

EFFECTIEF KLIMAATGROEN

HvA

Laura Kleerekoper
Stephanie Erwin
Jeroen Kluck

WUR

Jelle Hiemstra

NRL

Judith van der Poel
Xiao Zhang
Maryam Jalalifahim

Groene sector



WONEN
WERKEN
LEVEN



Onderwijs & Onderzoek



Stedelijk beheer



Voorwoord

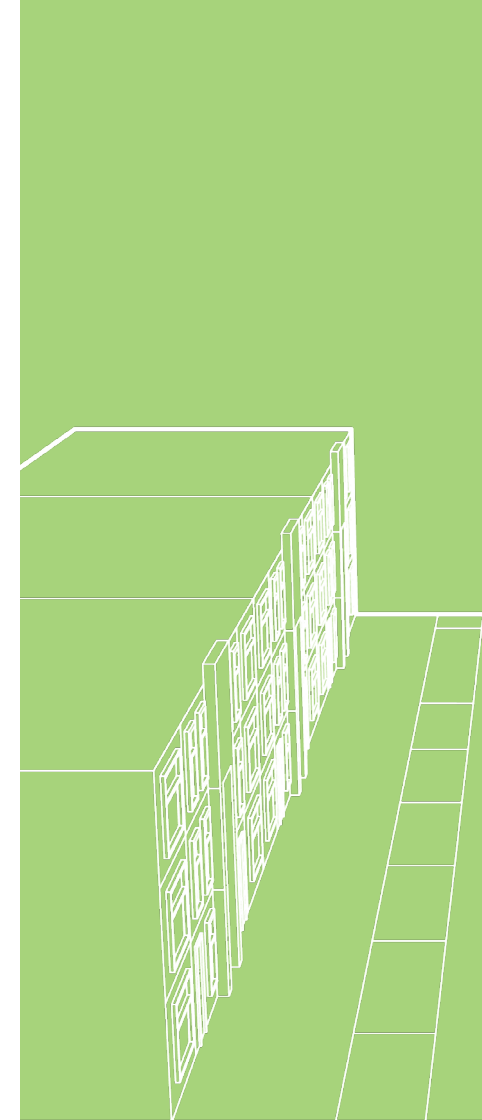
Het tegengaan van hittestress is een van de grote uitdagingen bij het leefbaar houden van de stad. Door klimaatverandering neemt het aantal extreem warme dagen toe. Daarnaast is het in de stad doorgaans warmer dan in de omliggende rurale gebieden, het zogenaamde hitte-eiland-effect. Hoge temperaturen leiden tot hitte-stress bij mensen, met negatieve gevolgen voor de gezondheid, met name van kwetsbare groepen. Dagen met een aanzienlijke kans op hittestress komen in ons land meermaals per jaar voor, zeker in stedelijk gebied. Het aantal dagen met hittestress en de intensiteit van de hitte zal in de toekomst verder toenemen. Klimaatadaptatie van het stedelijk gebied is daarom een noodzaak geworden.

Groen is een zeer effectief middel om de stad meer klimaatbestendig te maken. Het effect van groen is echter afhankelijk van het type groen en de omgeving waarin dat groen staat. Concrete richtlijnen voor effectief groen in verschillende wijktypen ontbreken tot nog toe.

Om in die lacune te voorzien ging in 2019 onder de titel “Effectief groen voor klimaatadaptatie in de stad” een topsector project (TU 18044) van start. In een samenwerking van organisaties uit de groene sector, onderwijs en onderzoek is met subsidie van het ministerie van LNV gewerkt aan het ontwikkelen van concrete handvatten voor ontwerp, aanleg, inrichting en beheer van groen dat effectief kan bijdragen aan klimaatadaptatie in specifieke ruimtelijke situaties in de stad. Daarvoor is bestaande wetenschappelijke kennis vertaald naar richtlijnen en concepten (sjablonen) voor effectief klimaatgroen en zijn metingen en simulaties uitgevoerd om het effect van specifieke groene interventies in standaard situaties in het stedelijk gebied te kwantificeren.

De nu voorliggende brochure presenteert de resultaten voor een viertal in Nederland zeer algemene “wijktypen”: Bloemkoolwijk, Stedelijk Bouwblok, Volkswijk en Verbindingswegen. In de vorm van een schematische visuele weergave (“sjabloon”) wordt aangegeven hoe groen benut kan worden om het optreden van hittestress te beperken. Daarbij is tevens voor elk van de groene interventies aangegeven hoe groot de te behalen effecten m.b.t. reductie van hittestress op hete dagen zijn.

Behalve voor de vier voorbeeld wijktypen kan de gepresenteerde informatie ook als uitgangspunt dienen om groen gericht en effectief in te zetten voor klimaatadaptatie in andere wijktypen. Hiermee biedt de brochure ontwerpers, inrichters en beheerders van de openbare ruimte kennis en instrumenten voor het benutten van groen om hittestress in de stad te beperken en daarmee klimaatadaptatie en leefbaarheid van de stad te vergroten.



Leeswijzer

Dit boekje start met een inleiding over hittestress in de stedelijke omgeving en de mogelijkheden om dit probleem te beperken door de inzet van groen. De hoofdstukken die volgen illustreren dit voor drie veelvoorkomende wijktypen en een verbindingsweg.

Voor de drie wijktypen en de verbindingsweg zijn 4-5 sjablonen uitgewerkt met ontwerpvarianten voor het verminderen van stedelijke hittestress met behulp van groen. Deze sjablonen zijn ontwikkeld met input van gemeenten, klimaatadaptatie experts en ontwerpers en zijn nadrukkelijk niet bedoeld als vaststaande modellen maar als voorbeelden ter inspiratie en om een indruk te geven welke effecten haalbaar zijn.

Voor elk wijktype start de uitwerking met een introductie van de ruimtelijke kenmerken en de kwetsbaarheid voor hitte. Dan volgt een overzichtspagina met een plattegrond, doorsnede en vogelvlucht aanzicht van de voor dat wijktype uitgewerkte sjablonen. Daarbij wordt de mogelijke temperatuurverlaging als gevolg van de hoofdmaatregel in de verschillende sjablonen weergegeven in graden PET (Physiological Equivalent Temperature = gevoelstemperatuur).

Na de overzichtspagina volgt voor elk sjabloon een eigen pagina. Hier vind je een korte beschrijving van de ontwerpvariant en foto's om de ontwerpvoeltoelichting te verduidelijken. Om een beeld te geven van de mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt is een liggend staafdiagram toegevoegd. De temperatuurverdeling in het staafdiagram toont het effect van de inrichting zoals getoond in de sjabloon, op een hete zomerdag, voor een specifieke straatorientatie (meestal van NO naar ZW), telkens om 15:00 uur.

Het afsluitende hoofdstuk begint met een pagina die per wijkttype alle sjablonen bundelt met daarbij voor elk sjabloon weergegeven de mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt. Bovendien bevat dit hoofdstuk een epiloog waarin het project en de geleerde lessen worden samengevat. Hierbij worden ook nieuwe richtlijnen gedeeld voor het creëren van aantrekkelijke koele plekken.

De bijlagen geven een korte beschrijving van de microklimaatmodellering en meetmethodieken die in dit project zijn toegepast.



INHOUD

6 INLEIDING

8 STEDELIJK BOUWBLOK

- 10 Groene infiltratiestrook met bomen
- 11 Pergola met klimplanten
- 12 Centrale coolspot
- 13 Waterdoorlatende verharding
- 14 Éénrichtingsweg groene recreatie

15 BLOEMKOOLWIJK

- 17 Open boomkroon nabij gevels
- 18 Vergroenen parkeerplaatsen
- 19 Plein transformeert naar groengebied met bomen
- 20 Auto te gast waar mogelijk
- 21 Optimale model

22 VOLKSWIJK

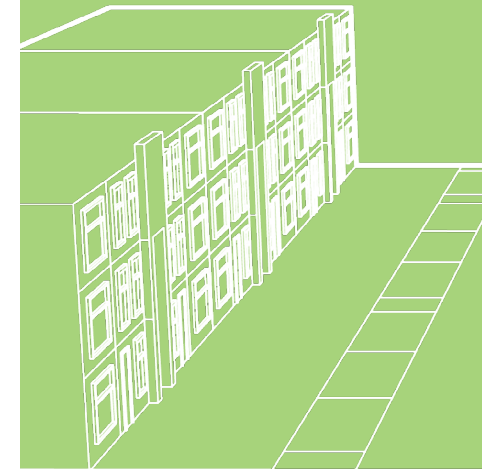
- 24 Groen clusters zig zag
- 25 Bomenlaan noordzijde
- 26 Leibomen
- 27 Heesters en vaste planten noordzijde

28 VERBINDINGSWEG

- 30 Brede groenzone midden
- 31 Symmetrisch groen
- 32 Grote bomen noordzijde
- 33 Pergola xl

34 SAMENVATTING

35 RICHTLIJNEN VOOR EEN KOELE BUITENRUIMTE



Inleiding

Hitte in de stad

Toenemende problemen met hitte in de stad worden enerzijds veroorzaakt door hogere temperaturen, zowel overdag als 's nachts, als gevolg van klimaatverandering. Anderzijds leidt de stedelijke omgeving zelf tot meer hitte in de stad. Overdag absorberen met name verharde oppervlakken (wegen, gebouwen) de energie uit de stralen van de zon en geven die weer af aan de directe omgeving in de vorm van warmte straling. Door de dichte bebouwing is er weinig uitwisseling met de wijdere omgeving en wordt deze warmte in de stad vastgehouden. Dit effect speelt zowel in grote steden als in provinciesteden en dorpskernen, en is groter naarmate de bebouwing dichter is. Hierdoor is de luchttemperatuur in de stad gewoonlijk hoger dan in het buitengebied; het zogenaamde hitte-eiland (urban heat island) effect (Saaroni et al., 2018).

Gemeten aan de luchttemperatuur worden in Nederland waarden voor het hitte-eiland effect gemeten van één tot enkele graden, met piekwaarden tot ca. 8°C en incidenteel zelfs meer dan 10°C (Hiemstra, 2018). Een overmaat van warmte tijdens hittegolven leidt tot hittestress en heeft negatieve effecten op de gezondheid van met name ouderen, chronisch zieken en zwangeren, en kan leiden tot verhoogde sterfte. Met de toenemende verdichting van de stad en de klimaatverandering zullen de perioden met hittestress in de stad verder toenemen.

De rol van groen

De gerichte aanleg van groen is een van de meest belovende maatregelen voor het beperken van de opwarming van de stad. Bomen hebben daarbij meestal het grootste effect (Saaroni et al., 2018). De schaduw die ze leveren voorkomt opwarming van de oppervlakken in de schaduw, en daarmee het afgeven van warmte aan de omgeving. Daarnaast heeft de verdamping van water door bomen en ander groen ook een koelend effect op de lucht in de omgeving. Het effect op de luchttemperatuur is op kleine schaal relatief beperkt, maar op de gevoelstemperatuur heeft met name schaduw een groot effect. Schaduw creëren is daarom vaak de meest effectieve manier om hittestress te beperken (Hiemstra et al. 2018). In de schaduw kan de gevoelstemperatuur 10-15°C lager zijn dan in de zon (Kluck et al. 2020). Groene oppervlakken nemen minder warmte op dan verharde oppervlakken. Daarom zorgt op een hoger schaalniveau de toename van het percentage groen in de stad ervoor dat de stad minder opwarmt. Over het algemeen leidt 10 procentpunt meer groen tot 0,5°C verlaging van de lucht temperatuur (Steenefeld et al. 2011).

Ontwerprichtlijnen voor groen ten bate van een hittebestendige en leefbare stad richten zich daarom op twee achterliggende hoofddoelen:

1. Stadsbreed op het voorkomen van een verdere toename van de luchttemperatuur, zowel overdag als 's nachts, door verhoging van het percentage van het oppervlak wat bedekt is met groen.
2. Lokaal op het tegengaan van hittestress door het creëren van koele plekken en routes (Sneep et al 2023).



Figuur 1
Oranjepark, Apeldoorn.

Energiebalans van de stad en het menselijk lichaam

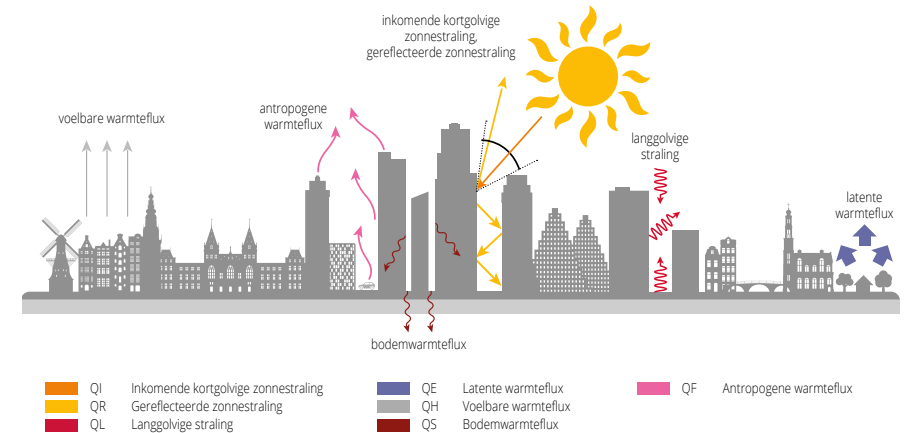
Dat de luchttemperatuur in steden vaak hoger is dan buiten de stad, komt door het verschil in de energiebalans van stedelijk en landelijk gebied. Deze energiebalans (Figuur 2) werkt als volgt: de aarde ontvangt allereerst een grote hoeveelheid aan inkomende kortgolvlige straling van de zon. Een deel daarvan wordt gereflecteerd terug de ruimte in of in een andere richting.

Daarnaast is er ook langgolvlige straling, warmtestraling. Deze is afkomstig uit de atmosfeer (o.a. van wolken) en van alles wat op aarde aanwezig is (bodem, bomen, gebouwen). Als de netto straling die het aardoppervlak ontvangt positief is, dan wordt deze gebruikt voor de volgende drie processen die de leefomgeving op verschillende wijzen beïnvloeden. 1) Een deel verwarmt de lucht – voelbare warmteflux – wat we voelen als de warme lucht om ons heen. 2) Een deel verwarmt het oppervlak, de grond, maar ook de gebouwen – bodemwarmteflux. Deze warmte wordt gedurende de dag hier opgeslagen en als het later op de dag kouder wordt, voelen we de uitstraling van die warmte. 3) Een deel zorgt voor verdamping van vocht uit de grond of door planten – latente warmteflux. Dit is warmte die wordt onttrokken aan de omgeving.

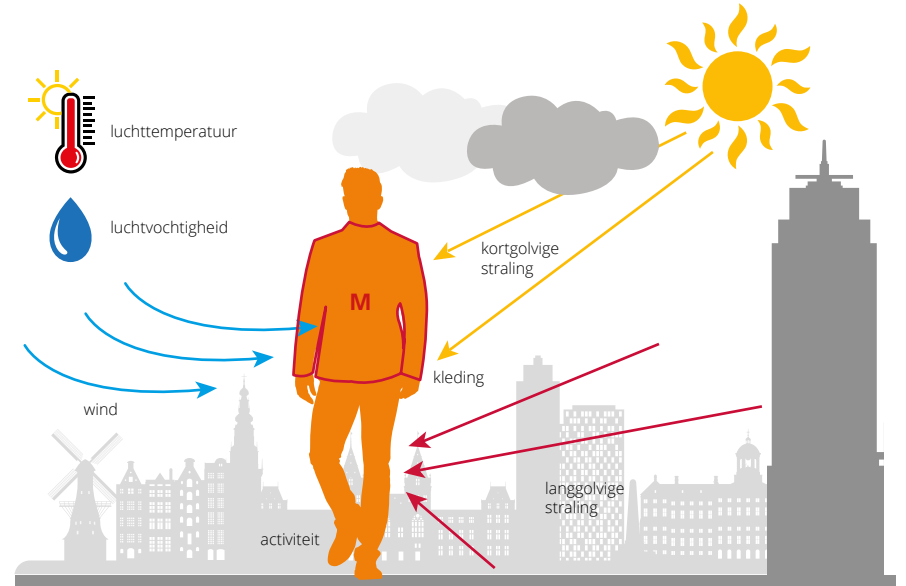
Wanneer de energiebalans van de stad wordt vergeleken met die van het landelijk gebied, komt naar voren dat de hoeveelheid gereflecteerde zonnestraling in het landelijk gebied vijf keer zo hoog kan zijn, de latente warmte (verdamping) twee keer zo hoog, en dat slechts een kwart van de warmte in de bodem wordt opgeslagen. Het is dan ook logisch dat het in stedelijk gebied warmer wordt dan in landelijk gebied.

Wanneer het echter aankomt op het verlagen van de gevoelstemperatuur, is het juist belangrijk om naar de energiebalans van het menselijk lichaam te kijken (Figuur 3). Luchttemperatuur, straling, wind en vochtigheid zijn belangrijke meteorologische factoren die bepalen hoe warm of koud de omgeving aanvoelt. Daarnaast zijn er nog veel andere factoren die de energiebalans van het lichaam beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld onze activiteit, onze kleding of onze gezondheid. Twee belangrijke verkoelingsmechanismen die tijdens hete dagen de gevoelstemperatuur kunnen verlagen, zijn beschaduwing en ventilatie.

