ander fijnstof van bijvoorbeeld banden.

STADSLANDBOUW

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | GEBOUW

hitte verkoeling door
evapotranspiratie

water extra waterinfiltratie

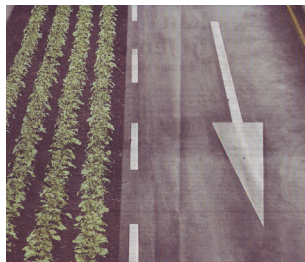
lucht luchtfilter voor fijnstof
en VOC's

Stadslandbouw voorziet stadsbewoners van voedsel en is een alternatieve invulling van de groene ruimte. Het effect hiervan op het stedelijk klimaat is vergelijkbaar met dat van een park. Het geeft verkoeling door evapotranspiratie van planten en infiltreert en consumeert water.

Er zijn vele voorbeelden waarin tuinen, parken en ook daken geschikt zijn gemaakt voor het verbouwen van groente en fruit in de stad. Een vaak voorkomende vorm van stadslandbouw is de stadsboerderij. Deze leveren een meerwaarde voor zowel de stad, de boer en de burgers. Inkomsten uit landschapsbeheer en directe verkoop van verse producten zijn voordelen voor de boer. Ook biedt de stadsboerderij recreatiemogelijkheden in de buurt.

Nieuwe vormen van stadslandbouw kunnen geïntegreerd zijn in een woon- of kantoorgebouw of in een gestapelde vorm. Hierin kunnen afvalstromen uit gebouwen, zoals water en warmte, worden benut voor het produceren van voedsel.

Verticale landbouw is een nieuwe vorm van voedsel productie waarmee de menselijke voetafdruk verlaagd kan worden.



Straten worden moestuin



Eagle Street Rooftop Garden, New York

Kansen

- Steden zijn afhankelijk van omliggend land en voor een groot deel zelfs het buitenland wat betreft hun voedselvoorziening. Zelfvoorzienend zijn in voedsel kan voor steden heel belangrijk worden wanneer transportkosten in de toekomst hoger worden en er voedsel schaarste ontstaat door mislukte oogsten en bevolkingstoename;
- Zie ook parken, groene daken en groene gevels voor voordelen van vegetatie.

Kanttekeningen

- Voedsel productie vereist naast ruimte ook veel water. Steden met een beperkte water toevoer zullen opslag moeten zien te realiseren. Dit kan op of onder gebouwen, onder de grond of in oppervlaktewater met voldoende diepte.

GROEN GELUIDSSCHERM

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie en
luchtzuivering

Een groen geluidsscherm combineert geluidsisolatie met het filteren van de lucht en voegt kwaliteit toe aan de omgeving ten opzichte van een onbegroeid geluidsscherm. De begroeiing wordt na het opbouwen van het scherm geplant tegen of op het scherm. Na verloop van tijd ontstaat een geheel begroeide wand.

water

extra waterinfiltratie

Voor de begroeiing wordt vaak gekozen voor klimop (Hedera Helix), maar ook Bruidssluijer (Fallopia), Vuurdoorn (Pyracantha), Hondсроos (Rosa canina) of de Duinroos (Rosa pimpinellifolia) zijn goede opties voor het filteren van fijnstof en/of VOC's. (Hiemstra, 2008)

lucht

luchtfilter voor fijnstof
en VOC's



Leenderweg, Eindhoven, foto: R. Burg



Tabaksteeg, Leusden

Kansen

- Met name de esthetische kwaliteit van een groen geluidsscherm is een extra argument om zuiverende planten toe te voegen;
- In de stedelijke omgeving is ook de verkoelende werking van planten van belang;
- Planten voorkomen vormen van vandalisme zoals graffiti;
- Dieren vinden bescherming en voedsel in een begroeid scherm.

Kanttekeningen

- Aanleg en onderhoud van het groen is een extra investering, maar omdat een groen scherm op minder weerstand zal stuiten verdient zich dit terug. Er kan ook met een minder ontworpen scherm volstaan omdat de constructie voor een groot deel overgroeit en het uiterlijk meer wordt bepaald door het type plant dan de materiaal keuze.

WADI'S

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT

hitte verkoeling door
evapotranspiratie

water extra waterinfiltratie,
tijdelijke waterber-
ging

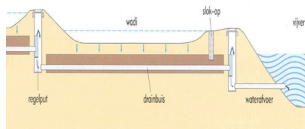
lucht luchtfilter voor fijnstof
en VOC's



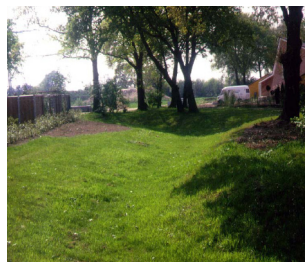
In een wadi wordt het regenwater wordt opgevangen. Het zijn brede verlaagde greppels of (kleine) grasvelden waarin het water wordt vastgehouden voordat het naar de bodem en het oppervlaktewater stroomt. Een laag humusrijke grond onder het gras van de wadi's zorgt ervoor dat eventuele vuildeeltjes achterblijven. Het water wordt zoveel mogelijk in het gebied vastgehouden om de waterstanden op peil te houden. Als de grondwaterstand laag is zal het regenwater infiltreren. Is de grondwaterstand te hoog dan zorgt een drainagesysteem ervoor dat het geïnfiltreerde regenwater naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd.

Een voorbeeld zijn de wadi's in Ruwenbos in Enschede: de wadi's zorgen dat 99% van het regenwater in de bodem infiltreert. Vegetatie en bodem dragen hierdoor meer bij aan koeling in warme periodes. De wadi's vormen hier een landschappelijk onderdeel van de wijk en zorgen voor een wisselend beeld. Een groot deel van het jaar staan de wadi's droog en slechts op gemiddeld 3 dagen per jaar treedt de overstort (slokop) in werking.

Wadi's zijn in aanleg goedkoper dan een ondergronds afvoerstelsel. De aanleg per strekkende meter is weliswaar hoger, maar doordat er minder dan de helft aan lengte hoeft te worden gelegd kom je op een besparing van zo'n 40%. De onderhoudskosten liggen echter wel hoger omdat hierin het groenonderhoud moet worden meegenomen (Bruins 2009).



Prinsipe Wadi (bron: Waterschap Regge en Dinkel)



Wadi, Ruwenbos, Enschede

Kansen

- Wadi's zorgen niet voor meer muggen. Ze staan namelijk nooit lange tijd onder water en dus komen er geen muggen op af. Een goed werkende wadi staat enkele uren na een hevige regenbui alweer droog, max na 24h;
- Vaste planeten in een wadi zorgen voor betere infiltratie en minder maaibeurten. Dit geeft een divers beeld en is goed voor bijen en vlinders (Hop 2011).

Kanttekeningen

- Dit watersysteem brengt met zich mee dat het regenwater zo schoon mogelijk moet blijven. Aan bewoners wordt daarom gevraagd ervoor te zorgen dat er geen hondenpoep, strooizout, autowaswater of zwerfvuil op straat en in de wadi's terecht komt;
- Ook moet de infiltratiecapaciteit van de bodem in tact blijven. Dit betekent dat slib en bijvoorbeeld bladeren op tijd moeten worden verwijderd.

STADSBOSSEN EN PARKEN

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie en
beschaduwing

water

extra waterinfiltratie

lucht

Een stedelijk bos of park is een groen gebied binnen een stedelijke omgeving. Deze groen gebieden hebben een lagere lucht- en oppervlaktetemperatuur. In de wetenschappelijke literatuur worden deze koelere plekken een Park Cool Island (PCI) genoemd. De karakteristieken van een PCI die leiden tot koelen zijn; evapotranspiratie van bomen en planten, evaporatie van oppervlakte water en/of vocht in de bodem. Gedurende de nacht zorgen open velden voor een snelle afkoeling vanwege de hoge radiatie factor naar de hemel koepel.

Een park is bij warm weer gemiddeld 1-8°C koeler dan zijn stedelijke omgeving afhankelijk van de grootte en opbouw van het park (Bowler et al. 2010). Het koeleffect van een park op de omgeving is erg wisselend en reikt van 100 tot 1000m van het park. Hierbij hebben kleine en verspreide parken meer effect op de stedelijke omgeving dan eenzelfde oppervlakte aaneengesloten park.

Indien een park een koelende functie moet vervullen is de aanwezigheid van water van groot belang. In de gematigde klimaatzone is de koeling door bladverliezende bomen normaal gesproken hoger dan die van naaldbomen. Er zijn planten en bomen die, zolang ze voldoende water ter beschikking hebben, maar liefst 20 liter per m² kunnen transpireren op een zonnige dag.



Central Park, New York City



Green Park, London, UK

Kansen

- Vermindering luchtvervuiling (ozon en fijnstof);
- Koude luchtstromen vanuit bosrijke parken de stad in;
- Aantrekkelijke stedelijke omgeving
- Habitat voor vogels en ander organisch leven;
- Energiebesparing (een stijging van de buitentemperatuur van 1.0 °C leidt tot een extra elektrische energie vraag van 6.6% om binnenruimtes te koelen);
- Bescherming tegen het afsluiten van waardevolle grond met bebouwing en verharding. In steden vervult de grond een aantal belangrijke functies, waaronder het filteren van water, koolstof opvang en in sommige gevallen voedselproductie.

Kanttekeningen

- Ruimte voor groen in steden is schaars, van bebouwd naar groen is vaak geen optie, anders om wel;
- Bomen zijn weinig flexibel, bij de planvorming moet al rekening worden gehouden met de snel veranderende steden van tegenwoordig;
- Bomen hebben tijd nodig om te groeien en het kost tijd voordat hun koelende werking optimaal is.

GROENE ROUTES

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie en
schaduw werking

water

extra waterinfiltratie

lucht

Groene routes kunnen als een verkoelende zone in een stad werken. Bomen werken hier door te koelen (evapotranspiratie) en het voorkomen van opwarmen door hun schaduw. Groenelementen kunnen ook de windsnelheid verminderen, dit is een gunstig effect in winter, maar kan het verspreiden van koude lucht in de zomer verhinderen.

Het koeleffect van groene zones is erg afhankelijk van het soort groen en de inrichting die er aan wordt gegeven. Dit geldt met name ook voor de concentratie fijnstof in de lucht. Om fijnstof maximaal te kunnen afvangen, en minder op te sluiten tussen gevels en het bladerdek, is het belangrijk dat de vegetatie poreus genoeg is om de wind door te laten, maar wel zoveel mogelijk bladoppervlak bevat om de fijnstof af te vangen.



Oranjekanaal, Emmen



Maliebaan, Utrecht

Kansen

- Een groene route door de stad kan regenwater opvangen en zo voorkomen dat straten blank komen te staan;
- Een groene berm of waterloop kan als migratie route fungeren voor flora en fauna;
- Door een aantrekkelijke route naar de stad te creëren wordt langzaam vervoer gestimuleerd.

Kanttekeningen

- Door verkeersaders te vergroenen kan de concentratie fijnstof te hoog worden wanneer er een 'groentunnel' ontstaat. De groenstructuur dient dan voldoende open te zijn om dit te voorkomen;
- Voor groen is ruimte nodig, ruimte die in dit geval concurreert met de behoefte aan extra rijbanen of een aparte fiets strook. De uitdaging is het groen op een creatieve manier toe te passen waardoor een groen toepassing niet direct minder mobiliteit betekent.

TU Delft



Kleerekoper, L.

NATUURLIJKE ZONES

SCHAALNIVEAU: REGIO | STAD

hitte

koele luchtstroming en koele bufferzone tussen stedelijke gebieden

water

extra waterinfiltratie, water buffer, zoet water voorziening

lucht

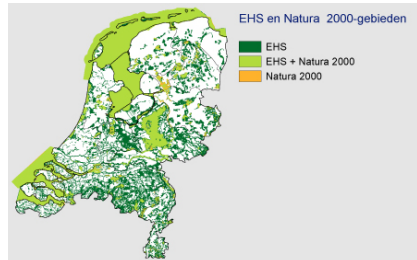
grootschalige afvang van CO2 en fijnstof, zuurstof productie

De grote natuurgebieden in Nederland met bijzondere waarde vanuit ecologisch oogpunt zijn onderdeel van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) van Nederland die in 1990 is geïntroduceerd en in 2018 voor een groot deel zal zijn gerealiseerd. Het doel van de EHS is om de droge en natte natuur uiteindelijk als een netwerk op elkaar aan te laten sluiten en te verbinden met Europese natuurgebieden. Vanuit Europa worden waardevolle natuurgebieden beschermd binnen het Natura 2000 netwerk dat is gericht op de bescherming van habitat en soortenrijkdom.

Natuurlijke zones zijn van belang voor het behoud van schoon water, zoet drink water en voor het opvangen van extremen (nat en droog).



Tongerenseheide, Veluwe, EHS en Natura 2000 gebied



EHS en Natura 2000 (Planbureau voor de Leefomgeving)

Kansen

- Grote natuurgebieden reguleren hun eigen temperatuur en water balans en kunnen werken als buffer voor stedelijk water;
- Recreatief gebruik van de gebieden kan economisch impuls geven aan de regio;
- Het aaneensluiten van natuurgebieden vergroot de biodiversiteit en is essentieel in het gezond houden van populaties;
- Locale en duurzame hout productie.

Kanttekeningen

- De spanning tussen verstedelijking en vergroening om verbindingen te realiseren is een grote uitdaging.

WATERELEMENTEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte verkoeling door evaporatie

water waterbeleving en deel van systeem voor opvang, vertraagde afvoer, berging en zuivering

lucht

Waterelementen hebben met name een verkoelend effect wanneer water doorstroomt, of nog beter, wordt verneveld. Stromend water kan sneller warmte absorberen en verneveld water verdampt veel meer. Verkoeling van een waterelement kan tot zo'n 30 m afstand effect hebben (Nishimura, et al 1998).

Fonteinën hebben vooral een psychologisch effect. Ze geven een gevoel van frisheid en ontspanning. Uit metingen blijkt echter dat ze minder effectief verkoelen in vergelijking tot bomen. (Lenzholzer 2008)

Indien een privé tuin wordt ingericht met een waterelement heeft dit direct effect op de omgeving waar mensen in verblijven. In situaties waar bijvoorbeeld bomen geen optie zijn kan het daardoor toch een geschikte maatregel zijn.



Bedriegertjes



Trevi fontein, Rome

Kansen

- Waterelementen hebben een esthetische waarde voor de stad en maken stedelijke ruimtes aantrekkelijker;
- Waterelementen kunnen worden ingericht en ontworpen als speelplek. Let wel op dat de waterkwaliteit hierbij heel belangrijk is;
- Waterbeleving is belangrijk, door water zichtbaar te maken creëer je bewustzijn;
- In combinatie met wateropslag, berging of infiltratie voorzieningen kunnen waterelementen bijdragen aan een integraal watersysteem in een wijk.

Kanttekeningen

- Stedelijke waterelementen vertonen vaak een snelle opwarming door het geringe watervolume. Dit vermindert de verkoelende werking maar kan vooral leiden tot groei van algen of bacteriën. Door een waterelement aan te sluiten op een groter systeem kan dit voorkomen worden;
- Waterelementen hebben een minder verkoelend effect dan bijvoorbeeld bomen. Deze hebben daarnaast ook nog een schaduw functie en kunnen als paraplu dienen, met name soorten met schermvormige kronen.

REGENTON/TANK

SCHAALNIVEAU: PERCEEL

hitte

in droge tijden voldoende water voor de tuin

Regenwater van daken kan worden opgevangen in een regenton of water tank. Het opgeslagen water kan in een droge periode voor de tuin worden gebruikt. Hiermee ontzie je tijdens een bui het riool en de zuiveringsinstallatie en in een droge periode bespaar je kostbaar drinkwater.

water

waterberging tijdens piek buien en wateropslag

Een grote watertank kan voldoende water opslaan om ook de auto te wassen, te gebruiken voor toiletspoeling en evt. een geheel grijswatersysteem te voeden.

lucht



Regenton



Regenton, drop of water



Watertank

Kansen

- Waterberging voor het bewateren van de tuin, autowassen en/of grijswatersysteem, afhankelijk van de hoeveelheid opslag;
- Door water op te vangen wordt het riool en de waterzuiveringsinstallatie minder belast.

Kanttekeningen

- Een regenton kan een broedplaats voor muggen worden indien deze niet goed is afgesloten;
- Bij opslag voor grijswatersystemen moet tijdens de bouw goed opgelet worden dat de verschillende watersystemen goed worden aangesloten.

OPEN WATERAFVOER

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte verkoeling door evaporatie en indirect door waterbeleving en evapotranspiratie door bomen

water water berging tijdens piek buien en water afvoer

lucht

Dit zijn systemen die water afvoeren naar drainage punten of oppervlaktewater. Een open waterafvoer kan tijdelijk of permanent water bevatten.

Een waterafvoer die het water van daken naar een verzamelpunt in de wijk transporteert bevat alleen water wanneer het regent. Vanuit een tijdelijke watergoot kan het water op een infiltratie punt, opslag of een permanente goot uitkomen.

Let op bij drukke verkeerswegen dat het water dat hier vanaf stroomt vervuild is en dus niet gemengd moet worden met schoon oppervlakte water of zonder filter geïnfiltreerd kan worden.

Een permanent watersysteem moet voldoende diep zijn om extra water af te kunnen voeren en dient onder een verloop aangelegd te worden. Indien er geen aanvoer van hoger gelegen gebied mogelijk is, kunnen er pompen worden ingezet om het water te laten circuleren.



Waterafvoer, Freiburg



Waterafvoer, Amiens



Waterafvoer, Nijmegen

Kansen

- Ondiepe waterlopen in de stad kunnen ingezet worden tijdens warm weer: door het water te vernevelen, door het over verharding van drukke straten te laten vloeien;
- Ook kan het watersysteem stadsbomen in droge periodes van voldoende water voorzien om ze zo optimaal te laten koelen.

Kanttekeningen

- In drukke winkel- en verkeersstraten kan een waterloop onveilige situaties opleveren. Zorg op kritieke- en oversteekpunten daarom voor een veiligheidsrooster;
- Een watersysteem waar altijd water in staat dient te worden gevoed door een externe bron of een grote waterpartij zodat het water niet te snel opwarmt.