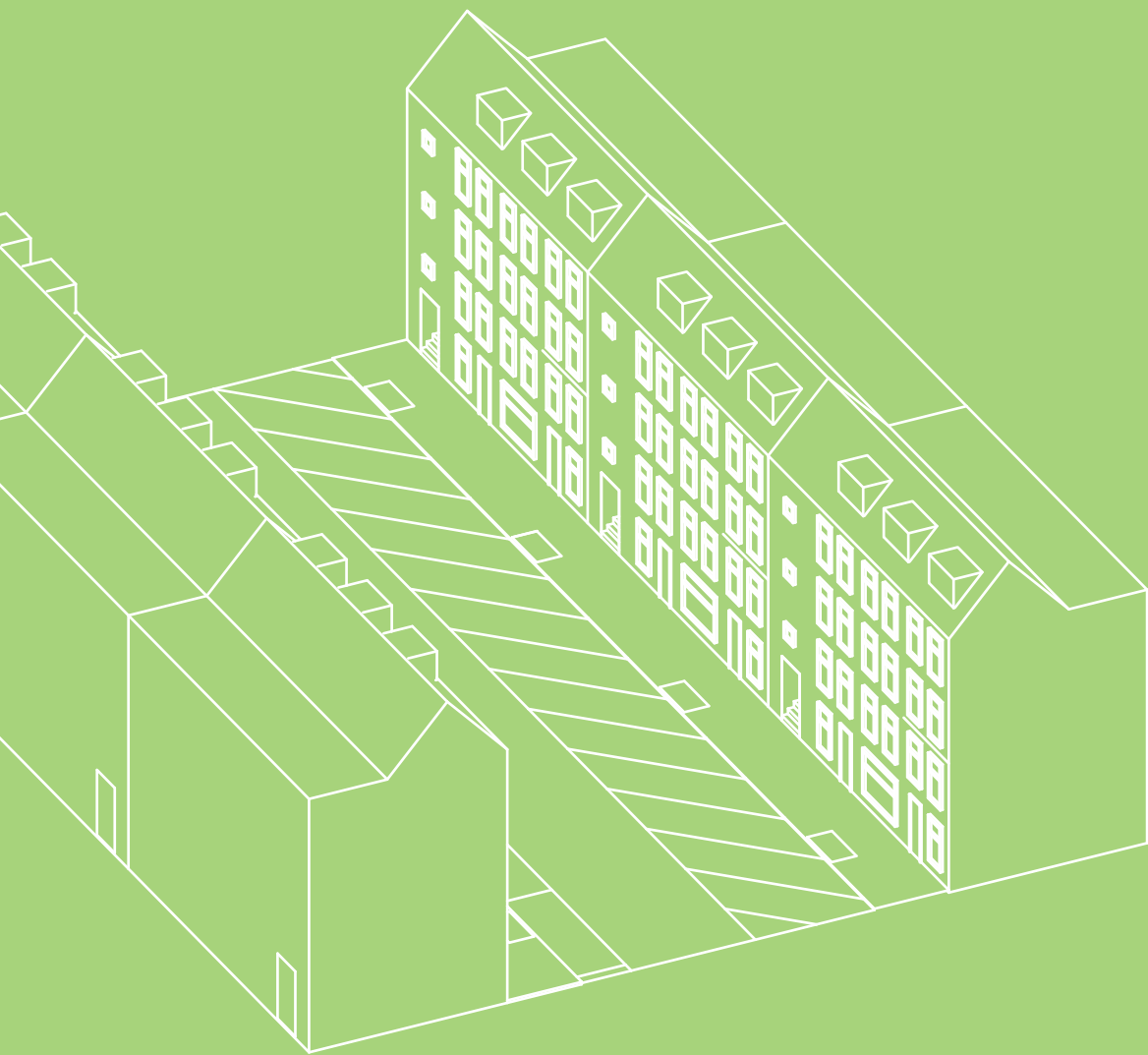
De metingen, simulaties en de ontwerpvarianten voor de sjablonen zijn allemaal gericht op de verlaging van de gevoelstemperatuur door de inzet van groen om zo een comfortabele stedelijke omgeving te creëren op de schaal van de straat. Uiteraard draagt de groene inrichting van een straat ook bij aan verbetering van de energiebalans van de stad als geheel.



Figuur 2
Energie balans van de stedelijke omgeving (Figuur uit: Kluck et al., 2020).



Figuur 3
Factoren die de gevoelstemperatuur van het menselijk lichaam bepalen (Figuur uit: Kluck et al., 2020)



STEDELIIJK BOUWBLOK

Het wijktype *Stedelijk bouwblok* kenmerkt zich door gesloten bouwblokken van vier tot zes verdiepingen. Deze wijken kennen een hoge dichtheid en veel verharding. Er is weinig andere vegetatie dan bomen in het smalle straatbeeld. Straten verschillen sterk in schaduw doordat de straten afwisselend geen, een enkele of een dubbele rij vaak volgroeide bomen hebben. De private ruimtes binnen het bouwblok kunnen groen zijn met grote volwassen bomen, maar het groen staat onder druk vanwege de concurrentie met verhardingen en uitbouw.

Hittestress

De hoogte-breedteverhouding van 3/2 betekent een smalle straat met daardoor zeer beperkte ventilatie, maar relatief veel schaduw. De warmte blijft langer hangen omdat deze moeilijk wordt weg geventileerd of uitgestraald. De straat oriëntatie bepaalt het schaduwpatroon gedurende de dag: noord-zuid georiënteerde straten ontvangen 's ochtends wat schaduw aan de oostkant en aan het eind van de middag wat schaduw aan de westkant. Met name tussen 12-14 uur is er zeer weinig schaduw in de straat. Overdag betekent dit veel zonbelasting voor deze oriëntatie. Een oost-west georiënteerde straat geeft juist schaduw op het midden van de dag langs de zuidzijde van de straat.

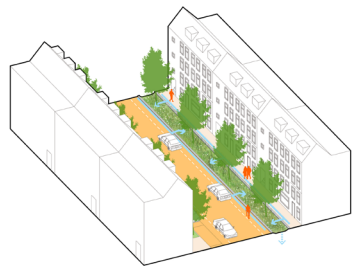
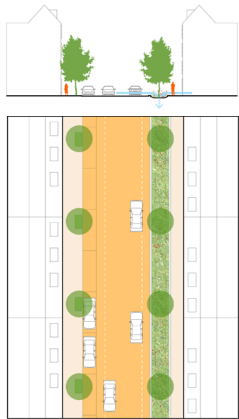
De mate van opwarming in deze straten is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van bomen. Wanneer een dubbele rij met volwassen bomen de straat vult kan er een bijna gesloten bladerdek ontstaan waardoor de opwarming van de straat en gevel wordt voorkomen.

Wateroverlast

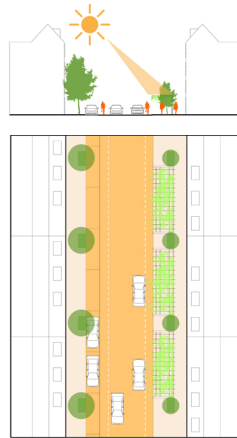
In dit type wijken is de gevoeligheid voor waterschade sterk afhankelijk van de aanwezigheid, locatie en omvang van oppervlaktewater in de vorm van grachten en singels. Er is veel verhard oppervlak, wat betekent dat er ook veel afstromend regenwater is. Door de gesloten bouwblokken kan het water in de achtertuinen moeilijk weg. In dit wijktype komen souterrains veelvuldig voor, waar waterschade grote impact heeft. Als er voldoende oppervlaktewater aanwezig is binnen een redelijke afstand van het afvoerend verhard oppervlak en dit afstromende water wordt goed geleid, dan treden er bij extreme neerslag weinig problemen op. Wanneer er echter geen grote waterelementen aanwezig zijn, kunnen er bij hevige neerslag snel problemen ontstaan.



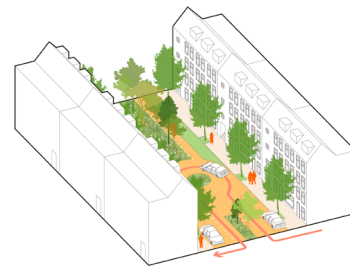
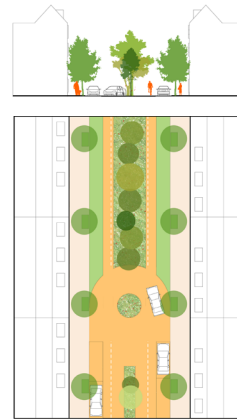
Groene infiltratiestrook met bomen



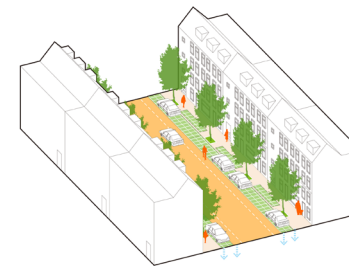
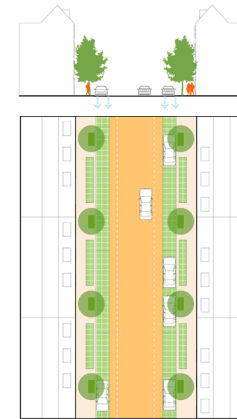
Pergola met klimplanten



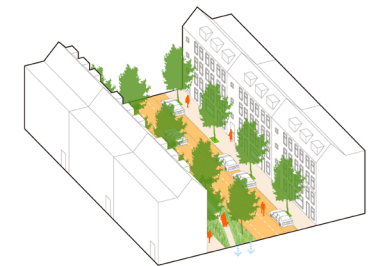
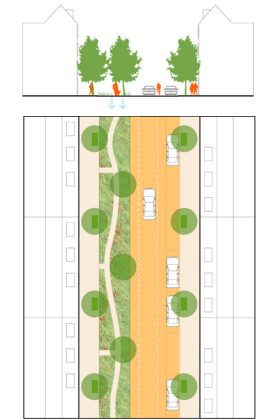
Centrale coolspot



Waterdoorlatende verharding



Éénrichtingsweg groene recreatie



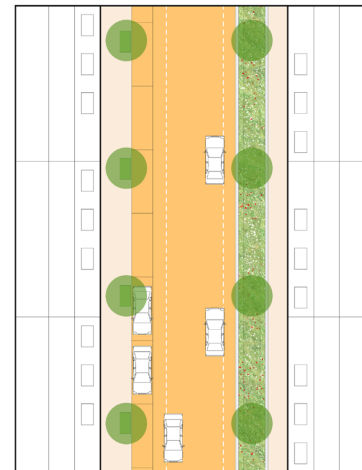
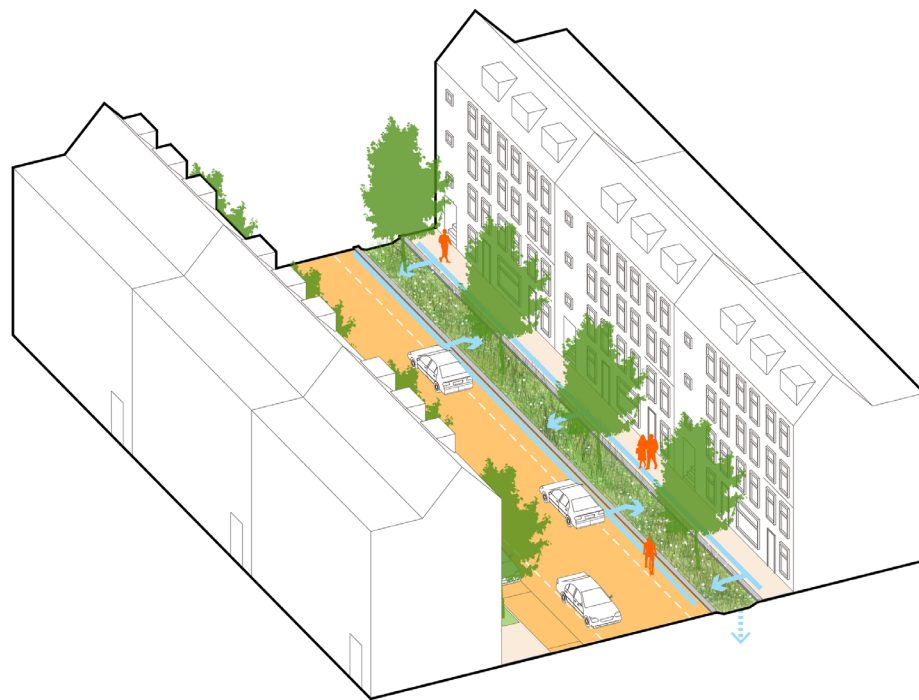
lokale gevoelstemperatuur daalt met

|-3,5 tot -19 °C | -1 tot -5 °C | -12 tot -19 °C | -1 tot -2 °C | -12 tot -19 °C |



Groene infiltratiestrook met bomen

De aanleg van groenstroken met bomen kan zorgen voor een koele route in de straat. In combinatie met zitgelegenheid kan het ook kleine koele verblijfsplekken opleveren. En wanneer de groenstrook op het laagste punt in de straat wordt geplaatst en het beplantingsvak een goede buffer- en infiltratiecapaciteit heeft, draagt het bovendien bij aan het tegengaan van eventuele wateroverlast. De afname in gevoelstemperatuur is afhankelijk van de hoeveelheid en het type bomen die in de groenstrook komen. Een infiltratiestrook is een groeiplaats met extremen waarin perioden van droogte en veel water elkaar afwisselen. Deze extreme groeiomstandigheden beperken de soortkeuze.



De mate van verkoeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



maximale verkoeling tot $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$

matige verkoeling tot $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$

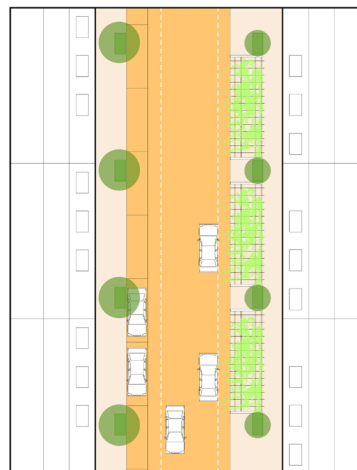
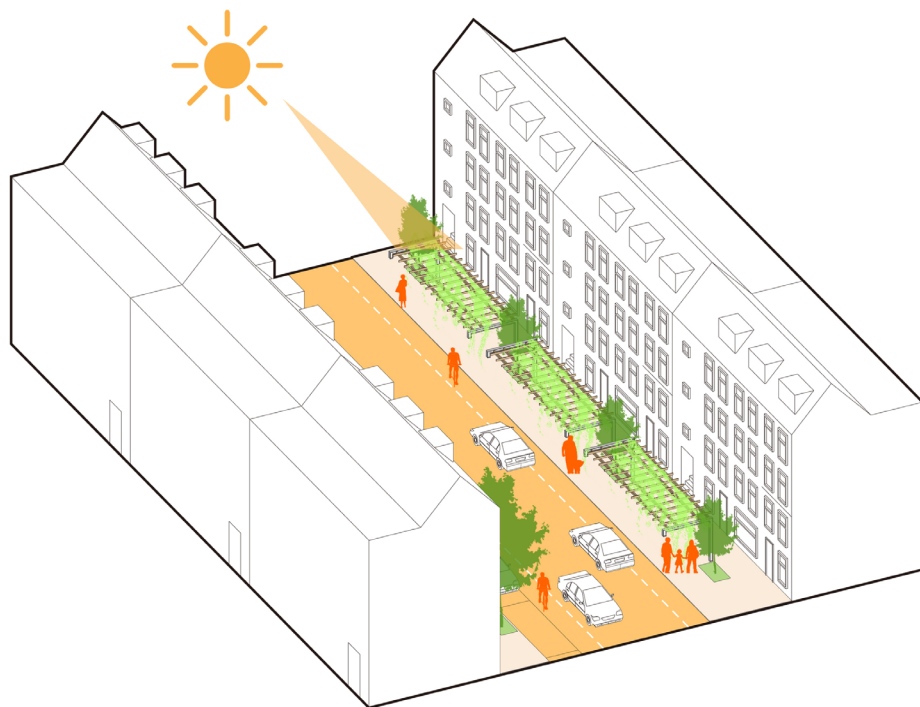
weinig verkoeling tot $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$

geen verkoeling

Het staafdigram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straat oriëntatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.

Pergola met klimplanten

Op plaatsen waar geen ruimte is voor (grote) bomen of waar die ongewenst zijn, en ook als tijdelijke maatregel zolang pas geplante bomen nog klein zijn, kunnen pergola's een rol spelen. Het plaatsen van pergola's zorgt voor schaduw, waarmee het voornamelijk een verlaging van de gevoelstemperatuur geeft; rond de 1-4,5°C bij een gemiddelde transparantie van de begroeiing. Tevens draagt het als groenelement in beperkte mate bij aan verdamping. Door gebruik te maken van bladverliezende klimplanten wordt seizoens-variabele schaduw gecreëerd. Hierbij kan dan nog worden gespeeld met de openheid of juist fijnmazigheid van de klimconstructie.



De mate van verkoeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



- maximale verkoeling tot -19 °C
- matige verkoeling tot -5 °C
- weinig verkoeling tot -2 °C
- geen verkoeling

Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.