TU Delft

Kleere koper, L.



INFILTRATIEPUNTEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

verkoeling door
evapotranspiratie
door water toevoer
aan bomen

water

water berging tijdens
piek buien en water
afvoer

lucht



Infiltratiepunten in de stad en tuin houden de grondwaterstand in gebieden met veel verharding op peil. Dit is belangrijk voor vegetatie met name voor de groei en het koelvermogen van bomen.

Infiltratiepunten zorgen ook voor minder belasting van het riool en daarmee een lager risico te zullen overstromen. Het water wordt naar infiltratiepunten geleid waar het geleidelijk naar de bodem wordt afgevoerd. Zo staan er aangewezen plekken even blank en blijven de straten en tunnels begaanbaar. Door minder water via het riool af te voeren worden ook waterzuiveringsinstallaties minder belast wat tot kostenbesparing leidt.

Er zijn vele mogelijkheden voor het infiltreren van water. Veelal is het niet direct zichtbaar waar zich een infiltratiepunt bevindt. Dit gebeurt namelijk ondergronds met bijvoorbeeld infiltratiekragen of grind. Bovengronds kan dit worden gecombineerd met een water element of een verlaagd deel op een plein waar slechts tijdelijk water in staat. Er is ook bestrating dat water infiltreert van wegen en parkeerplaatsen.

Een met gras bedekt infiltratiepunt wordt een wadi genoemd, zie desbetreffend thema. Ook halfverharding is een middel om meer water in de bodem te infiltreren.



Infiltratiepunt in de wijk met tijdelijke waterberging



Aanleg infiltratiekragen onder een vijver

Kansen

- Schoon regenwater vult grondwater aan. Dit zorgt voor extra koeling door vegetatie en minder bodem daling;
- Tijdens piekbuien wordt het riool minder belast wat leid tot minder straten die blank komen te staan;
- Waterzuiveringen worden minder belast.

Kanttekeningen

- Infiltratiepunten kunnen op veel verschillende manieren worden aangelegd en er zijn verscheidene systemen. Let op, infiltratie putten en kolken werken minder goed bij een hoge grondwaterstand, en de aanleg van infiltratiekragen is een extra investeringspost;
- In gebieden met een hoge grondwaterstand is meer grondwater soms niet gewenst;
- Er bestaat kans op vervuiling van het grondwater. Bij beperkt vervuild oppervlak moeten er extra zuiveringsmaatregelen worden genomen. Bij intensieve bestrijdingsmiddelen, gladheidsbestrijdingsmiddelen en transport van vervuilde vracht is afkoppeling niet wenselijk.

TU Delft

Kleerekoper, L.



WATERPLEINEN

SCHAALNIVEAU: WIJK

hitte verkoeling door evaporatie, afkoelen door zwemmen

water water berging tijdens piek buien, water beleving

lucht



Waterpleinen hebben een dubbele functie in de stad. In de eerste plaats is het een openbare ruimte die als (speel)plein kan worden ingericht. Daarnaast vervult het een bergingsfunctie voor regenwater tijdens piekbuien. Het plein wordt gebruikt als centrale ruimte in het waterhuishoudkundige systeem. Water in de wijk wordt op het plein opgevangen en tijdelijk vast gehouden. Vanuit dit bassin kan het water vervolgens infiltreren of via het riool geleidelijk worden afgevoerd.

Het plein staat voor 95% van de tijd droog, daarom moet er veel aandacht worden besteed aan de inrichting van het plein in droge toestand. Na een hevige regenbui loopt het plein vol en verandert de vorm en gedaante van het plein.

Een waterplein of reeks van water verzamelplaatsen in de wijk kan behalve een oplossing voor regenwater zijn ook bijzondere openbare ruimtes creëren. Zo kan waterberging met sport en speel plekken, natuurlijke zones, verkeersremmende maatregelen, monumentale elementen of een waterzuiveringssysteem worden gecombineerd. Een plein kan behalve een open bassin ook een gesloten of permeabel bassin hebben of een drijvend oppervlak hebben dat omhoog komt met regen.



Waterpleinen, De Urbanisten



Bentemplein, Rotterdam

Kansen

- Tijdelijke piekberging van regenwater in combinatie met een functie als spelen, verkeer, kunst en/of waterzuivering;
- Ontlasting van het riool;
- Bijzondere openbare ruimtes;
- Ook met regen reden om naar buiten te gaan.

Kanttekeningen

- Water bij speelplekken moeten aan veel regelgeving voldoen, dit vergt extra aandacht, waarbij niet vergeten mag worden dat de ruimte vooral met droog weer, namelijk 95% van de tijd, een aangename en bruikbare plek is.

WATERSPEELPLEKKEN

SCHAALNIVEAU: WIJK

hitte verkoeling door evaporatie en indirecte evapotranspiratie, afkoelen door zwemmen

water water berging tijdens piek buien, water beleving

lucht

Waterspeelplekken geven kinderen de mogelijkheid water te beleven. De speelplaatsen kunnen stedelijk of natuurlijk worden ingericht en er kan permanent of alleen tijdens of na regenval water ter beschikking zijn. De speelplaatsen kunnen bij warm weer voor verkoeling zorgen.

De waterspeelplekken kunnen ook extra water bufferen tijdens piekbuien.



Waterspeelplaats De Potmarge,
Leeuwarden



Aquaducten



Culemborg

Kansen

- Beleving van water voor kinderen;
- Verkoeling tijdens warme dagen;
- Extra water buffer.

Kanttekeningen

- De waterkwaliteit is erg belangrijk. Bij stilstaand water bestaat de kans op bacteriële verontreiniging bij warm weer. Er kan worden gewerkt met pompen geïntegreerd in de speeltoestellen of continu stromend water. Bij verbinding met groot oppervlakte water is kans op bacteriële verontreiniging een stuk kleiner.

GRACHTEN EN KANALEN

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK

hitte

verkoeling door evaporatie en indirecte evapotranspiratie door water toevoer aan bomen

water

water berging tijdens piek buien en water afvoer

lucht

Steden zijn vaak gebouwd aan rivieren, de zee en kanalen vanwege hun belangrijke rol in het transport. Maar water bracht ook het gevaar van overstromingen. Nederland heeft, als geen ander land een lange historie van water management. Dit heeft geleid tot vele variaties in water applicaties binnen de Hollandse steden.

Water kan koelen door evaporatie en door absorptie. De opgenomen warmte kan door stroming de stad worden uitgevoerd. In het algemeen koelt water meer als het stroomt en door het te vernevelen, zoals een fontein doet, wordt een nog groter koeleffect bereikt. Het koeleffect binnen de stad hangt vooral ook af van de luchtstroming die de verkoelde lucht door de stad verspreid.

Het koeleffect van water in steden met een Nederlands klimaat is nog niet gekwantificeerd. Studies in warmere klimaatzones geven een koeleffect van 1-3°C op een afstand van 30 meter. Een studie in Japan laat een temperatuur reductie van ongeveer 3°C op een afstand 35 meter aan de lijzijde van een fontein zien. Het gemeten effect van het watersysteem kan worden gevoeld van 14.00 tot 15.00, op andere momenten van de dag is het temperatuurverschil kleiner (Nishimura, et al 1998).



Oudegracht, Utrecht



Keizersgracht, Amsterdam

Kansen

- Combinatie van koelfunctie en wateropslag/buffer;
- Maken gebruik van relatief constante temperatuur (warmtepomp);
- Water voor stedelingen als afkoelplek; waterspeelplaats, kunststrand of in een vernevelmachine;
- Aantrekkelijke stedelijke omgeving;
- Combinatie met transport en recreatie;
- Voeding/vocht voor flora en fauna;
- Habitat voor organisch leven;
- In Nederlandse steden speelt water vaak een belangrijke rol in de geschiedenis van de stad, in de vorm van havens, rivieren of kanalen. Door deze wateren te herintroduceren of opnieuw vorm te geven kan deze geschiedenis de stad verrijken.

Kanttekeningen

- Water in de stad kan bij warm weer tot gezondheidsproblemen leiden;
- Bij de introductie van nieuwe waterlopen moet ook ontworpen worden op droge en warme periodes;
- Water lopen in de stad vergen aandacht en onderhoud.

TU Delft

Kleere koper, L.



AFKOPPELEN REGENWATER

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

water

water bufferen, afvoeren of infiltreren

lucht

Schoon regenwater dat op verharde oppervlakken valt, stroomt vaak samen met vuil afvalwater via het rioolstelsel naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie. Hier wordt het 'schone' regenwater gezuiverd. Dat is niet alleen zonde, maar veroorzaakt ook steeds meer problemen. Doordat het steeds harder regent, raken de rioolbuizen sneller overbelast. Het gevolg is dat de rioolbuizen overstorten op het oppervlaktewater en er vervuild water in de sloten en rivieren stroomt. Een deel van dit probleem is te voorkomen door het regenwater af te koppelen van het riool.