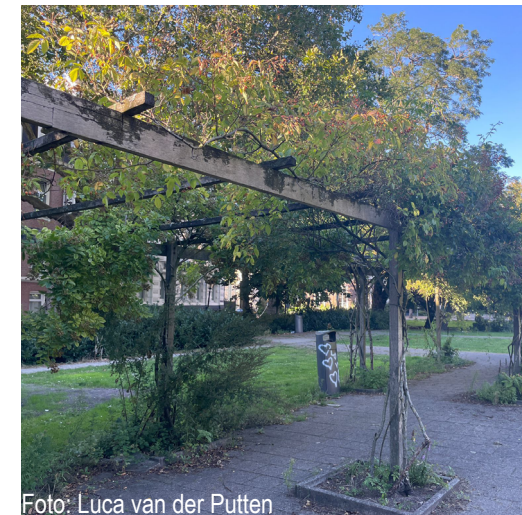


Foto: Luca van der Putten



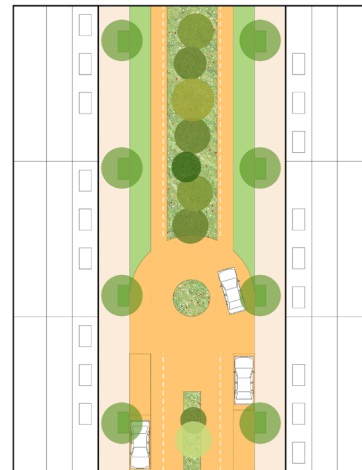
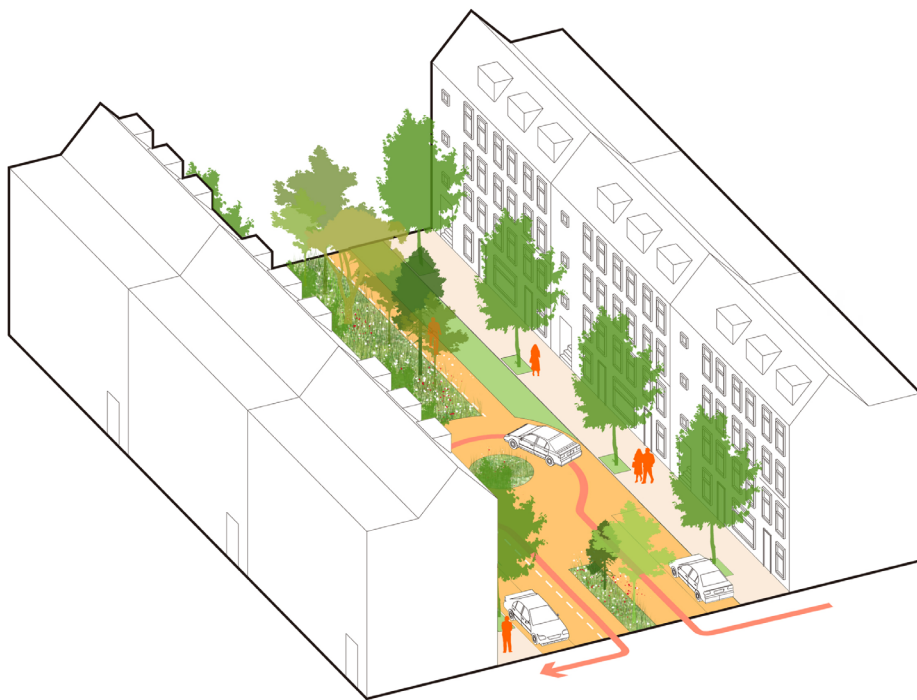
Foto: Futako Tamagawa



Foto: Lisanne Corpel

Centrale coolspot

Centrale coolspots verdienen extra aandacht in wijken als het stedelijk bouwblok, omdat veel inwoners geen eigen buitenruimte hebben. Een coolspot met voldoende schaduw geeft een verkoeling van 12-19°C, dat is meer dan een solitaire boom kan bewerkstelligen. De inrichting van een coolspot kan daarnaast een aantrekkelijke verblijfsplek creëren voor mensen en dieren. Door in dit type wijk een "knip" in de straat te leggen kan ruimte gecreeerd worden voor een centrale coolspot.



De mate van verkoeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt

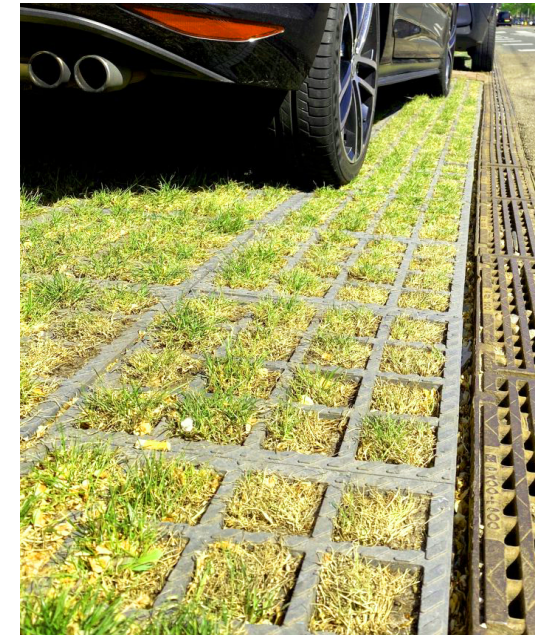
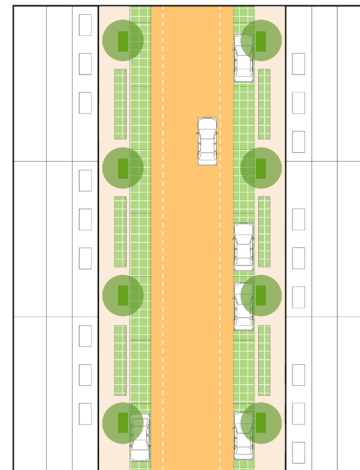
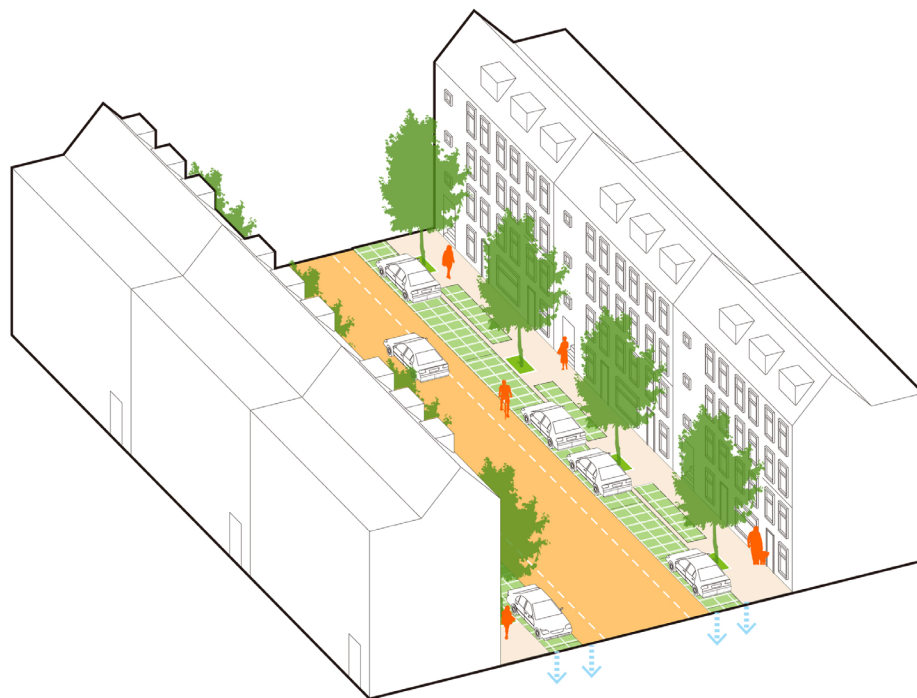


Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.



Waterdoorlatende verharding

Zones in de straat zouden met doorgroeibare verharding kunnen worden uitgevoerd voor meer infiltratie met behoud van parkeermogelijkheden. Het groen dat je hiermee toevoegt helpt vooral in de verminderde warmteopslag wat helpt in de afkoeling in de avond en zorgt voor waterinfiltratie voor het overige groen in de straat. Omdat het geen schaduw brengt is de invloed op de gevoelstemperatuur gering.



De mate van verkoeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



maximale verkoeling tot -19 °C

matige verkoeling tot -5 °C

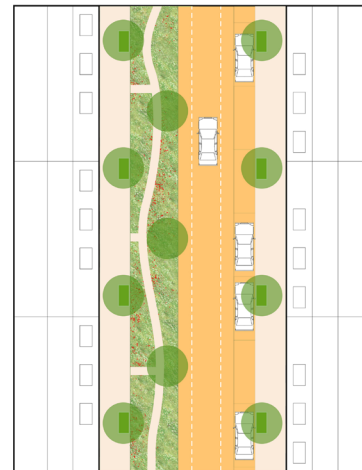
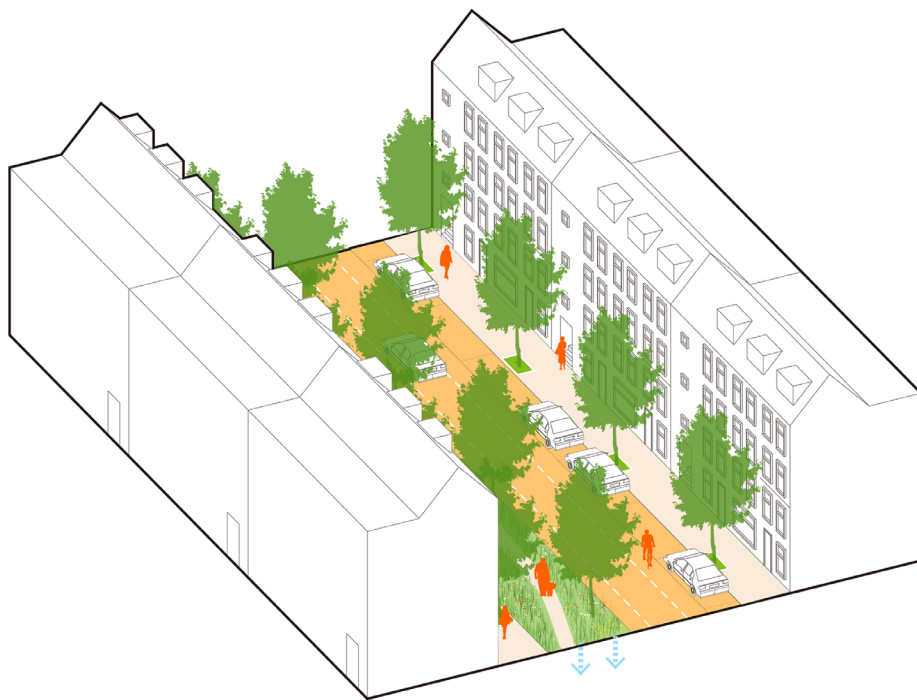
weinig verkoeling tot -2 °C

geen verkoeling

Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.

Éénrichtingsweg groene recreatie

Koele routes in de stad helpen inwoners om tijdens hitte voorzieningen te bereiken, buiten in beweging te kunnen zijn en om zonder hittestress een coolspot te bereiken. Een koele route kan zitgelegenheid bieden in schaduw en zon en bij een slimme (verlaagde) inrichting bijdragen aan het bufferen en infiltreren van regenwater.



De mate van verkoeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.

Foto: Jan Piet Hartman



BLOEMKOOLOWIJK

Opvallend aan de *Bloemkoolwijk* zijn de kronkelende straten in een gesloten bouwblok. De structuur lijkt vanuit de lucht gezien op een bloemkool, met de woonerven als bloemkoolroosjes. Dit wijktype komt veel voor: in 2008 woonde één op de zes inwoners van Nederland in zo'n 'woonerf'. Deze wijken zijn gebouwd met het idee dat de sociale samenhang op buurtniveau terug moest komen. Dit is slechts deels geslaagd vanwege de eenzijdige woonfunctie: sociale activiteiten als werken en winkelen gebeuren buiten de buurt. Ook voorzieningen als scholen, sportclubs en bibliotheken vind je hier niet altijd. Speelvoorzieningen zijn wel vaak in de kernen te vinden.

De *Bloemkoolwijk* vind je meestal aan de rand van steden, op redelijke fietsafstand van de binnenstad. In veel gevallen ligt er een grote verkeersader tussen de wijk en de stad. Die vormt een barrière, maar zorgt er ook voor dat deze wijken redelijk goed aangesloten zijn op uitvalswegen, wat aantrekkelijk is voor bewoners die buiten de stad werken. Omdat de wijken voor forensen op een gunstige plek liggen, hebben de meeste bewoners een auto. Maar bij de aanleg van de woonerven, is weinig rekening gehouden met de rol van de auto. Het gevolg is dat de parkeerdruk hoog is waardoor de inrichting van de woonerven gericht is op zoveel mogelijk plek voor de auto. Een bijzondere kwaliteit van deze wijken is de grote hoeveelheid groen die direct tegen de woonerven aanligt. Maar de verbindingen tussen woonerven en groen zijn zwak: de woonerven zijn sterk verhard en ze sluiten visueel niet goed aan bij het omliggende groen.

Hittestress

Omdat deze wijken aan de rand van de stad liggen en er veel groen en water is, is er relatief weinig risico op hittestress. Het verschilt per wijk of het tijdens hete dagen erg opwarmt. Dit hangt af van de manier waarop de hofjes en privétuinen zijn ingericht. Er ontstaan problemen met hitte in de straten en op de woonerven als daar veel verharding is en weinig groen. De grote groengebieden in deze wijken zouden voor iedereen goed bereikbaar en toegankelijk moeten zijn.

Wateroverlast

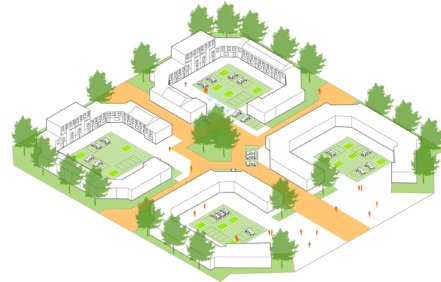
De herinrichting van bloemkoolwijken uit de jaren '70-'90 staat gepland voor de komende jaren of is al uitgevoerd. Hierbij worden de verzakte straten standaard opgehoogd naar het peil zoals bij de aanleg. De kans op wateroverlast neemt hierdoor toe, omdat je hiermee de waterberging verwijdert die op straat door de verzakking is ontstaan. Zo liggen de kansen hier in het minder ophogen van de straat, maar ook verlagingen aan leggen voor wateropvang bij extreme neerslag. Dit kan ook in combinatie met groen in de vorm van een infiltratie strook of wadi.



Open boomkroon nabij gevels



Vergroenen parkeerplaatsen



Plein transformeert naar groengebied met bomen



Auto te gast waar mogelijk



lokale gevoelstemperatuur daalt met

+ 2 tot +6 °C

stijging t.o.v. dichte kroon

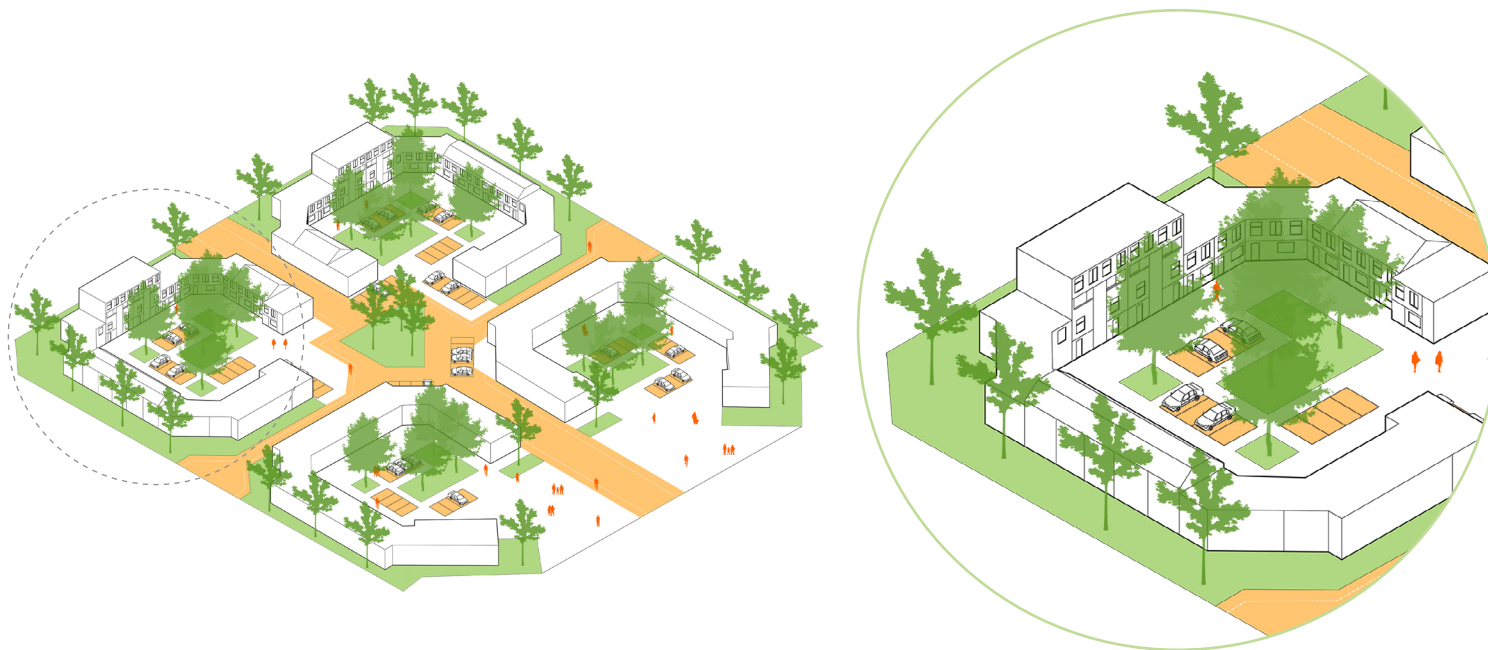
-1 tot -2 °C

-12 tot -19 °C

-0,5 tot -5 °C

Open boomkroon nabij gevels

De keuze voor een groot formaat boom in de straat zorgt voor een groen aanzicht, voorkomt opwarming van huizen en verharding en biedt mensen in de straat een comfortabel microklimaat tijdens hitte. Bij zeer dichte kronen zorgen deze ook voor weinig licht in woningen waar bewoners last van hebben. Zorg voor een alternatief voor kap van gezonde volwassen bomen, zoals het snoeien naar een meer open kroon. Bij aanplant van nieuwe bomen die dicht bij gevels groeien kies dan voor soorten met transparantie in de kroon. Deze verkoelt weliswaar 2 tot 6 °C minder, maar dat is nog altijd zo'n 6 graden meer dan geen boom.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



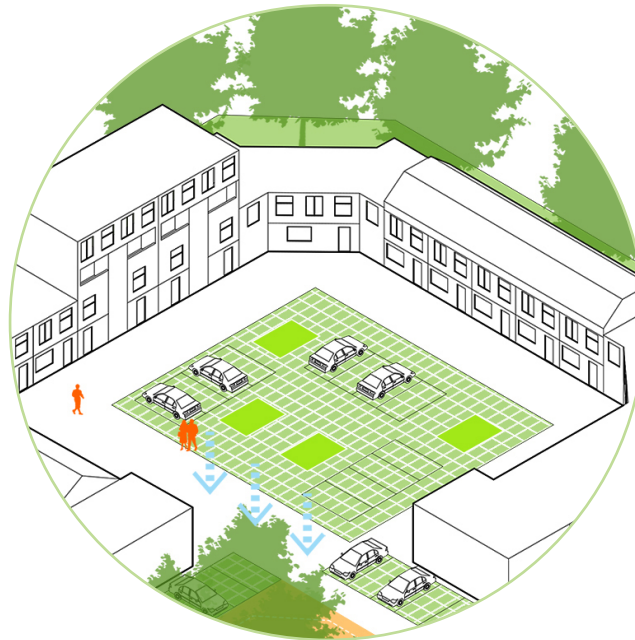
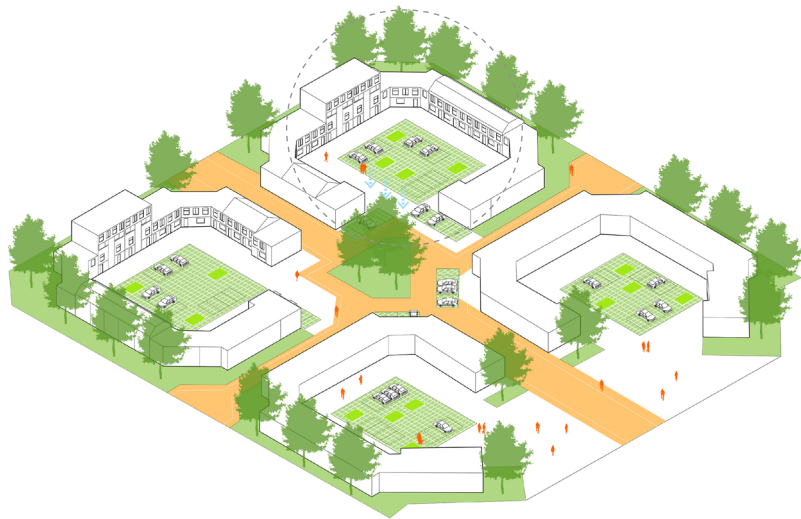
Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, op een hete zomerdag om 15 uur. De straten hebben een oriëntatie van NO naar ZW en van NW naar ZO.



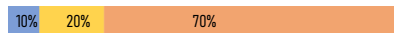


Vergroenen parkeerplaatsen

Verharding in de hofjes zorgt voor veel opname van warmte. Overdag geeft dit enige verhoging van de gevoelstemperatuur, 's nachts koelt het hofje minder af en kunnen woningen aan het hofje de warmte van de hete dag niet kwijt. Verharding vervangen door groen is niet op grote schaal mogelijk vanwege de hoge parkeerdruk in de wijken. De verharding om en op de parkeerplaatsen vervangen door halfverharding of doorgroeibare verharding kan hier goed omdat dit geen doorgaande wegen zijn. Overdag zijn de parkeerplaatsen vaak leeg omdat mensen dan naar hun werk zijn, dit helpt de vegetatie in de halfverharding gezond te houden. Strategisch geplaatste bomen kunnen sterk bijdragen aan beperking van de opwarming van parkeerplaatsen



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



maximale verkoeling tot -19 °C

matige verkoeling tot -5 °C

weinig verkoeling tot -2 °C

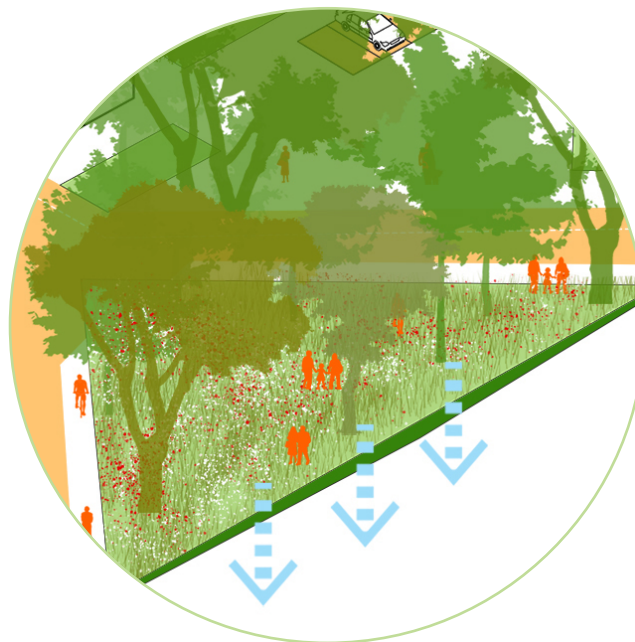
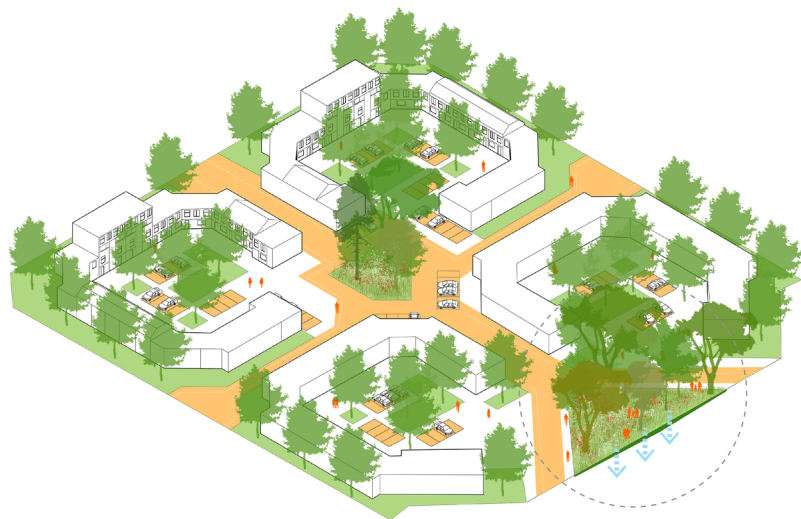
geen verkoeling

Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, op een hete zomerdag om 15 uur. De straten hebben een oriëntatie van NO naar ZW en van NW naar ZO.



Plein transformeert naar groengebied met bomen

Tussen de woonerven bevinden zich pleintjes tussen de rijwegen, oorspronkelijk met een aantal bomen of stuiken in verharding. Deze kunnen in hun geheel vergroend worden aangelegd. Functies zoals spelen, verblijven en sociale interactie kunnen hier worden ingepast. Plaatselijk is (half)verharding mogelijk voor specifieke voorzieningen zoals afvalcontainers. Door het groen verlaagd aan te leggen of verlaagde plekken te creëren kan er meer water infiltreren en is er een extra buffer bij extreme neerslag. Wanneer er voldoende bomen met goede kroonontwikkeling staan kan de gevoelstemperatuur met 12-19 °C afnemen.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt

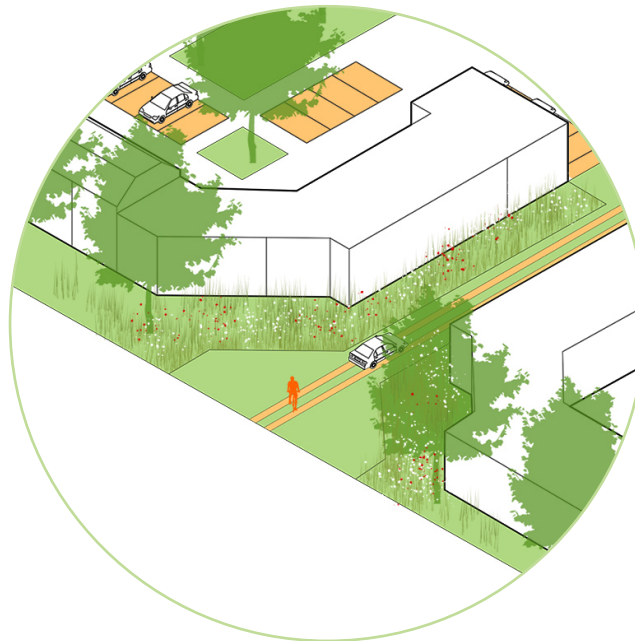


Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, op een hete zomerdag om 15 uur. De straten hebben een oriëntatie van NO naar ZW en van NW naar ZO.



Auto te gast waar mogelijk

Een gebied waar de auto te gast is geeft meer vrijheid aan voetgangers en spelende kinderen omdat de inrichting geen hoge snelheid van auto's en fietsers toelaat. Bij halfverharding is het reliëf in de rijweg een reden voor auto's om snelheid te matigen. Een smalle rijstrook of karrespoor heeft hetzelfde effect. Op deze manier kunnen straten die niet als hoofdontsluiting van de buurt dienen enorm veel verharding voor groen en halfverharding inruilen. Halfverharding in de rijweg geeft een vergelijkbaar resultaat in verkoeling als het vergroenen van parkeerplaatsen. Met een kans voor extra verkoeling door langs de rijbaan met halfverharding een inrichting te kiezen met bloemrijk gras of vaste planten en heesters.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, op een hete zomerdag om 15 uur. De straten hebben een oriëntatie van NO naar ZW en van NW naar ZO.



Foto: Nanda Sluijsmans



Foto: Nanda Sluijsmans



Foto: Nanda Sluijsmans

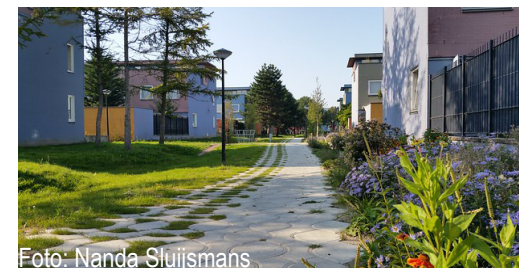
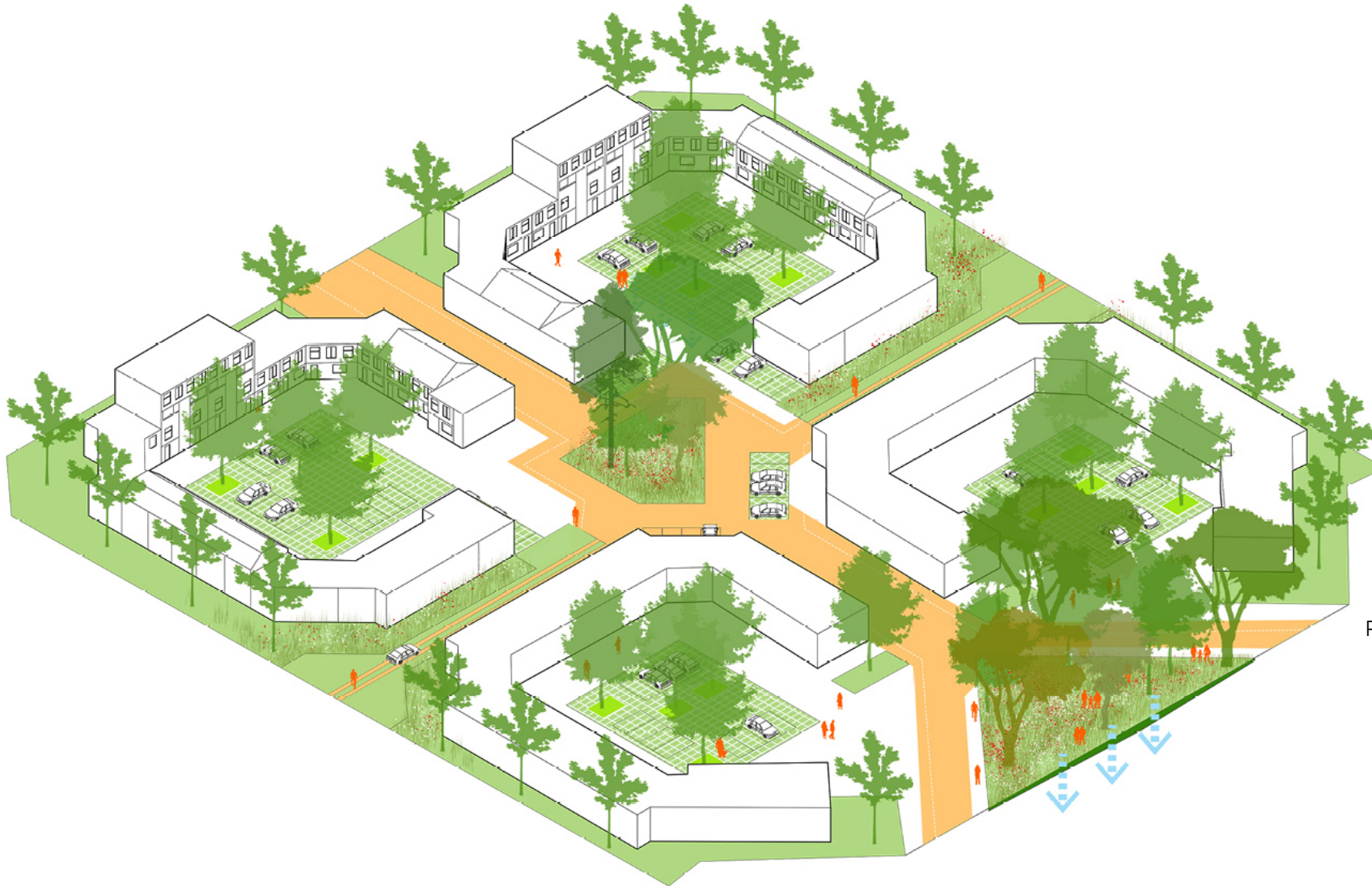


Foto: Nanda Sluijsmans

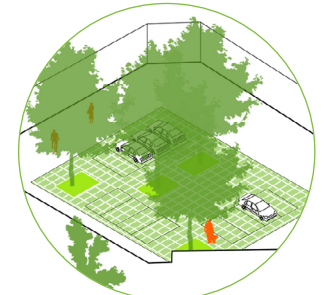


Optimale model

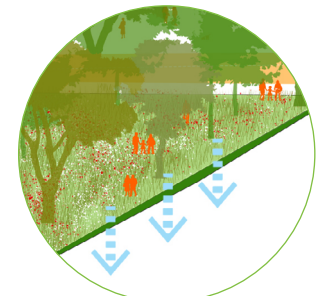
De combinatie van maatregelen geeft een groene en hittebestendige inrichting.