Bij afkoppelen is er onderscheid tussen terreinen in openbaar eigendom en terreinen in particulier eigendom. Momenteel worden in Nederland vooral openbare terreinen en alle nieuwbouwprojecten afgekoppeld. In de toekomst zullen ook steeds meer bestaande particuliere eigendommen worden afgekoppeld. Sinds 1 januari 2008 kan de gemeente voor nieuw te bouwen woningen het opvangen van hemelwater op eigen terrein verplicht stellen, in alle situaties die zich daarvoor lenen. Voor bestaande bebouwing geldt geen wettelijke verplichting.



Afkoppelen regenwater naar oppervlakte water



Afkoppelen regenwater naar gescheiden riool

Kansen

- Minder belasting op het riool waardoor overstorten minder vaak in werking treden en straten minder vaak blank staan;
- Dit betekent respectievelijk schonere oppervlakte water en minder overlast voor het verkeer;
- Waterzuiveringsinstallaties hoeven minder water te verwerken;
- Zoet en schoon water kan worden opgeslagen voor droge tijden.

Kanttekeningen

- Een gescheiden rioolstelsel betekent hogere investeringskosten. Bij afkoppeling en infiltratie op locatie moet daar aandacht en ruimte voor zijn;
- Bij bestaande woningen is het niet gemakkelijk bewoners tot actie aan te zetten om een voorziening te maken om hun regenwater in de eigen tuin op te vangen.

NATUURLIJKE OEVERS

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT

hitte verkoeling door evaporatie en indirecte evapotranspiratie door water toevoer aan bomen

water water berging tijdens piek buien en water afvoer

lucht luchtfilter voor fijnstof en VOC's

Ruimte voor water wordt steeds belangrijker met de toename van hevige buien, maar ook met langere droge periodes die leiden tot daling van de grondwaterstand en verzilting.

In het Zuiderpark in Rotterdam is extra oppervlakte water gerealiseerd om regenwater te kunnen opvangen bij piekbuien. Om voor extra bufferruimte te zorgen is gekozen voor 50% van de oever breed en natuurlijk aan te leggen. Naast de functie van water buffer zijn natuurlijke oevers ook veilige en interessante plekken voor kinderen om te spelen en vervullen deze een ecologische en waterzuiverende functie.



Zuiderpark, Rotterdam



Leidschrijn, Utrecht

Kansen

- Extra waterberging;
- Recreatieve functie en beleving;
- Habitat en waterzuivering.

Kanttekeningen

- Natuurlijke oevers nemen meer ruimte in beslag en vergen regelmatig onderhoud, wat overigens niet betekend dat het beheer daardoor in zijn geheel duurder wordt.

TU Delft

Kleerekoper, L.



OPEN WATER EN WATERPARKEN

SCHAALNIVEAU: REGIO | STAD

hitte verkoeling door evaporatie en indirecte evapotranspiratie door water toevoer aan bomen

water water berging tijdens piek buien en water afvoer, toevoer van vers water

lucht

Waterparken bestaan voor een groot gedeelte uit permanent water. De ligging is vaak nabij stedelijk gebied zodat het bereikbaar is voor een grote groep mensen. Hier kan verkoeling worden gezocht op warme dagen, maar kan men ook bij kouder weer uitwaaien en zich uitleven. Het koelvermogen van deze parken is groter dan kleinere stads vijvers, maar door de ligging buiten de stad koelt het park in beperkte mate de directe woonomgeving. Bij een gunstige windrichting voert een waterpark koelere lucht aan.

Waterparken zijn van essentieel belang voor het koelvermogen van het water in de stad. Grachten, kanalen en vijvers worden gevoed met vers en koel water uit deze oppervlaktewateren buiten de stad.

De grote wateroppervlakken zijn ook belangrijk als buffer voor het opvangen van regenwater bij veel neerslag en als watervoorraad bij droogte.

In waterparken kunnen zomer en winter activiteiten met water zijn. In het park kunnen verblijfplaatsen zijn voor zwemmen, vissen, picknicken, etc. Bij een groot wateroppervlak kan actief watersport worden uitgeoefend.



Gaasperplas, Amsterdam



Loosdrechtse plassen, recreatie

Kansen

- Koelplek nabij stedelijk gebied;
- Recreatie functie;
- Kan belangrijke bijdrage leveren aan de waterhuishouding van steden;
- Afhankelijk van de aanleg en het beheer kan het een goede habitat vormen voor met name trek vogels.

Kanttekeningen

- Vergen een groot oppervlak;
- Kosten van aanleg en beheer kunnen door de juiste functies in het park te plaatsen worden terugverdiend.

HELOFYTEN FILTER/GRIJSWATERSYSTEEM

SCHAALNIVEAU: WIJK | PERCEEL

hitte verkoeling door evaporatie en indirecte evapotranspiratie door water toevoer aan vegetatie

water zuivering en hergebruik water berging tijdens piek buien

lucht luchtfilter voor fijnstof en VOC's

Door water te zuiveren en te hergebruiken besparen we veel zoet water. Door het decentraal te doen en met natuurlijke processen is er minder geld, energie en een transportleiding nodig om ons watersysteem te onderhouden.

Met name een helofytenfilter heeft een grote koelcapaciteit omdat de planten letterlijk met hun wortels in het water staan.



Grijswater systeem



Helofytenfilter

Kansen

- Minder belasting van het riool en waterzuiveringsinstallaties waardoor minder energie, onderhoud en chemicaliën nodig zijn;
- Tijdens droogte wordt minder schaars zoet water verbruikt en dit blijft bovendien op locatie i.p.v. te worden afgevoerd naar zee;
- Bewoners worden zich bewuster van hun waterverbruik en de schoonmaakmiddelen die ze gebruiken;
- Een wijk bereikt een hogere mate van zelfvoorzienendheid.

Kanttekeningen

- Een natuurlijk waterzuiveringssysteem is kwetsbaar voor schadelijke stoffen, bewoners moeten zich enigszins aan het systeem conformeren;
- Voor een natuurlijk waterzuiveringssysteem moet ruimte worden gereserveerd of vrijgemaakt. Er kan ook een deel van de zuivering ondergronds plaatsvinden;
- Hergebruik van water roept bij veel mensen in eerste instantie weerstand op vanwege angst voor besmetting. Dit is ongegrond wanneer de aanleg goed wordt gedaan en aansluitingen goed worden gemonteerd.

BESCHADUWEN GEBOUWEN

SCHAALNIVEAU: STRAAT | GEBOUW

hitte

voorkomen van opwarming van buiten- en binnenklimaat

water

lucht

voorkomt reactie van zonlicht met VOC tot smog vorming



Het beschaduwen van gebouwen kan een groot verschil in gevoelstemperatuur opleveren. De straling die door de verharde oppervlakken van de stad worden versterkt door weerkaatsing levert een extra warmte last op voor het menselijk lichaam. Door deze extra straling weg te nemen wordt de gevoelstemperatuur verlaagd (Mayer & Matzarakis 2010).

Zonwering kan ook aan de gevel worden bevestigd of binnen worden aangebracht. Hierbij is zonwering aan de buitenkant effectiever dan binnen. Bij binnenzonwering warmt de ruimte tussen het glas en de zonwering toch op en moet dit weggeventileerd worden. Bij de toepassing van luiken als zonwering is er in de winter ook een isolatie functie wanneer deze gesloten zijn.

Een overstek met de juiste afmeting en positie boven het raam is in het Nederlandse klimaat ideaal. In de zomer wordt de hete middag zon geblokkeerd, maar kan de ochtend- of avondzon en de laagstaande zon in de winter wel voor een behaaglijk binnenklimaat zorgen. Wanneer deze laagstaande zon niet onder de schaduw voorziening doorschijnt dient de schaduw toepassing flexibel genoeg te zijn om dit jaarlijks te monteren en demonteren.



Zonneshermen, Malaga, Spanje

Kansen

- Zonneshermen boven de straat kunnen als decoratie iets toevoegen aan het straatbeeld;
- Een dubbele functie als overkapping tegen hete zon en regen;
- Een flexibele inzetbaarheid: wanneer zon gewenst is kan het scherm eenvoudig worden ingetrokken.

Kanttekeningen

- Het zonnesherm moet goed bevestigd kunnen worden, dit kan bij monumentale panden op problemen stuiten. Er kan dan aan lantaarnpalen of een aparte constructie worden gedacht;
- In Nederland wisselen hete en stormachtige periodes elkaar soms snel af. De doeken moeten dus tegen hevige regen en windstoten kunnen.

TU Delft



Kleere koper, L.

Kennis voor Klimaat

ORIËNTATIE OP DE ZON

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT

hitte

bepalend voor opwarming van buiten- en binnenklimaat

water

lucht

De oriëntatie van gebouwen op de zon is in Nederland normaal gesproken gebaseerd op de winter situatie. Om in de koudere maanden profijt te hebben van natuurlijk licht en warmte worden gevelopeningen aan de zuidkant groter ontworpen dan aan de noord kant. Om oververhitting in de zomer te voorkomen zijn er vele mogelijkheden van zonwering, zie ook 'beschaduwden van gebouwen'.

De oriëntatie van straten op de zon heeft veel invloed op het klimaat in de straat en de bebouwing. In de meeste stratenpatronen heeft dit nauwelijks een rol gespeeld bij de aanleg. Andere factoren, zoals verkeersdoorstroming en omliggende stratenpatronen, zijn vaak bepalend voor de oriëntatie.