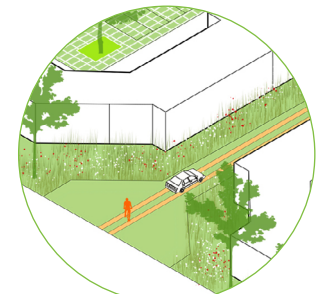
Open boomkroon nabij gevels



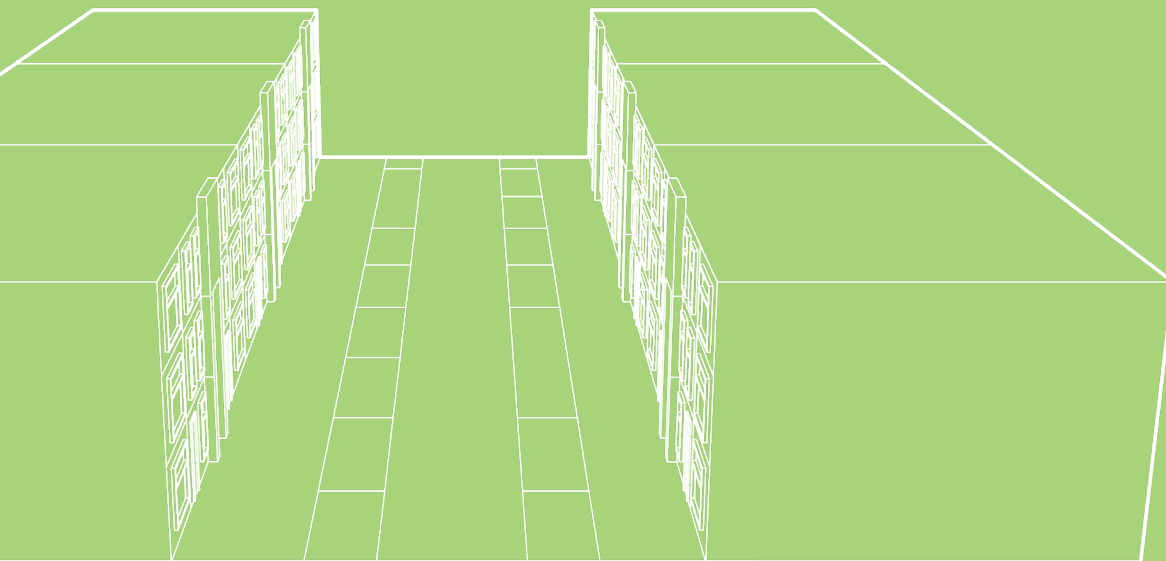
Vergroenen parkeerplaatsen



Plein transformeert naar groengebied met bomen



Auto te gast waar mogelijk



VOLKSWIJK

Opvallend aan dit wijktpe zijn de relatief smalle straten met eengezinswoningen van twee of drie verdiepingen. De huizen hebben geen voortuin en er is heel weinig gemeentelijk groen. De achtertuinen zijn ondiep met veel verharding. Er zijn vaak geen bomen in deze straten. Als ze er wel zijn, zijn ze klein en in slechte conditie. De auto speelt een grote rol omdat er aan beide kanten van de straat wordt geparkeerd.

Hittestress

De mate van hittestress is hier hoog door de hoge mate van verharding in combinatie met weinig groen. Daarbij zijn de meeste woningen even hoog, waardoor bij lage windsnelheden de lucht in de straat niet goed kan mengen. Dat betekent dat er weinig ventilatie is. De hoogte-breedteverhouding van 1/1 betekent dat de huizen voor weinig schaduw op straat zorgen en er veel zoninstraling is.

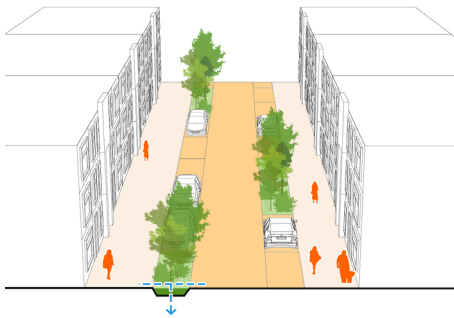
Door de combinatie van veel zoninstraling, weinig ventilatie en heel weinig groen is dit wijktpe gevoelig voor hittestress.

Wateroverlast

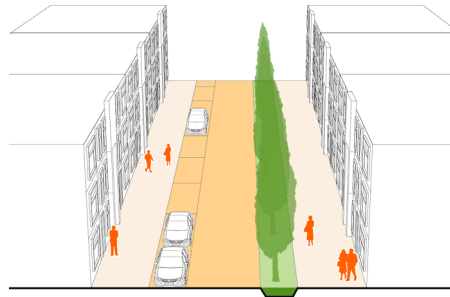
In volkswijken kan regenwater bij extreme buien door alle verharding snel tot schade leiden. De straten zijn van gevel tot gevel verhard. Dit wijktpe is vaak centraal gelegen aan de rand van de binnenstad. Daardoor verschilt het per wijk of er naast de wijk een gebied is met water of natuur waar het regenwater naartoe geleid kan worden. Een eerste opvang van regenwater tussen de trottoirs met verlaging van de rijweg is hier goed mogelijk en kan schade in woningen voorkomen. Infiltratievoorzieningen of afwatering dienen zodanig te worden ontworpen dat het water binnen 24 uur weer weg is.



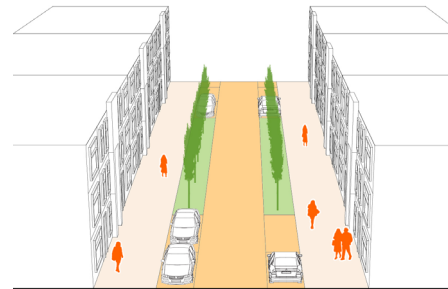
Groen clusters zig zag



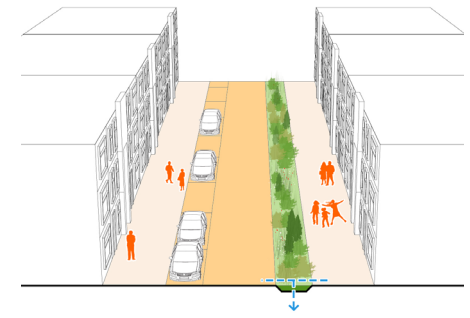
Bomenlaan noordzijde



Leibomen



Heesters en vaste planten noordzijde



lokale gevoelstemperatuur daalt met

-10 tot -19 °C

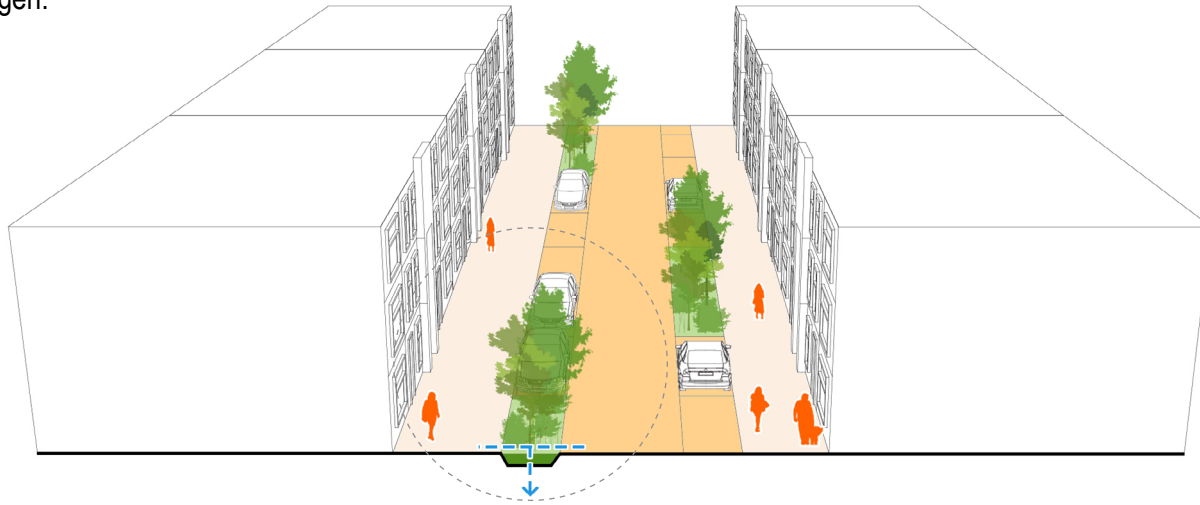
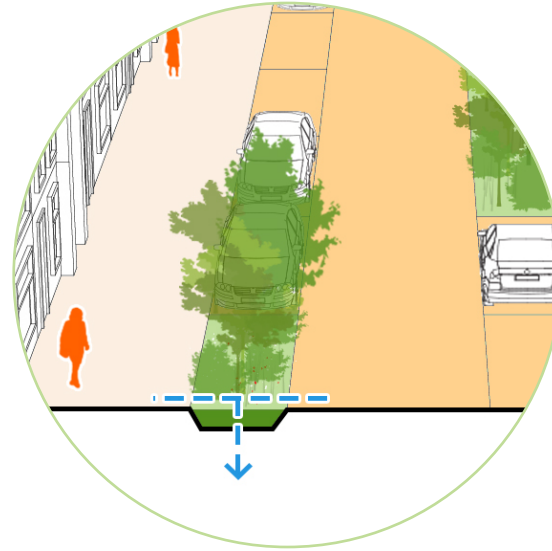
-10 tot -19 °C

-10 tot -19 °C

-0,5 tot -5 °C

Groen clusters zig zag

De mate waarin een boom gezond blijft en zich goed kan ontwikkelen is sterk afhankelijk van de grootte en de kwaliteit van de groeiplaats. Daarbij is de beoogde omloop (maximale leeftijd van de boom) van belang en of het grondwater voor de wortels bereikbaar is. Als dit niet het geval is heeft de boom een groter volume nodig om voldoende water te vinden. De bomenmonitor van het Norminstituut Bomen geeft voor een boom van de 1e grootte die optimaal moet groeien waarden van resp. 40 en 60 m³ voor een hangwaterprofiel en 24 tot 35 m³ voor een grondwaterprofiel voor minimale omlopen van 40 en 80 jaar. Daarnaast is een onverhard oppervlak rond de stam nodig voor voldoende zuurstof in de bodem. Met een groencluster en eventueel aansluitend boomzand onder de parkeerplaatsen maak je voldoende ruimte voor een optimale groeiplaats voor een boom. Door ze verspringend in de straat aan te leggen wordt het visuele effect van het groen groter en is er een natuurlijk element om snelheid van auto's in de straat te verlagen.



De mate van verkoeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



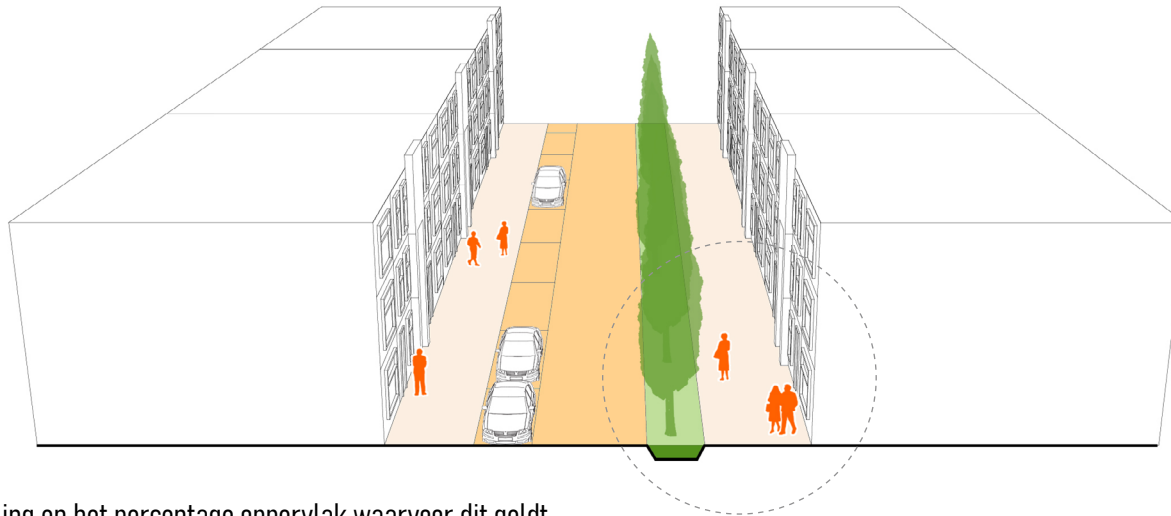
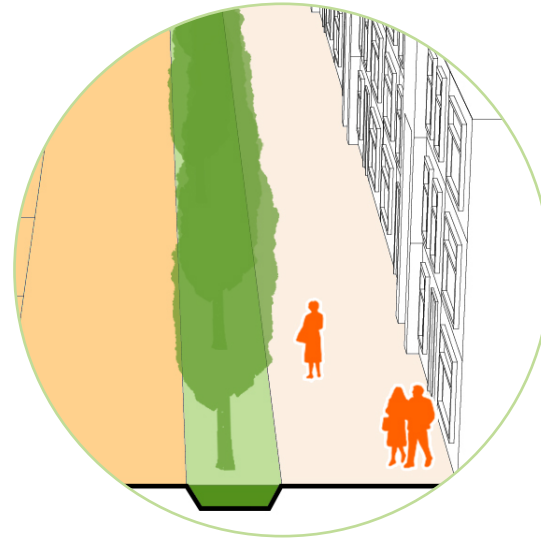
Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straat oriëntatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.





Bomenlaan noordzijde

Een bomenlaan langs de noordzijde van de straat geeft schaduw op de voetgangerszone aan de zonzijde. Voor een goede ontwikkeling van de bomen hebben de parkeerplaatsen hier plaatsgemaakt voor een groene strook onder de bomen. Aan de overzijde van de straat is de parkeerstrook volledig behouden. Bij het alternatief van bomen aan beide zijden met parkeren daartussen is het nodig om ook onder die P-plekken groeiruimte te realiseren door aanbrengen van bomenzand of bomengranulaat om te zorgen dat de bomen zich goed kunnen ontwikkelen. Bomen beïnvloeden de ventilatie in de straat, een aaneengesloten bomenrij is met het oog op ventilatie alleen mogelijk in een enkele rij. De keuze in boomsoort kan geen eerste orde zijn vanwege de relatief kleine afstand tussen de stam en de gevel, wel een smalle hoge boom van de tweede orde. Een groot voordeel van meer hoogte is dat je behalve de stoep ook de woningen van schaduw voorziet in de zomer.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt

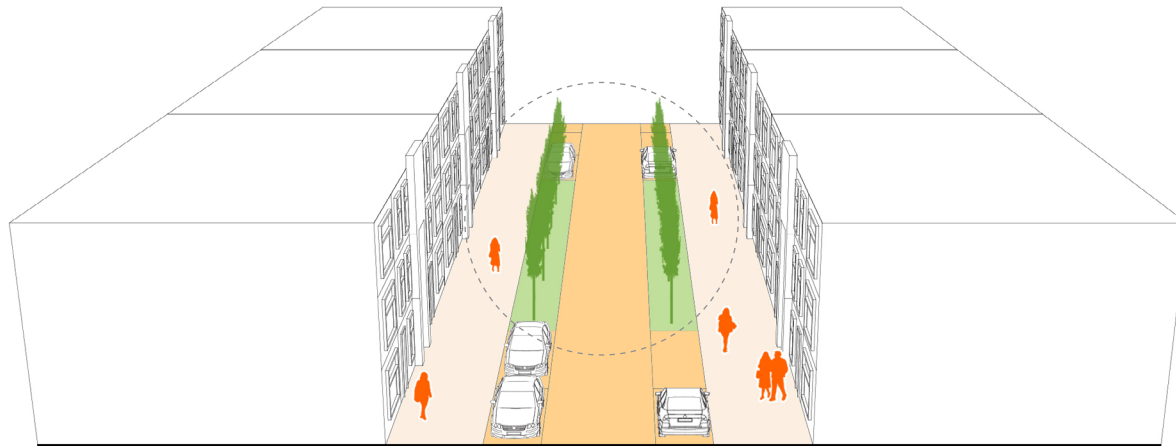
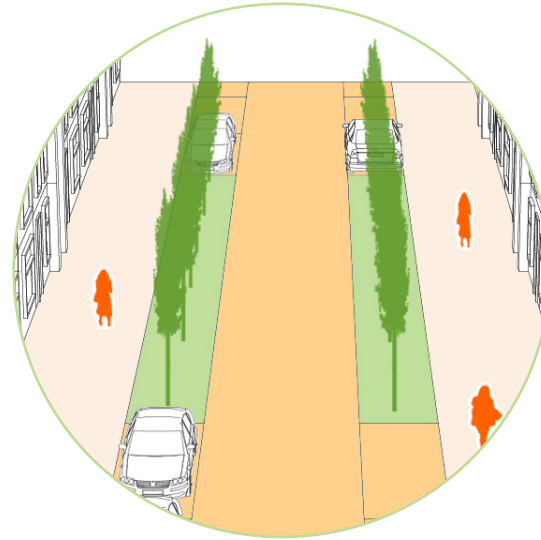


Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.