Oost-West oriëntatie is warmer dan Noord-Zuid oriëntatie (Klok, L.2010). Bij deze oriëntatie vangen straten zomers meer zonlicht in de ochtend en eind van de middag, maar op het heetst van de dag geven ze meer schaduw in tegenstelling tot Noord-Zuid georiënteerde straten. Bij een Oost-West oriëntatie vangen de gevels relatief meer zonlicht in de winter dan in de zomer (Esch et al, 2012).

De meest optimale oriëntaties zijn NO-ZW en NW-ZO voor de combinatie van binnen en buiten comfort. Deze oriëntaties vangen voldoende licht in de winter, zijn goed te beschaduwden in de zomer en leveren een goede prestatie voor het buiten comfort in de zomer (Ali-Toudert & Mayer 2006).



Stad van de zon, Heerhugowaard

Kansen

- Er kan energie voor verwarming en koeling worden bespaard met een gunstige oriëntatie.

Kanttekeningen

- Winter en zomer klimaat stellen tegenstelde eisen, de optimale oriëntatie is afhankelijk van het gebruik/functie van de straat en gebouwen;
- Er zijn vele andere factoren die de oriëntatie van een straat en gebouw bepalen, de inrichting van een straat is meer bepalend in de mate van opwarming.

TU Delft

Kleerekoper, L.



BEVORDEREN NATUURLIJKE VENTILATIE

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK | STRAAT

hitte

warme lucht vervangen voor koude lucht en beïnvloeden menselijk comfort

water

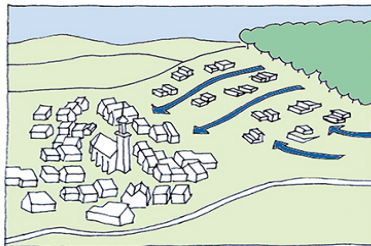
lucht

luchtvervuiling weg ventileren

Er kunnen in steden luchtstromingen worden beïnvloed door het geleiden van wind langs gebouwen en groenstroken. Windstromen worden afgebogen of geremd. Bij het stimuleren van wind ter verkoeling moet altijd rekening worden gehouden met situaties waarin harde wind voor oncomfortabele of zelfs gevaarlijke situaties kan leiden.

Tijdens warme dagen is er vaak weinig wind, waardoor koude luchtstromen van buiten de stad minder makkelijk de stad binnen komen. Er kan met lage windsnelheden (max 0.5 m/s) wel verkoeling zijn van de plaatselijke stromingen die ontstaan door temperatuurverschillen van oppervlakken. Wanneer na zonsondergang de hoge temperatuur van straten en gevels de lucht doet stijgen wordt er in het geval van de aanwezigheid van een park koude lucht aan gezogen. Doordat deze lucht ook weer opwarmt ontstaat er zo een luchtstroming van het park naar de hete plek. Deze stroming blijft twee tot zes uur na zonsondergang doorgaan. Deze luchtstroming heeft invloed tot 250 meter van de rand van een park (Eliasson & Upmanis 2000). Ook kunnen spoor trajecten door de stad voor koude luchtstroming zorgen (Cenedese & Monti 2003).

Opwarming van de gevel aan de lizijde verhoogd de menging van lucht uit straat met luchtlaag erboven. Opwarming van de loefzijde verslechterd deze: afname luchtkwaliteit (Sini et al. 1996). En schuine daken zorgen voor een mix van de lucht in de straat met de lucht daarboven (Rafailidis 1997).



Luchtstroming (groenblauwenetwerken.com)



Brede straten in Parijs, Haussmann

Kansen

- In een structuurvisie is het mogelijk een bepaalde openheid van bepaalde gebieden te stellen. Door bijvoorbeeld een max aan bebouwendichtheid en hoogte te stellen.

Kanttekeningen

- Oriënteren op een windrichting is in Nederland niet gunstig: de wind komt tijdens hete en koude extremen beide uit het noordoosten en de hardste wind uit tegengesteld richting, het zuidwesten. Daarbij is de windsnelheid tijdens hete extremen ook vaak heel laag waardoor een mogelijk koeleffect gering blijft;
- Bij het geleiden van luchtstroming spelen vele factoren een rol welke soms moeilijk te voorspellen en zeer variabel zijn.

GEVEL- EN DAKOPPERVLAK

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

warmte accumulatie

water

verdamping en vertraging in regenwaterafvoer

lucht

Gevels van gebouwen hebben veel impact op het stedelijk microklimaat. De traditionele bakstenengevel zoals we die in Nederland kennen kan veel warmte absorberen. In de ochtend kan dit tot een vertraging in opwarming leiden, maar in de avond geven de gevels nog na zonsondergang warmte af. Andere materialen zoals kunststof en staal slaan minder warmte op en dragen daarmee minder bij aan het nachtelijke hitte eiland.

Een ander aspect van gevels is de reflectie van zonlicht. Wanneer een gevel veel zonlicht reflecteert ontvangen gebouwen, de straat, objecten en mensen een grotere stralingsbelasting. Dit kan leiden tot hogere temperaturen buiten, maar ook bij een tegenoverliggend gebouw kan de binnentemperatuur oplopen. Omdat straling de comforttemperatuur sterk beïnvloed hebben reflecterende gevels een negatief effect op het thermisch comfort buiten in de zomer. Daarbij geeft een lichte buitengevel slechts een kleine temperatuurverlaging binnen een gebouw.

Een hoge reflectie van het dakoppervlak heeft op binnen- en buitentemperatuur een verlagend effect. Omdat de straling terug naar de hemel reflecteert wordt deze niet in de stad in warmte omgezet.

Een gevel- of dakoppervlak kan positief bijdragen aan het microklimaat wanneer deze door bijvoorbeeld vegetatie wordt beschaduwd en actief water verdampt. Een groengevel of -dak zorgt bovendien voor vertraagde afvoer van regenwater. Ook andere materialen kunnen bijdragen aan vertraagde afvoer, zoals veel reliëf of sponsachtige materialen.



Hundertwasser-Haus, Wenen, Oostenrijk



Hortus Conclusus water wall, Duitsland

Kansen

- Gevels en daken worden momenteel niet ingezet voor het reguleren van het buitenklimaat terwijl deze gemiddeld 40% van het stadsoppervlak beslaan;
- De functie van daken en gevels is in de meeste gevallen eenzijdig het beschermen van invloeden van buiten. In tegenstelling tot de concurrentie om ruimte op straat bieden gevels en daken de ruimte om het buitenklimaat te beïnvloeden.

Kanttekeningen

- Gevels en daken zijn gebouwonderdelen en zijn met name privé-eigendom. Particulieren zullen moeten worden overtuigd of gestuurd om een rol te kunnen vervullen voor het stedelijk klimaat;
- Onderhoud, duurzaamheid en uitstraling zijn aspecten die de keuze voor een gevelmateriaal en kleur voor een groot deel meewegen.

TU Delft

Kleerekoper, L.



REGENWATER BESTENDIG BOUWEN

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

mogelijk meer verdamping

water

voorkomen schade door extreme neerslag

lucht

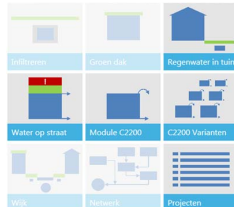


Een wolkbreuk kan in korte tijd voor veel water op straat en in tuinen zorgen. Wanneer er te weinig ruimte binnen een gebied is om dit water te bergen zal er veel water via riool- of hemelwaterafvoeren moeten wegstromen. Indien het afvoersysteem overloopt komt water op straat te staan of kan zelfs kelders en huizen binnenstromen.

In Nederland is het beleid nu gericht op regenwater 'vasthouden, bergen en (vertraagd) afvoeren'. De meeste straten worden gedimensioneerd op een bui van 20mm in een uur. In de toekomst zullen extremere buien voorkomen en is de norm van 60mm een beter uitgangspunt. Ter vergelijking, in Kopenhagen viel in 2011 een bui van 150 mm in twee uur.

De inrichting van het stedelijk gebied heeft veel invloed op het wel of niet ontstaan van wateroverlast. Door stoepranden of een holle weg aan te leggen voorkom je in de meeste gevallen dat water woningen inloopt. Drempels bij buitendeuren geven een extra bescherming. Bij winkels waar geen drempels gewenst zijn zal er op straat meer nodig zijn om extreme buien goed af te voeren. Het is vaak mogelijk waterafvoer aan te sluiten op openbaar groen.

Ook op privé terrein zijn veel mogelijkheden water te bergen, infiltreren en zelfs hergebruiken. Wat de bijdrage op het totale watersysteem kan zijn is te berekenen met bijvoorbeeld Rain Tools van RIONED. Belangrijk is dat particulieren hun potentiële bijdrage in de waterbalans in hun straat zien. Door de inrichting van de tuin aan te passen met minder verharding of door bijvoorbeeld groene daken aan te leggen kan er veel meer water lokaal worden vastgehouden of infiltreren.