Leibomen

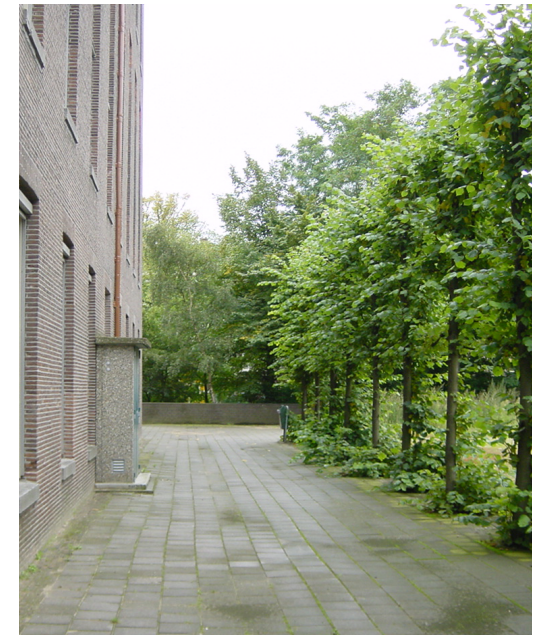
In het smalle straatprofiel van de Volkswijk passen aan beide zijden leibomen. Deze geven een groen straatbeeld, schaduw op het loopgebied en de ventilatie blijft ook bij een dubbele rij behouden. Ondergronds hebben leibomen evengoed een goede groeiplaats nodig, al blijft de kruin van deze bomen beperkt door de jaarlijkse snoei. Hier zal de balans tussen schaduw en aantal parkeerplaatsen belangrijk zijn in het effect dat de leibomen kunnen hebben voor hittestress.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



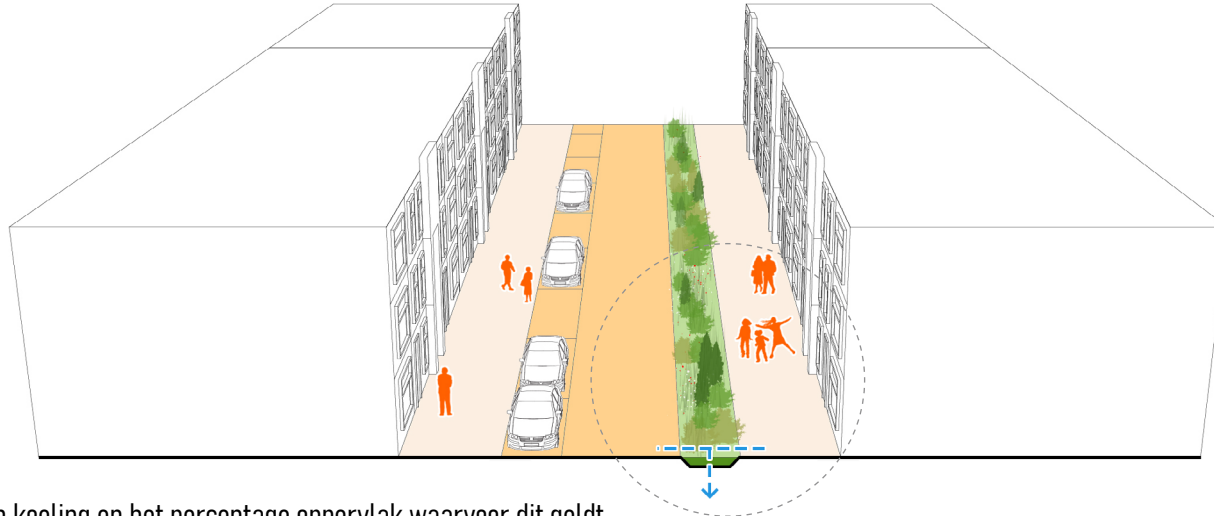
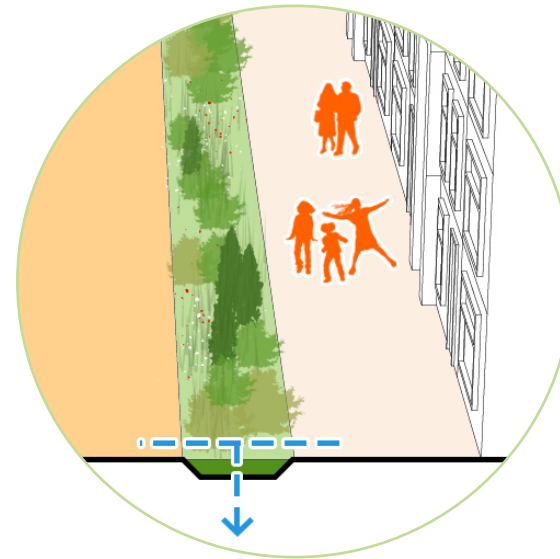
Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.





Heesters en vaste planten noordzijde

Een groenstrook met een mix van heesters en vaste planten in een verdiepte ligging combineert wateropvang met meer biodiversiteit in de stad. Belangrijk voor hittestress is de vermindering van het verharde oppervlak. Echter, overdag heeft een strook zonder schaduwwerking slechts zeer beperkt effect op de gevoelstemperatuur.

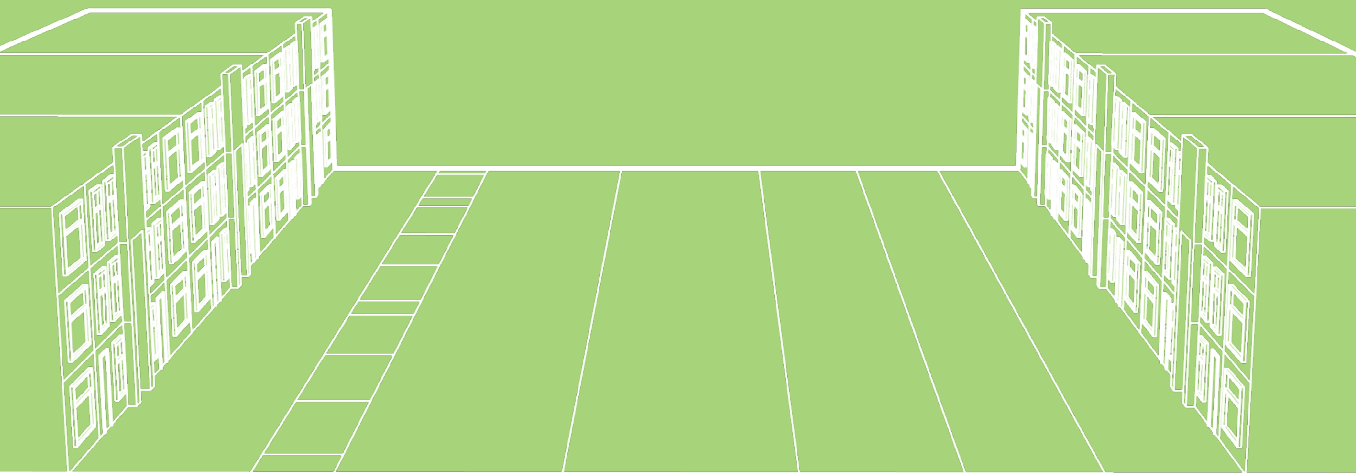


De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.





VERBINDINGSWEG

In de stad zijn er wegen die buurten met elkaar en de stad verbinden. Daarmee is de verbindingsweg geen wijktype, maar wel een belangrijke typologie als wegprofiel. De verbindingsweg heeft een belangrijke functie in verkeersdoorstroming voor auto's, fietsers, voetgangers en vaak voor een buslijn. Tegelijkertijd is het een woonstraat met, afhankelijk van het wijktype, grondgebonden woningen of appartementen en een hoge parkeerdruk. In veel gemeenten gaan dit type wegen van 50 km/uur naar straten met maximaal 30 km/uur.

Hittestress

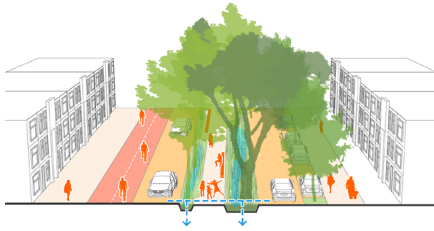
Om alle mobiliteitsvormen te accommoderen is een groot deel van de straat van een verbindingsweg verhard. Omdat de verbindende straten een breder profiel hebben dan straten binnen buurten is er veelal een solide boomstructuur aangelegd. Deze bomen zijn van groot belang voor voetgangers en fietsers en kunnen ook het binnenklimaat in woningen comfortabel houden. Het is van groot belang deze bomen te behouden. Echter, aanpassingen aan het wegprofiel, voor bijvoorbeeld het verbeteren van de doorstroming of meer vergroening, is soms niet mogelijk.

Wateroverlast

Om de doorstroming van verkeer te waarborgen is wateropslag op de rijbaan bij verbindingswegen geen gewenste oplossing, wateropslag in verlaagde groene buffers langs de weg kan als daar voldoende ruimte voor kan worden gevonden. Wateropslag onder de weg met kratten of reservoirs is een technische en relatief eenvoudige oplossing. De mate van verkeersbelasting, mogelijkheden met kabels en leidingen en de kosten zijn sturend in welke variant voor wateropslag onder wegen wordt gekozen.



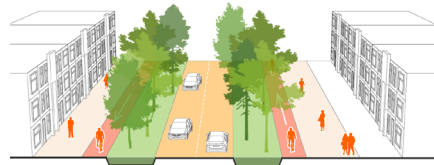
Brede groenzone midden



-12 tot -19 °C



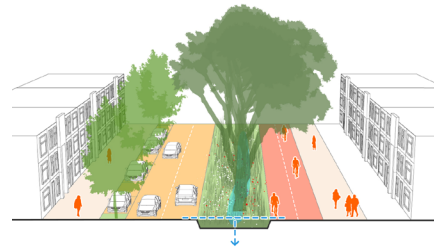
Symmetrisch groen



-10 tot -19 °C



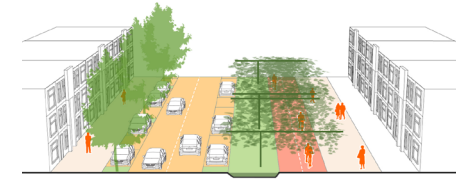
Grote bomen noordzijde



-10 tot -19 °C



Pergola xl



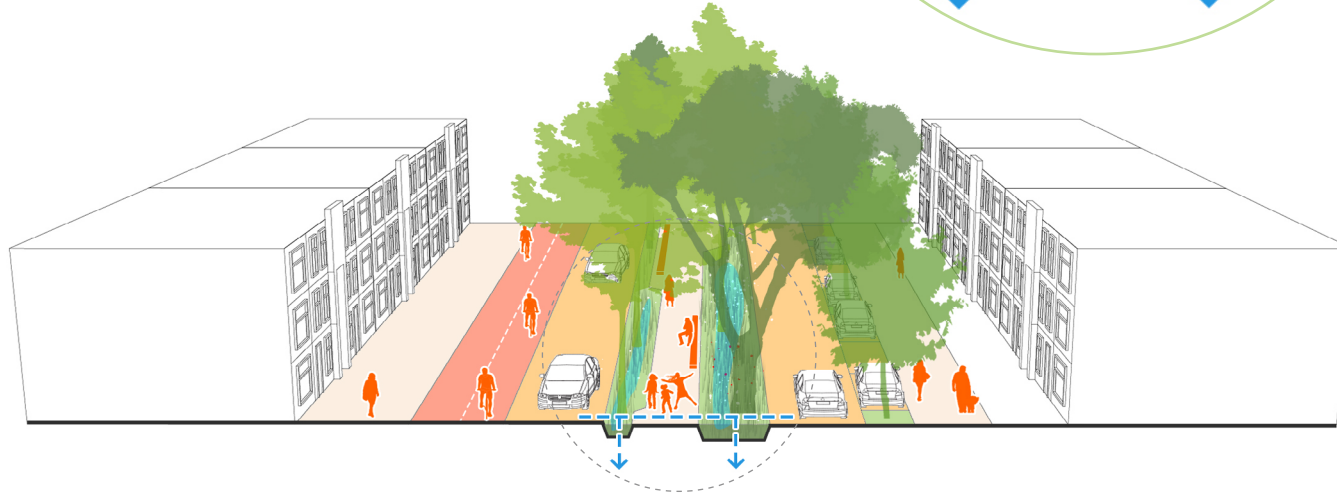
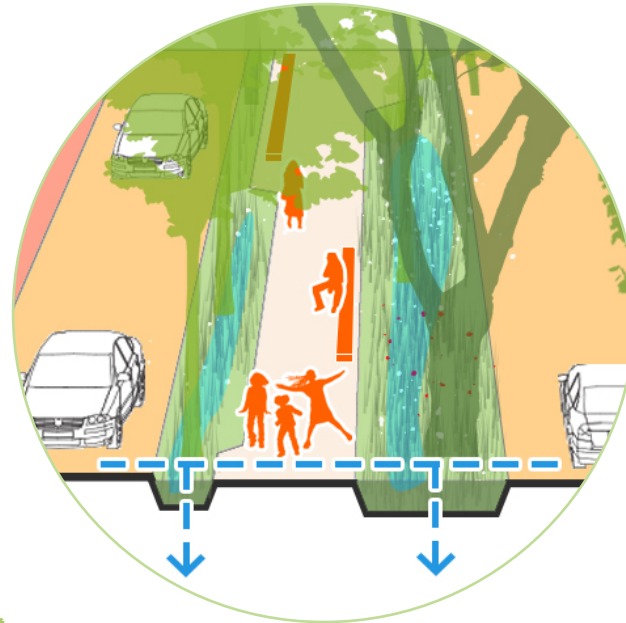
-2 tot -8 °C

lokale gevoelstemperatuur daalt met

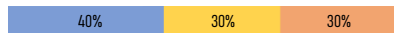


Brede groenzone midden

Door al het groen in de straat te concentreren in één brede groeiplaats kunnen de bomen zich beter ontwikkelen. Een gezonde boom met volle kruin heeft een groter verkoelend effect. Een brede groenzone biedt ook plaats voor een verblijfsplek, speelplaats, parkinrichting met vaste planten en/of een koele looproute.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



■ maximale verkoeling tot -19 °C

■ matige verkoeling tot -5 °C

■ weinig verkoeling tot -2 °C

■ geen verkoeling

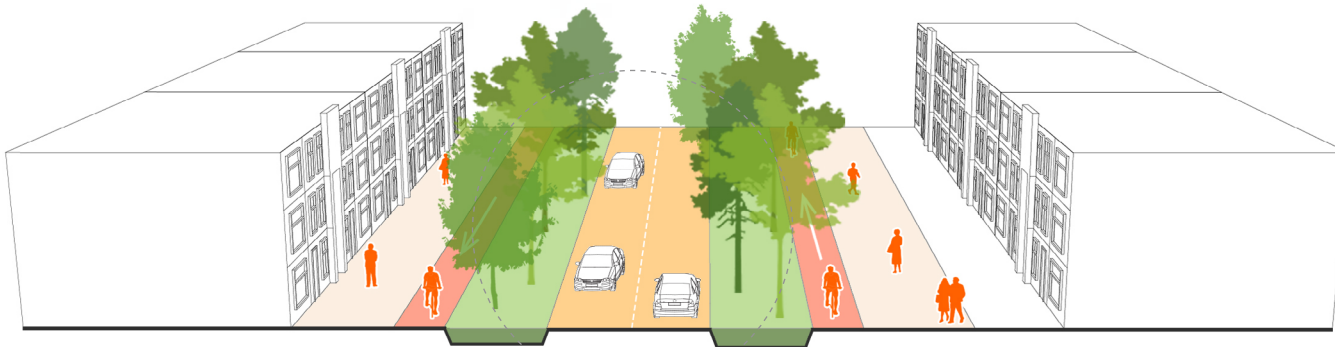
Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.





Symmetrisch groen

Wanneer een symmetrisch straatprofiel met een dubbele groenstrook met bomen de voorkeur heeft is extra aandacht nodig voor de balans tussen schaduw en openheid. Bij een straat zoals de *Verbindingsweg* waar veel autoverkeer passeert is ventilatie belangrijk voor een goede luchtkwaliteit. De bomen dienen voldoende open te zijn in hun bladerdek, een smalle kroon te hebben of op voldoende afstand van elkaar te staan. Belangrijk is vooral ook de positie van de bomen t.o.v. de loop- en fietsroutes, waar de schaduwprojectie het meest van belang is. Ook bij symmetrisch groen kunnen verschillende boomsoorten elkaar afwisselen in een groenstrook door soorten te kiezen die elkaar aanvullen en vergelijkbaar zijn in hoogte, vorm en groeisnelheid.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



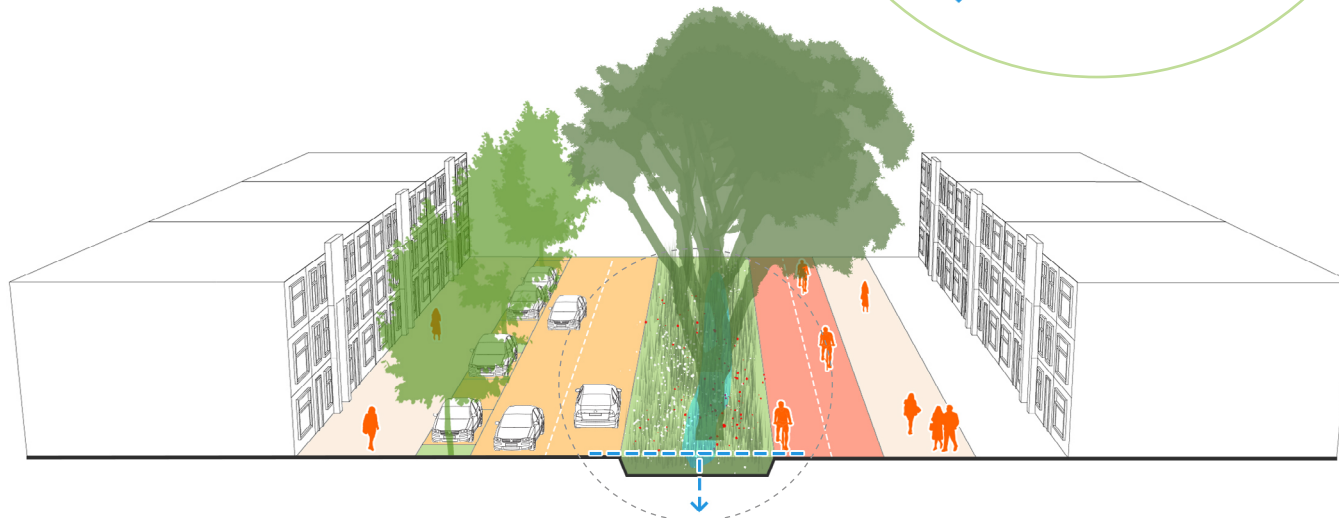
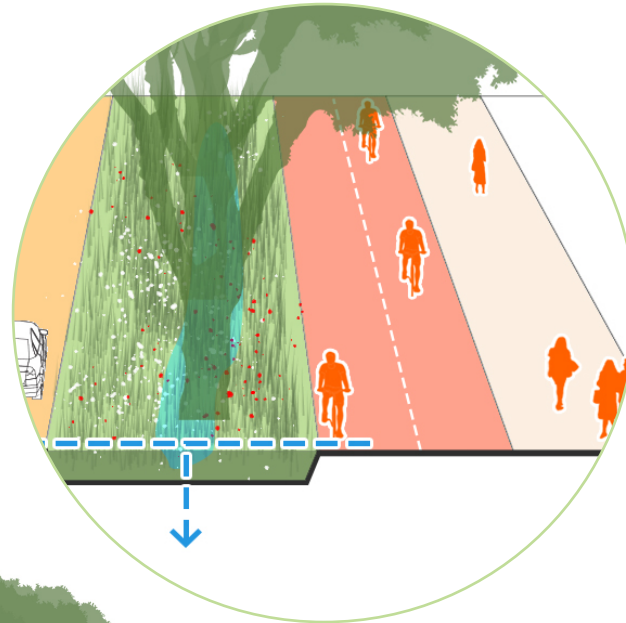
Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.