Raintools.nl



Wateroverlast Groningen in juli 2011 (Trouw)

Kansen

- Minder water in het (gemengde) riool betekend minder belasting op zuiveringsinstallaties;
- Bij extreme buien kan relatief schoon regenwater naar oppervlakte water worden afgevoerd ipv een overstort van vuil water uit het riool;
- Er zijn kansen voor wateroplossingen in combinatie met groen in de straat, op daken en gevels, in particuliere tuinen, bedrijventerreinen.

Kanttekeningen

- Extreme buien komen vaker voor, maar wanneer en op welke plekken in Nederland die extreme bui - die eens in de 100 jaar valt - komt blijft gissen. Het is goed om te bedenken wat in dat geval acceptabel is.

TU Delft



Kleerekoper, L.

HERONTWIKKEL-/UITBREIDINGSSTRATEGIE

SCHAALNIVEAU: REGIO | STAD

hitte

verkoelende zones tussen steden, omvang stad en locatie keuze stadsuitbreiding

water

lucht

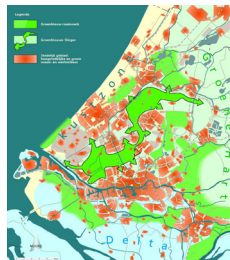
Factoren die van invloed zijn op het UHI effect over de gehele stad (meso-schaal) zijn naast weersinvloeden de omvang van de stad, de bebouwing en materialen in de stad en de temperatuur van de omliggende omgeving.

Hoe groter de stad, hoe groter het UHI effect. Dit fenomeen is aangetoond met vele studies over de hele wereld. Hitte accumuleert in steden vanwege het ontbreken van bomen, enorme verharde oppervlaktes, obstakels die ventilatie met wind blokkeren en door menselijke activiteiten zoals verkeer, industrie, koelen van gebouwen, etc.

T. R. Oke, beroemd onder klimatologen m.b.t. zijn onderzoeken naar het UHI effect, heeft een methode gevonden waarmee het UHI effect kan worden voorspelt voor een Europese stad. Aan de hand van het aantal inwoners van de stad kun je met de volgende formule het maximale verschil in temperatuur tussen de stad en het platteland voorspellen:

$$\Delta T_{u-r}(\max) = 2.01 \log P - 4.06 \text{ (Oke, 1973)}$$

Wanneer de verkoelende werking van de omgeving op de stad in kaart is gebracht kan blijken welke gebieden van belang zijn. Door deze open te houden en niet te bebouwen blijven ze verkoelen. De formule van Oke is indicatief, er is wel degelijk een verschil tussen wijken in hitte-opbouw. Wanneer een nieuwe wijk met veel aandacht voor het microklimaat wordt ontworpen draagt deze minder bij aan de opwarming van aangrenzende wijken dan een standaard ontwikkeling.



Groen-blaauw raamwerk, Provincie Zuid Holland



Kanaalzone, Apeldoorn

Kansen

- Veel groen en water op alle schaal-niveaus verbeterd de leefbaarheid van de stedelijke omgeving;
- Met name groene plekken binnen 200 van de woning en parken in en om de stad zijn belangrijk voor mensen om verkoeling op te zoeken.

Kanttekeningen

- Wanneer een zone of gebied wordt aangewezen als 'klimaat buffer' of verkoelende zone om zo stedelijke ontwikkeling mogelijk te maken is het gevaar dat in de loop van tijd ook die zone zal worden ontwikkeld. Dit pleit voor voldoende groen ook binnen straten en wijken.

TU Delft

Kleerekoper, L.



REFLECTERENDE MATERIALEN

SCHAALNIVEAU: STRAAT | PERCEEL

hitte

voorkomt opwarming van materialen waardoor minder warmte vrijkomt na zonsondergang

water

lucht

De reflectie factor van een materiaal heeft invloed op de hoeveel zonlicht dat wordt weerkaatst en hoeveel er wordt opgenomen in het materiaal. Reflecterende materialen verminderen opwarming van gevels, daken en bestrating. Dit is gunstig voor het binnenklimaat. En buiten vermindert dit de lange golf straling, met name in de avond en nacht is dit effect van belang.

Zoals hiervoor omschreven bij gevel- en dakoppervlak, kan de korte-golf straling een tegenoverliggende gevel of mensen en objecten in de straat juist extra stralingsbelasting bezorgen. Deze weerkaatsing spreekt nauwelijks een rol bij daken.

De reflectie factor wordt ook wel de albedo van een materiaal genoemd en wordt bepaald door de kleur en de ruwheid van het oppervlak van een materiaal. Hoe hoger de albedo, hoe meer licht er wordt weerkaatst. Zo heeft asfalt een gemiddelde albedo van 14%, baksteen 30%, aluminium en staal 60%, en verse sneeuw 80%.

Resultaten van een toenemende albedo zijn berekend in een simulatiemodel voor Sacramento, Californië. Door het verhogen van de albedo van een gehele stad van 25 naar 40%, kan een temperatuurdaling van 1-4 °C worden bereikt. Het verhogen van het gebouw albedo van 9 naar 70% kan de jaarlijkse vraag naar koeling met 19% verminderen. (Taha et al., 1988).



Vejer de la Frontera, Spanje

Kansen

- Lichte, of reflecterende gevels zorgen naast minder warmte afgifte na zonsondergang aan de buitenlucht ook voor minder opwarming van binnen ruimtes;
- Materialisatie en kleur kunnen een relatief goedkope en simpele ingreep zijn, met name in gebieden waar weinig mogelijkheden voor andere hitte beperkende maatregelen zijn.

Kanttekeningen

- Het zonlicht dat door hoge reflectie wordt weerkaatst bereikt voor een groot deel alsnog omliggende gevels, bestrating en mensen waar de straling alsnog resulteert in opwarming,;
- Hoge reflectie in gevels en bestrating kan voor ongewenste situaties zorgen, zoals verblinding van verkeersdeelnemers;
- In een klimaat waar het weer vaak vochtig en bewolkt is vergen lichte kleuren meer onderhoud door verwerking;
- In de winter kunnen hoge albedo waarden een verhoging in energieverbruik opleveren. Echter, een studie naar witte daken in New York toonde aan dat een hoog albedo geen verhoging van het energieverbruik voor verwarming oplevert (Gaffin et al. 2010).

TU Delft

Kleerekooper, L.



LAGE WARMTE ACCUMULATIE

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte

beperkt opwarming van gevels en straten waardoor minder warmte vrijkomt na zonsondergang

water

lucht

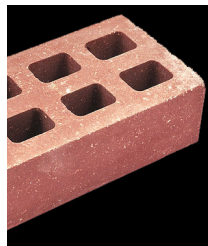
Naast reflectie (albedo) speelt het absorptie vermogen van materialen ook een rol bij het opwarmen. Harde materialen, zoals baksteen kunnen veel hitte opslaan.

Harde materialen in de stad zorgen in de ochtend uren voor een vertraging van de opwarming van de stedelijke omgeving. 's Avonds wanneer de temperatuur daalt geven deze materialen de opgeslagen warmte weer langzaam af waardoor dit juist leidt tot een vertraagde afkoeling van de stedelijke omgeving.

Een onderzoek uit Singapore onderzocht drie materialen: baksteen, beton en een holle baksteen (Wong Nyuk, 2007). De baksteen bleef het langste warmte afgeven na zonsondergang, daarna beton en de holle baksteen was het eerste afgekoeld. Doordat er minder materiaal in de holle baksteen zit kan deze minder warmte accumuleren.

Er is ook verschil in de snelheid waarmee een materiaal warmte kan opnemen en afgeven. Zo warmen staal en aluminium snel op en koelen ook weer snel af. Hierdoor wordt het stedelijke hitte-eiland overdag versterkt, maar na zonsondergang is de warmte snel weer verdwenen.

Zie bijlage warmte capaciteit voor een vergelijking van materialen



Van links naar rechts: traditionele baksteen, betonsteen, holle baksteen

Kansen

- Materialisatie kan een relatief goedkope en simpele oplossing zijn, met name in gebieden waar weinig mogelijkheden voor andere hitte beperkende maatregelen zijn;
- Materialen die minder warmte opnemen zijn vaak ook lichter waardoor de fundering ook lichter kan worden uitgevoerd.

Kanttekeningen

- Wanneer gevel die minder warmte accumuleert betekent dit niet dat er minder warmte naar binnen toe slaat. Hiervoor zal de juiste isolatie voor moeten worden toegepast.

TU Delft

Kleerekoper, L.



LUCHTSTROMING VIA ΔT

SCHAALNIVEAU: WIJK | STRAAT | PERCEEL

hitte luchtstroming bevordert de comfort temperatuur tijdens hitte

water

lucht meer ventilatie geeft een betere luchtkwaliteit

Met het principe 'warme lucht stijgt' kan er op verschillende schaalniveaus luchtstroming worden gecreëerd.

Gebouwen met een atrium of een zonneshoorsteen zoals ontwikkeld door Bronsema (2013) verzamelen warme lucht door zonnestraling via een glazen gevel. Door het grote temperatuurverschil tussen binnen en buiten ontstaat er trek. Gebouwen kunnen op deze manier verse luchttoevoer krijgen zonder dat hier mechanische ventilatie voor nodig is.