Grote bomen noordzijde

Een variatie in hoogte van bomen zorgt voor meer ventilatie dan een dubbele rij van gelijke hoogte. Het asymmetrische straatprofiel geeft meer vrijheid in de positionering van de bomen: waar wil je de schaduw? Waar is ruimte voor een flinke groeiplaats?



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



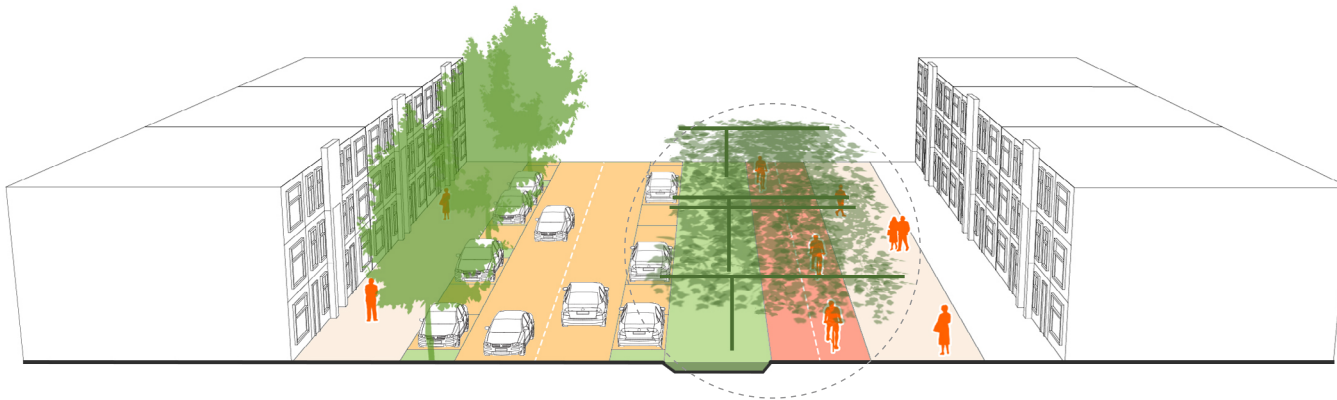
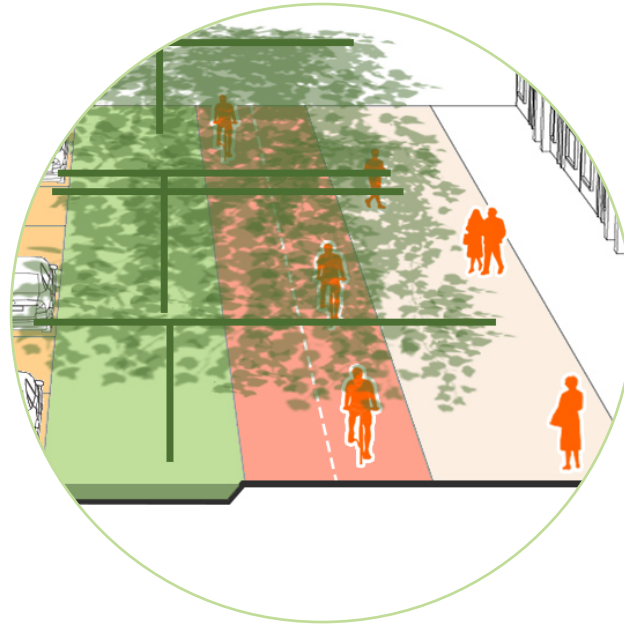
Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.



Pergola xl

Met een flinke pergola kan een belangrijk deel van de loop- en fietsroutes in een straat worden beschaduwd. De mate van openheid van de begroeiing en de locatie van de schaduw is aan te passen aan de lokale schaduw- en ventilatiebehoefte. De ruimte voor een groeiplaats voor klimplanten is ondergronds veel kleiner dan die van bomen.

De klimconstructie kan met robuust hout, industrieel staal of lichte gespannen lijnen een belangrijk onderdeel in het ontwerp van de openbare ruimte zijn. De behaalde verkoeling is afhankelijk van de dichtheid van het bladerdek en kleiner dan die van een gezonde volwassen boom. Een pergola kan ook heel goed tijdelijk worden ingezet tot de jonge aanplant het formaat heeft om voldoende schaduw te geven.



De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



Het staafdiagram toont de temperatuurverdeling voor het gehele gebied wanneer je kiest voor deze specifieke inrichting, bij een straatorientatie van NO naar ZW, op een hete zomerdag om 15 uur.



Foto: Tessa Belinfante

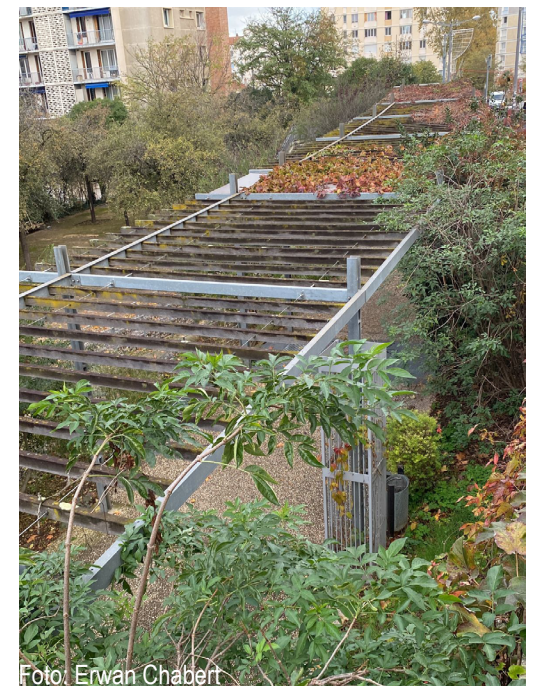







Foto: Erwan Chabert





Samenvatting

Sjablonen per wijktype





Stedelijk Bouwblok

-  Groene infiltratiestrook met bomen
-  Pergola met klimplanten
-  Centrale coolspot
-  Waterdoorlatende verharding
-  Éénrichtingsweg groene recreatie





Bloemkoolwijk

-  Open boomkroon nabij gevels
-  Vergroenen parkeerplaatsen
-  Plein transformeert naar groengebied met bomen
-  Auto te gast waar mogelijk

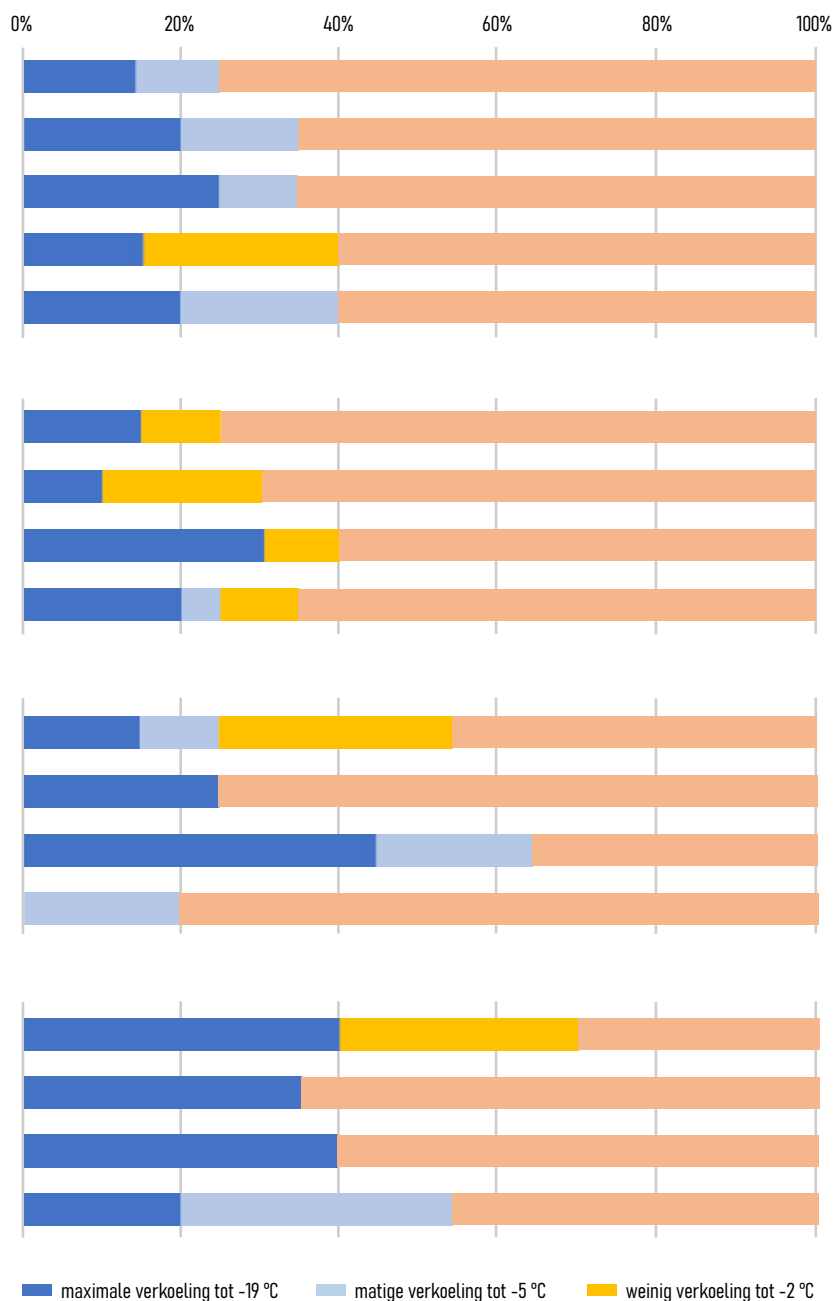
Volkswijk

-  Groene clusters verspringend in de straat
-  Bomenrij langs de Noord(zon)zijde van de straat
-  Leibomen in dubbele rij
-  Groenstrook met heesters en vaste planten

Verbindingsweg

-  Groen geclusterd in middenzone
-  Dubbele groenstrook met bomen
-  Grote bomen aan de Noord(zon)zijde van straat
-  Pergola XL

De mate van koeling en het percentage oppervlak waarvoor dit geldt



De verdeling in de mate van verkoeling in een percentage van het oppervlak is gebaseerd op de specifieke inrichting zoals weergegeven in de betreffende sjabloon bij een specifieke straatorientatie (meestal van NO naar ZW), op een hete zomerdag om 15 uur.

Richtlijnen voor een koele buitenruimte

Algemeen

1. Klimaatverandering heeft wereldwijd een aanzienlijke impact en één van de gevolgen is de toename van hittestress in steden, wat een negatief effect kan hebben op de gezondheid van de inwoners. Het voorkomen van hittestress en het bieden van plekken waar de bewoners verkoeling kunnen vinden wordt steeds urgenter. Verslag van het onderzoek naar richtlijnen voor een koele buitenruimte door Platform31 en de Hogeschool van Amsterdam. Een overzicht van bestaande richtlijnen en inrichtingsprincipes is te vinden in paragraaf 2.1.2 van: https://www.hva.nl/binaries/content/assets/subsites/kc-techniek/publicaties-klimaatbestendige-stad/kramer_et_al_2023_gezonde_koele_buitenruimte.pdf?1695216890961

2. Het groen in de stad kan sterk bijdragen aan het beperken van de opwarming van de stad en aan het vergroten van het thermisch comfort van de inwoners. Van alle soorten groen zijn bomen door hun grote volume en bladmassa het meest effectief.

Fragment uit: Hiemstra, J.A. (2018). Factsheet Groen in de stad - Klimaat en Temperatuur. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/460543>

3. Praktische suggesties om op lokale schaal voor koele plekken en routes te zorgen, door middel van natuurlijke verkoeling.

Zie: Weppelman I., R. Snep. J. Hiemstra & J. Voeten (2023). Aantrekkelijke koele plekken & routes: Basisprincipes en richtlijnen voor natuurlijke verkoeling. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/637525>

Voor koele plekken die op 300 meter loopafstand van iedere woning liggen:

1. Koele plekken moeten over ten minste 400 vierkante meter openbare groene buitenruimte beschikken (Gebaseerd op Kluck et al., 2020 en Klemm, 2018).
2. Koele plekken moeten gelijke hoeveelheden zon en schaduw hebben, met 50% schaduw en 50% zon (Gebaseerd op Klemm, 2018 en Kramer et al., 2023).

Op het schaalniveau van de buurt en wijk als geheel:

3. Grote, openbare groene buitenruimten (>0,5ha) moeten voor de meeste bewoners binnen 500m loopafstand liggen (Gebaseerd op WHO, 2016, Kabisch, et al., 2016 en Roo, et al., 2011).
4. Gemiddeld zou 9m² per persoon groene openbare buitenruimte per buurt de streefwaarde moeten zijn (WHO, 2016).

Op het schaalniveau van de stad:

5. Gemeenten moeten zorgen voor een verscheidenheid aan openbare (groene) buitenruimtes op verschillende (ruimtelijke) schalen om verschillende functies en bevolkingsgroepen te bedienen. (Gebaseerd op Nutsford et al., 2013, Roo et al., 2011 en WHO, 2017).

Bijlage 1

ENVI-MET

Het ontwikkelen van sjablonen voor klimaateffectief groen, met een focus op het verminderen van hittestress, is in dit project voor vier wijktypen uitgewerkt. In samenwerkingssessies met een expertpanel van landschapsarchitecten, stedenbouwkundigen, ontwerpers en managers, uit verschillende gemeenten, zijn praktische inzichten, wetenschappelijke kennis en modelresultaten samengebracht. In de sessies zijn simulaties met het microklimaatmodel ENVI-met ingezet om de ontwikkeling van de sjablonen te begeleiden.

ENVI-met is gebruikt om de luchttemperatuur, windsnelheid, stralingsintensiteit en de gevoelstemperatuur (PET) in specifieke wijktypen te modelleren aan de hand van weerdata op een representatieve hete dag, geografische locatie en tijd van het jaar. De opzet in ENVI-met start met het opbouwen van het model waarin je de uitsnede van het plangebied definieert, een simulatieraster opbouwt en databases selecteert en definieert voor vegetatie en bouwmaterialen. Het model bevat gebouwen, oppervlakken en vegetatie en is in staat om zowel de huidige als potentiële microklimaten met verschillende interventies te analyseren. De ENVI-met kaarten geven inzicht in verschillen tussen de huidige en voorgestelde scenario's, en bieden daarmee argumentatie voor het kiezen van een klimaatadaptieve stedelijke inrichting.

Hieronder is van een van de gemeentelijke expertsessies de methodische benadering van het modelleren van het stedelijk groen samengevat. Voor elke locatie is een model gemaakt waarmee de huidige situatie zowel met als zonder het bestaand groen is doorgerekend. Vervolgens zijn verschillende varianten gemodelleerd en vergeleken met het startpunt. In het geval van de case Mient zijn vier verschillende varianten overwogen en uitgewerkt. De afbeeldingen hierna illustreren zowel de bestaande situatie als een van de varianten. Door deze scenario's te vergelijken, kan een beoordeling worden gemaakt van de impact van elke interventie op de gevoelstemperatuur wat inzicht biedt in de effectiviteit van het toegevoegde groen.

Bijlage 1

ENVI-MET

CASE: MIENT – BESTAANDE SITUATIE + VARIANT 1

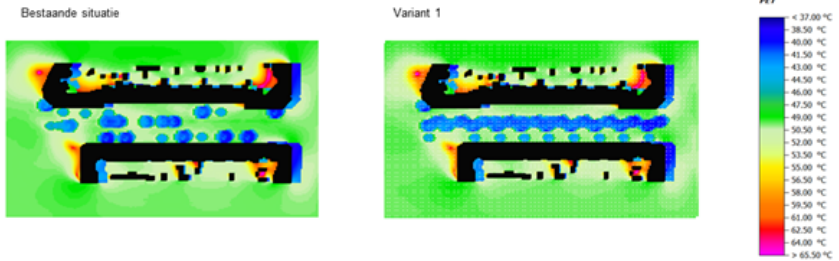


Figuur 4
Mient, Den Haag. foto: Google street view.