In straten is de ventilatie voor een groot deel afhankelijk van de hoogte/breedte verhouding en de aanwezigheid en positie van bomen. Hier kunnen lokale verschillen in luchtstroming worden gecreëerd door een oppervlak extra te laten opwarmen. Hier zal de lucht vervolgens (sneller) stijgen. Meer ventilatie verbetert het comfort tijdens hete dagen en waarschijnlijk zal er meer verse/koele lucht de straat worden ingezogen (Kleerekoper et al. 2015).

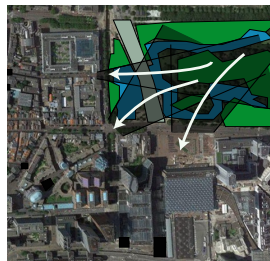
Op pleinen of in een buurt kan een park dat grenst aan een plein of straat voor een verkoelende luchtstroming zorgen. Tot op 250 m van het park kan een koele luchtstroming ontstaan naar een warme stenige plek (Eliasson & Upmanis 2000).



Zonneshoorsteen, ontwikkeld door Bronsema



Zwarte parel, Rotterdam



Malieveld en Haagse Bos voorzien binnenstad van koele lucht

Kansen

- Verbeterd comfort en minder energieverbruik kunnen samen gaan;
- Deze oplossing legt geen ruimtebeslag op de locatie waar verkoeling is gewenst;
- Luchtstroming op basis van thermiek werkt alleen bij zonnig en windstil weer en heeft daarmee geen nadelige effecten in de winter.

Kanttekeningen

- Donkere materialen zorgen plaatse-lijk voor meer warmte, dus houd daar rekening mee in relatie tot functie en eventueel gebruik van die warmte.

PERMEABELE MATERIALEN

SCHAALNIVEAU: WIJK | PERCEEL

hitte

bevordert infiltratie en verbeterd daarmee verkoelend vermogen van vegetatie

water

infiltratie is een middel om water van verhard oppervlak te draineren

lucht

Materialen die water doorlaten dragen bij aan de waterafvoer van (semi-)verhard oppervlak. Hiermee kan water in de ondergrond infiltreren. Afhankelijk van de bodemsoort en grondwaterstand kan deze extra infiltratie vegetatie voorzien van voldoende vocht tijdens warme en droge periodes. Een boom met voldoende toegang tot vocht zal meer verdampen en daarmee meer verkoelen.

Indien de grondsoort onvoldoende infiltratiecapaciteit heeft kan er onder de halfverharding een granulaat worden aangebracht of een krattensysteem worden aangelegd. Zo kan er ondergronds veel water worden opgeslagen. Er zijn ook systemen die het opgeslagen water langzaam of alleen in tijden van droogte aan de bomen afgeven.



Grassplittegel, Sporthal, Almelo



Waterdoorlatend asfalt en bestrating

Kansen

- Water infiltratie is mogelijk zonder verlies van verhard oppervlak, ofwel intensief ruimtegebruik;
- Grasbeton zorgt voor extra verkoeling door verdamping;
- Kan gecombineerd worden met een lichte kleur verharding.

Kanttekingen

- Vergt voldoende onderhoud om waterdoorlatende functie te behouden: blad, vuil en zand verwijderen;
- De afvoercapaciteit van waterdoorlatende verharding is relatief laag. Hierdoor heeft het een beperkt effect in berging van piek buien;
- Grasbeton kan bij intensief gebruik kaal worden waarmee het zijn groene aanzicht en extra verkoelende werking door verdamping van het gras verliest;
- Infiltratie is niet in alle grondsoorten mogelijk;
- Bij hoge grondwaterstanden kan extra infiltratie ongewenst zijn.

TU Delft



Kleere koper, L.

ENERGIE EN EXERGIE CONCEPTEN

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK

hitte

voorkomt warmte uitstoot van gebouwen, benut warmtestromen en oogst warmte

water

lucht

vermindert verbranding van fossiele bronnen voor daling van fijnstof en CO₂ uitstoot

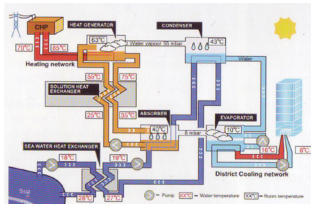


Het huidige energie systeem kan efficiënter, bijvoorbeeld door 'afvalwarmte' te gebruiken en koude- en warmtevraag op elkaar aan te sluiten. Zo kan de restwarmte van industriële processen gebouwen verwarmen en kan een zwembad water verwarmen met de warmte die vrijkomt van de koelinstallatie van een ijsbaan (REAP).

Naast het beter gebruik maken van 'reststromen' kan een exergie benadering zorgen voor een betere benutting van de kwaliteit van energiebronnen, waardoor uiteindelijk de vraag naar hoogwaardige bronnen reduceert. Exergie drukt uit wat de hoeveelheid arbeid is die kan worden geleverd uit een bepaalde hoeveelheid energie of materiaal, in zijn omgeving. Dit wordt ook wel de kwaliteit van de energie genoemd (S.C. Jansen 2013 thesis).

Bij een verbrandings- of elektromotor wordt brandstof of elektriciteit verbruikt, bij beide processen komt warmte vrij. In het geval van koude productie is de restwarmte een bijproduct, terwijl deze bij warmteproductie kan worden ingezet om het doel te behalen.

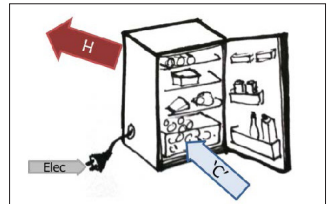
Door slim met warmte om te gaan en warmte uitstoot door koeling te voorkomen warmt de stad in de zomer minder op en kan flink op energie worden bespaard. Dit kan door slimmer te koppelen bij gelijktijdige warmte- en koude vraag zoals hierboven beschreven. Een andere optie is het realiseren van opslag: een warmtepomp levert *koude* in de zomer, het bijproduct *warmte* kan worden opgeslagen en in de winter worden ingezet om te verwarmen. Dit principe kan op gebouw of wijk niveau worden toegepast.



Aansluiten reststromen in Zweden (Jong 2010)

Kansen

- Het stedelijk hitte eiland neemt af doordat er minder restwarmte vrijkomt;
- Kan een bijdrage leveren aan de emissie doelstelling van de gemeente;
- Ontginning van landschappen voor het winnen van fossiele brandstoffen richt veel schade aan ecosystemen aan, door de potentie van deze grondstoffen beter te benutten draagt dit bij aan behoud van deze ecosystemen.



Een koelkast is een netto producent van warmte (Jansen 2015).

Kanttekeningen

- Er zal eerder een tekort aan koelcapaciteit dan aan warmtecapaciteit zijn wanneer meer woningen een EPC van 0,4 (norm per 1-1-2015) of zelfs 0 bereiken;
- Bij het gebruik van reststromen kunnen conflicten optreden wanneer een reststroom afneemt waardoor de afnemer te weinig warmte aanvoert krijgt.

TU Delft



Kleerekooper, L.

ANTROPOGENE WARMTE

SCHAALNIVEAU: STAD | WIJK | PERCEEL

hitte voorkomt warmte uitstoot van gebouwen, benut warmtestromen en oogst warmte

water

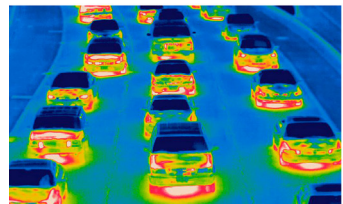
lucht verminder verbranding van fossiele bronnen voor daling van fijnstof en CO2 uitstoot

Antropogene warmte is de warmte uitstoot veroorzaakt door menselijke activiteiten. Warmte afkomstig van bijvoorbeeld verkeer en koelinstallaties dragen bij aan de hogere temperaturen in steden. Airconditioners onttrekken warmte aan gebouwen en geven dit af aan de buitenlucht. Daarmee wordt de omgeving om het gebouw warmer en wordt veel electriciteit verbruikt. In de regel betekend meer energieverbruik meer warmte uitstoot.

Het beschaduwen van airconditioners is een zeer effectieve manier om energie te besparen (Akbari, et al. 1992). Echter, het voorkomen van het gebruik van airconditioners heeft de voorkeur. Dit kan door passieve ventilatie en goede zonwering al in het gebouwontwerp mee te nemen. Denk aan overstekken waar lage zonnestanden wel de binnenruimte in hefst, winter en voorjaar kunnen vearmen of flexibele zonwering.



Airconditioners aan een gevel



Warmte uitstoot auto's, door Turner, T. in national geographic 2009.

Kansen

- Warmte uitstoot moet zoveel mogelijk beperkt worden, en heeft de mogelijkheid te worden hergebruikt zoals omschreven in de factsheet energie concepten.

Kanttekeningen

- Het inzetten van antropogene warmte vereist net als het inzetten van reststromen veel afstemming en goede afspraken over aan- en afvoer.

TU Delft

Kleerekoper, L.



ASFALT- EN GEVELCOLLECTOREN

SCHAALNIVEAU: WIJK | PERCEEL

hitte voorkomt warmte uitstoot van gebouwen, benut warmtestromen en oogst warmte

water

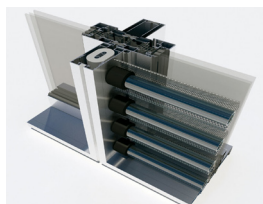
lucht vermindert verbranding van fossiele bronnen voor daling van fijnstof en CO₂ uitstoot

Asfalt- en gevelcollectoren bieden de mogelijkheid om zonne-energie af te vangen en direct of via seizoensopslag te gebruiken voor het verwarmen van gebouwen en warm tapwater. Bij seizoensopslag kan het asfalt in de winter sneeuw- en ijsvrij worden gehouden. Doordat de temperatuur van het verhard oppervlak minder extreem heeft met dit systeem, wordt ook de levensduur verlengd. Een langere levensduur levert materiaal, energie en financiële winst op, en zorgt ook voor minder overlast van wegwerkzaamheden.

Er zijn verschillende systemen om warmte uit asfalt te onttrekken, de meest gebruikte methode is via een buizen systeem in het asfalt. Hieronder vallen het *Road Energy System* en het *Winnerway systeem*. Een andere optie is een poreuze laag beton tussen twee waterdichte lagen asfalt zoals bij het *Zonneweg-systeem* wordt toegepast.

Een asfalt collector levert gemiddeld 0,8 GJ per m² per jaar, dat betekent dat er ongeveer 25 - 35 m² nodig is om een woning van warmte en warm tapwater te voorzien (Cuiper 2007).

Ook voor stedelijk comfort zouden collectoren in asfalt en gevels een rol kunnen spelen, met name in de avond situatie. Deze oppervlakken geven nog lang na zonsondergang warmte af aan de lucht. Indien het materiaal zijn warmte al aan de collector heeft afgestaan zal deze nachtelijke opwarming minder zijn. Er is nog niet aangetoond of en hoeveel dit verkoelend effect werkelijk is. Wellicht is het effect verwaarloosbaar omdat warmte van grote open vlaktes, zoals grote parkeer plaatsen bijvoorbeeld, makkelijk aan de hemel wordt afgegeven.



Collector voor glasgevel, Universiteit van Stuttgart



Asfaltcollector, Göteborg, Zweden

Kansen

- Met name interessant op plaatsen waar groen en wind niet als koel element kunnen worden ingezet;
- Geeft het oppervlak dat nu voor ongecontroleerde opwarming zorgt een belangrijke rol in meer controle over het stadsklimaat;
- Grote kans is het voorkomen van air-conditioners waarmee energie verbruik en extra warmte productie wordt verminderd. En natuurlijk het verminderen van energie verbruik in de winter voor verwarming.

Kanttekeningen

- Wanneer men kiest voor een asfalt collector, dan kan men het buitenklimaat niet meer conditioneren met bomen of andere schaduw systemen;
- Een asfalt collector is per definitie waterdicht en draagt dus niet bij aan vertraagde afvoer of infiltratie van water.

LITERATUURVERWIJZINGEN



- Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J. and Winnett, S. (1992), "Cooling our communities, A guidebook on tree planting and light-colored surfacing", U.S. Environmental Protection Agency Office of Policy Analysis Climate Change Division.
- Ali-Toudert, F. and Mayer, H. (2006), "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate". *Building and Environment*, Vol. 41, No. 2, pp. 94-108.
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. and Pullin, A.S. (2010), "Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence". *Landscape and Urban Planning*, Vol. 97, No. 3, pp. 147-155.
- Bronsema, B. (2013), *Earth, Wind & Fire: Natuurlijke Airconditioning*, Doctor degree Dissertation, Delft University of Technology.
- Bruins, G. 2009. *Aanleg en beheer regewatersystemen. Van stedelijke wateropgave naar robuust watersysteem*. Waterschap Regge en Dinkel.
- Cenedese, A. and Monti, P. (2003), "Interaction between an inland urban heat island and a sea-breeze flow: A laboratory study". *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 42, No. 11, pp. 1569-1583.
- Cuiper, N. 2007. *Warmte uit asfalt weer in de mode. Voordelen voor milieu en gezondheid maken asfaltcollectoren aantrekkelijk*. *Energy Magazine*.
- Eliasson, I. and Upmanis, H. (2000), "Nocturnal airflow from urban parks-implications for city ventilation". *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 66, No. 1, pp. 95-107.
- Esch, M.M.E.v., Looman, R.H.J. and Bruin-Hordijk, G.J.d. (2012), "The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies". *Energy and Buildings*, Vol. 47, pp. 189-200.
- Gaffin, S.R., Rosenzweig, C., Eichenbaum-Pikser, J., Khanbilvardi, R. and Susca, T. (2010), "A temperature and seasonal energy analysis of green, white and black roofs", Columbia University, Center for Climate Systems Research, New York.
- Hiemstra, J.A., Schoenmaker - v.d. Bijl, E. and Tonneijck, A.E.G. (2008), "Bomen, een verademing voor de stad".
- Hop (2011) Hop, E.C.M. Hop (2011) *Vaste planten in openbaar groen. Voor functionele en onderhoudsvriendelijke toepassingen*. All-Round Communications, Boskoop.
- Jansen, S. (2013), *Exergy in the built environment. The added value of exergy in the assessment and development of energy systems for the built environment*, Delft University of Technology.
- Johnston, J. and Newton, J. (2004), "Building Green. A guide to using plants on roofs, walls and pavements", Greater London Authority.
- Jong, K.d. (2010), *Warmte in Nederland. Warmte- en koudenetten in de praktijk*, mauritsgroen mgmc.
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Kondo, H. and Hanaki, K. (2006), "Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning". *Applied Energy*, Vol. 83, No. 6, pp. 649-668.
- Kleerekoper, L., Dobbelssteen, A.A.J.F.v.d., Ham, E.v.d., Hordijk, T. and Martin, C. (2015), "Creating drafts in urban settings through coloured façades: Exploring a new climate adaptation measure based on thermal stratification". *Urban Climate*, Vol. 14, Part 2, pp. 290-300.
- Klok, L. (2010), "Hittebeperkende klimaatmaatregelen voor Rotterdam onderzocht met Envi-met microschaal klimaat simulaties", 034.21618, TNO, Kennis voor Klimaat.
- Lenzholzer, S. (2008), "A city is not a building-architectural concepts for public square design in Dutch urban climate contexts". *Journal of Landscape Architecture*, Vol. 2008, No. 1, pp. 44-55.

Luley, C., Bond, J. and Agencies, C. (2002), "A plan to integrate management of urban trees into air quality planning": Davey Resource Group, New York. 61].

Mayer, H. and Matzarakis, A. (2010), "Projekte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Rahmen der BMBF Forschungsinitiative klimazwei", 22, Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg.

McPherson, E., Nowak, D., Heisler, G., Grimmond, S., Souch, C., Grant, R. and Rowntree, R. (1997), "Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project". *Urban Ecosystems*, Vol. 1, No. 1, pp. 49-61.

Meier, A. (1991), "Measured cooling savings from vegetative landscaping". *Energy efficiency and the environment: Forging the link*.

Mentens, J., Raes, D. and Hermy, M. (2006), "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?". *Landscape and Urban Planning*, Vol. 77, No. 3, pp. 217-226.

Nishimura, N., Nomura, T., Iyota, H. and Kimoto, S. (1998), "Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology". *Solar Energy*, Vol. 64, No. 4, pp. 197-207.

Oke, T.R. (1973), "City size and the urban heat island". *Atmospheric Environment* (1967), Vol. 7, No. 8, pp. 769-779.

Rafailidis, S. (1997), "Influence of building areal density and roof shape on the wind characteristics above a town". *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 85, No. 2, pp. 255-271.

Schmidt, M. 2006. *The contribution of rainwater harvesting against global warming*. IWA World Congress and Exhibition. Vienna: IWA Publishing, London, UK.

Shashua-Bar, L. and Hoffman, M. (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*, Vol. 31, No. 3, pp. 221-235.

Sini, J., Anquetin, S. and Mestayer, P. (1996), "Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons". *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 15, pp. 2659-2677.

Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A. and Huang, J. (1988), "Residential cooling loads and the urban heat island--the effects of albedo". *Building and Environment*, Vol. 23, No. 4, pp. 271-283.

Upmanis, H., Eliasson, I. and Lindqvist, S. (1998), "The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden)". *International Journal of Climatology*, Vol. 18, No. 6, pp. 681-700.

VanWoert, N., Rowe, D., Andresen, J., Rugh, C., Fernandez, R. and Xiao, L. (2005), "Green Roof Stormwater Retention-- Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth". *Journal of Environmental Quality*, Vol. 34, No. 3, pp. 1036-1044.

Vrscaj, B., Poggio, L. and Marsan, F. (2008), "A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas". *Landscape and Urban Planning*, Vol. 88, No. 2-4, pp. 81-94.

Walsh, C.L., Hall, J.W., Street, R.B., Blanksby, J., Cassar, M., Ekins, P., Glendinning, S., Goodess, C.M., Handley, J., Noland, R. and Watson, S.J. (2007), "Building knowledge for a changing climate, Collaborative research to understand and adapt to the impacts of climate change on infrastructure, the built environment and utilities", Newcastle University.

Wong, N.H., Lee, S.E. and Li, S. (2007), "Thermal Performance of Facade Materials and the Impacts on Indoor and Outdoor Environment", National University of Singapore, Singapore.