MODELRESULTATEN

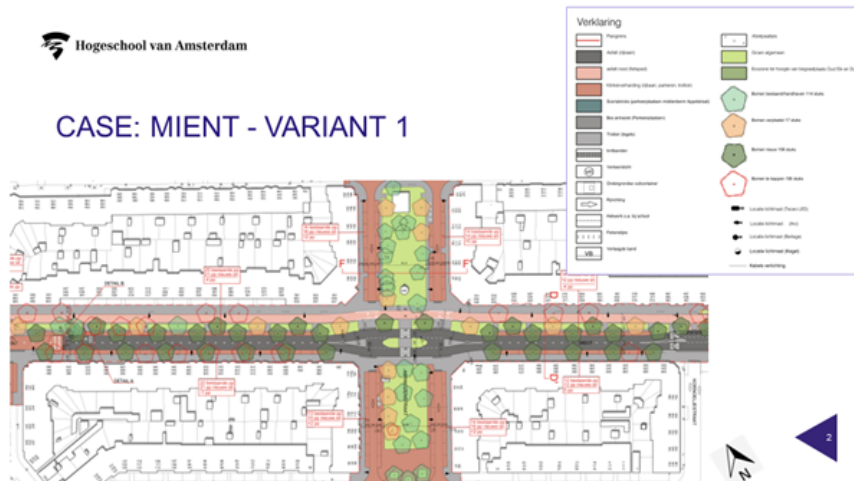
► Gevoelstemperatuur PET, 15:00uur

PET [°C]	Thermal sensation	Level of thermal stress
< 4°C	very cold	extreme cold stress
4.1 - 8°C	cold	strong cold stress
8.1 - 13°C	cool	moderate cold stress
13.1 - 18°C	slightly cool	slight cold stress
18.1 - 23°C	neutral (comfortable)	no thermal stress
23.1 - 29°C	slightly warm	slight heat stress
29.1 - 35°C	warm	moderate heat stress
35.1 - 41°C	hot	strong heat stress
41°C >	very hot	extreme heat stress



Figuur 5
Modelresultaten.

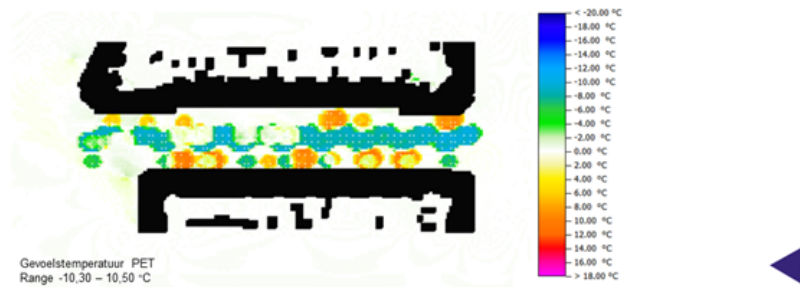
CASE: MIENT - VARIANT 1



Figuur 6
Mient variant 1.

MODELRESULTATEN: DE MIENT

► Verschil tussen bestaand situatie en variant 1



Figuur 7
Modelresultaten de Mient.

Bijlage 2

Metingen verkoelend effect van bomen

In het onderzoeksproject PPS Klimateffectiefgroen zijn aanvullende metingen uitgevoerd om de mate van het effect te meten van bomen en boomeigenschappen (kroon diameter, boomhoogte, kruindichtheid, en boomvitaliteit) op de gevoelstemperatuur. Het bepalen van de gevoelstemperatuur - ook wel de Physiological Equivalent Temperature (PET) genoemd - in de schaduw van bomen, geeft verder inzicht in hoe bomen kunnen bijdragen aan het thermisch comfort van gebruikers van de openbare ruimte. Daarnaast, draagt het onderscheid in boomeigenschappen bij in welke mate boomvitaliteit en kruinvorm (bijv. door droogte of recente aanplant) een rol speelt in de verkoelende werking. Resultaten voor deze metingen zullen te vinden zijn in Föllmi et al. and Hiemstra et al. (Manuscripten in voorbereiding).

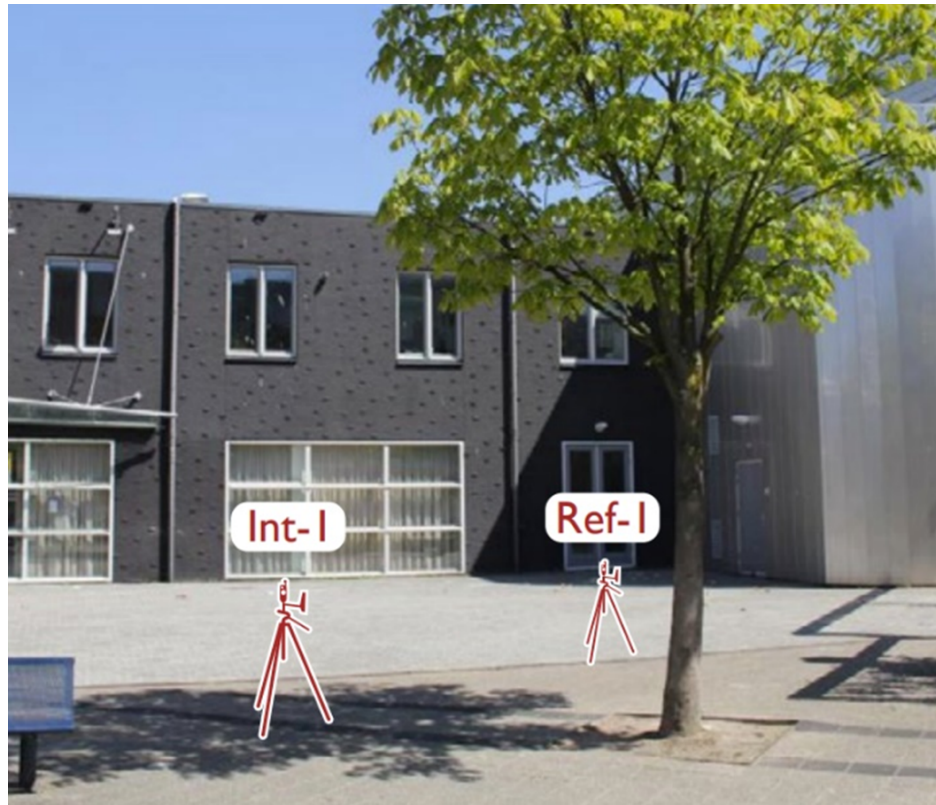
De meetresultaten ondersteunen bovendien de simulatie uitkomsten voor de sjablonen gepresenteerd in deze brochure. Zo laten de meetresultaten van solitaire bomen (10 – 18 °C PET) soortgelijke waardes zien die overeenkomstig zijn met de resultaten van het ENVI-met model of literatuur geraadpleegd in dit document. Hierbij moet vermeld worden dat deze metingen niet als doel hebben gehad om het model te valideren. Ze vormen eerder een extra indicatieve onderbouwing voor de impact die solitaire bomen kunnen hebben ten behoeve van het reduceren van de gevoelstemperatuur. Bovendien zijn de sjablonen een schematische weergave van een wijktype en vallen deze fictieve locaties niet te valideren aan de hand van in-situ metingen.

Om de PET te bepalen worden metingen uitgevoerd met mobiele weerstations (Kestrel 5400, zie figuur) gedurende het warmste moment van de dag: >25 °C en onbewolkt tussen 12:00 en 16:00 uur. Om de hitte-stress reducerende capaciteit van bomen te bepalen vindt er naast een meting in het centrum van het schaduwpatroon een referentiemeting plaats in de volle zon (Spanjar et al., 2020). Dit geeft de relatieve verkoeling voor een persoon aan die onder de boom staat.

Tijdens de metingen worden vier meteorologische parameters gemeten: luchttemperatuur, zwarte bol temperatuur (straling), windsnelheid en relatieve luchtvochtigheid. Deze combinatie van meteorologische parameters worden gemeten omdat het op deze manier mogelijk is de fysiologische stress op een persoon meetbaar te maken en de PET te berekenen (Matzarakis et al., 1999). De stress die een persoon ervaart tijdens hitte is namelijk niet alleen afhankelijk van luchttemperatuur, maar wordt ook bepaald door zoninstraling, luchtvochtigheid (bijv. door verdamping van bomen) en windsnelheid. Daarnaast wordt bij het berekenen van de PET rekening gehouden met de persoon-specifieke constanten die de uitwisseling van thermische energie met het huidoppervlak weergeeft, zoals menselijke activiteit, type kleren, huid temperatuur en lichaamskerntemperatuur (Höppe, 1999).

Bijlage 2

Metingen verkoelend effect van bomen



Figuur 8 Foto links: meetopstelling met meetpunt in het schaduwpatroon van de boom (Int-1) en het referentie punt (Ref-1). Bron: Cool Towns Heat Stress Measurement Protocol (Spanjar et al., 2020); Foto rechts: Kestrel 5400, mobiel weerstation.

Beknopte bronnenlijst

- Föllmi, D., Kleerekoper, L., Hiemstra, J., van der Sluis, B., Corpel, L., Kluck, J. (nd). Urban heat stress reduction by trees. Measurements on a square in Amsterdam investigating the heat reduction potential in relation to tree characteristics. [Manuscript in preparation]
- Hiemstra, J.A. (2018). Factsheet Groen in de stad - Klimaat en Temperatuur. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/460543>
- Hiemstra, J.A., H. Saaroni & J.H. Amorim (2017). The urban heat island: Thermal comfort and the role of urban greening. In: Pearlmutter, D. et al. (eds.). The Urban Forest. Springer Future City, Vol. 7.
- Hiemstra, J., van der Sluis, Föllmi, D., Kleerekoper, L., B., Corpel, L., Kluck, J. (nd). What make trees cool the environment? Measurements investigating the heat reduction potential in relation to tree characteristics in the Dutch climate. [Manuscript in preparation]
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- Kabisch, N., Strohbach, M., Haase, D., & Kronenberg, J. (2016). Urban green space availability in European cities. *Ecological indicators*, 70, 586-596.
- Klemm, W. (2018). Clever and cool: generating design guidelines for climate-responsive urban green infrastructure (Doctoral dissertation, Wageningen University and Research).
- Kluck, J., E.J. Klok, A. Solcerová, L. Kleerekoper, L.I. Wilschut, C.M.J. Jacobs en R. Loeve (2020) De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte. Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Onderzoeksprogramma Urban Technology. ISBN 978-94-92644-80-0. 131p.
- Kluck, J., Kleerekoper, L., Klok, L., Solcerova, A., Loeve, R., Erwin, S., ... & Rajaei, S. (2020). De hittebestendige stad: Coolkit: toolkit voor ontwerpers van de buitenruimte.
- Kluck, J., Klok, L., Solcerová, A., Kleerekoper, L., Wilschut, L., Jacobs, C., ... & Dankers, R. (2020). De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte. Hogeschool van Amsterdam.
- Konijnendijk, C. C. (2022). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule. *Journal of Forestry Research*, 1-10.
- Kramer, M., Ooms, M., Kerklingh, A., Erwin, S., Kleerekoper, L., Kluck, J., Schoonderbeek, J. (2023) Gezonde & koele buitenruimten. Richtlijnen voor een koelteplek, op maximaal 300 meter afstand van iedere woning. Platform 31 en Hogeschool van Amsterdam, Den Haag.
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International journal of biometeorology*, 43, 76-84.
- Nutsford D, Pearson AL, Kingham S. An ecological study investigating the association between access to urban green space and mental health. *Public Health*. 2013 Nov;127(11):1005-11. doi: 10.1016/j.puhe.2013.08.016. Epub 2013 Nov 19. PMID: 24262442.
- Roo, M. D., Kuypers, V. H. M., & Lenzholzer, S. (2011). The green city guidelines: techniques for a healthy liveable city. *The Green City*.
- Saaroni, H., J.H. Amorim, J.A. Hiemstra & D. Pearlmutter, 2018. Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban Climate* 24, 94–110.
- Spanjar, G., van Zandbrink, L., Bartlett, D., Kluck, J., Wetzels, V., Postema, K., & Barbosa, E. C. (2020). Cool Towns Heat Stress Measurement Protocol: thermal comfort assessment at street-level scale. In *Nature Smart Cities en Cool Towns Annual Exchange of Experience Event*. Hogeschool van Amsterdam, Urban Technology.
- Steenefeld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., Van Hove, L.W.A., Holtslag, A.A.M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *J. Geophys. Res.*, 116, D20129, doi:10.1029/2011JD015988.
- Weppelman I., R. Snep. J. Hiemstra & J. Voeten (2023). Aantrekkelijke koele plekken & routes: Basisprincipes en richtlijnen voor natuurlijke verkoeling. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/637525>
- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2016). Urban green spaces and health.
- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2017). Urban green spaces: a brief for action.

Projectgroep

Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Water in en om de Stad

dr. ir. Laura Kleerekoper – Onderzoeker Klimaatbestendige stad, ENVI-met modellering, Metingen

ir. Stephanie Erwin – Onderzoeker, ENVI-Met modellering

ir. Dante Föllmi – Onderzoeker, Metingen

ir. Vera Wetzels – Onderzoeker, ENVI-Met modellering

dr. ir. Jeroen Kluck – Lector

Wageningen University & Research, Open Teelten

dr. ir. Jelle Hiemstra – Projectleider, Onderzoeker Bomen & Groen

ir. Bart van der Sluis – Onderzoeker, Metingen

dr. ir. Cor Jacobs – Onderzoeker, ENVI-Met modellering

ir. Eva Meijers – Onderzoeker, ENVI-Met modellering

ir. Patrick Spoelstra – Onderzoeker, Metingen

Peter Balk BSc – Project management

Niek Roozen Landscape

ing. Judith van der Poel MLA – Directeur en landschapsarchitect

Xiao Zhang – Landschapsontwerper

Maryam Jalalifahim – Landschapsontwerper

ir. Xiaoyu Xu – Landschapsontwerper

Deelnemers aan expertsessies

Barry van 't Padje	Gemeente Amsterdam	Martin van den Hoorn	Gemeente Den Haag
Channah Bakker	Gemeente Amsterdam	Martina van der Vegt	Gemeente Den Haag
Elske van Vessem	Gemeente Amsterdam	Michel Peyrer	Gemeente Den Haag
Geert-Willem Arentsen	Gemeente Amsterdam	Monique Hoogland	Gemeente Den Haag
Jeroen Vermeulen	Gemeente Amsterdam	Ralph Pitlo	Gemeente Den Haag
Joost Witteborg	Gemeente Amsterdam	Roeland Lelieveld	Gemeente Den Haag
Marcel van Hallem	Gemeente Amsterdam	Ron Appeldooren	Gemeente Den Haag
Miranda Reitsma	Gemeente Amsterdam	Sjoerd Radstaak	Gemeente Den Haag
Pim Versteeg	Gemeente Amsterdam	Vincent Hensen	Gemeente Den Haag
Quirijn Verhoog	Gemeente Amsterdam	Wim Duijs	Gemeente Den Haag
Rixt Hofman	Gemeente Amsterdam	Inger van den Bosch	Gemeente Haarlem
Rob Videler	Gemeente Amsterdam	Djorn Noordman	Gemeente Haarlem
Ton Muller	Gemeente Amsterdam	Onno Oosterhof	Gemeente Haarlem
Albert Koolma	Gemeente Den Haag	Marie-Thérèse Tetteroo-Mathijssen	Gemeente Haarlem
Albert Zwijnenburg	Gemeente Den Haag	René Blom	Gemeente Haarlem
Albert-Jan van de Scheur	Gemeente Den Haag	Chantal Steuten	Gemeente Wageningen
Almut Röwekamp	Gemeente Den Haag	Esther Krosschell	Gemeente Wageningen
Ariën Tuin	Gemeente Den Haag	Harry Post	Gemeente Wageningen
Céline Kruisbrink	Gemeente Den Haag	Maarten van der Veer	Gemeente Wageningen
Erik Mentink	Gemeente Den Haag	Stan Mennen	Gemeente Wageningen
Esther Vogelaar	Gemeente Den Haag	Wilma Pol	Gemeente Wageningen
Irene Mulder	Gemeente Den Haag	Marko van de Wetering	Gemeente Meppel
Jacco Schuurkamp	Gemeente Den Haag	Colette de Roo	Gemeente Meppel
Joanne Gendronneau	Gemeente Den Haag	Aad Leeuwerink	Gemeente Meppel
Leendert Koudstaal	Gemeente Den Haag	Frank Smits	Waternet
Marco van Tol	Gemeente Den Haag		
Martijn Kosterman	Gemeente Den Haag		

Begeleidingscommissie

Dinand Ekkel

Henk Wolfert

Léon Smet / Ilse Roggeveen

Marwin Dekkers / Jeroen van den Oever

Hans kaljee, Jaïke Bijleveld, Emma Reeskamp

Leendert Koudstaal

Djorn Noordman

Marko van de Wetering / Aad Leeuwerink

Hans Jacobse

Albert Haasnoot

Maarten Loeffen

Brenda Swinkels / Pieter van den Berk

Marc Custers / Ingrid Sangers

Aeres Hogeschool

AMS Institute

Anthos / De Groene Stad

Boomkwekerij M. van den Oever & Zonen BV

Gemeente Amsterdam

Gemeente Den Haag

Gemeente Haarlem

Gemeente Meppel

Hogeschool Van Hall Larenstein

Royal Flora Holland / De Groene Stad

Stadswerk

Van den Berk Boomkwekerijen

VHG



Foto's

De illustraties in deze brochure zijn, tenzij anders vermeld bij de foto's, afkomstig van HVA (Laura Kleerekoper), WUR (Jelle Hiemstra) en NRL (Judith van der Poel, Herman Hobbelink, Xiao Zhang, Maryam Jalalifahim).