

Baten van een groener Haarlem

Baten in euro's, graden verkoeling en leefbaarheid



Auteurs:

Laura Kleerekoper
Cor Jacobs
Liesbeth Wilschut
Jeroen van der Kuur
Jeroen Kluck

Colofon

Uitgave:

Onderzoeksprogramma Urban Technology
Faculteit Techniek, Hogeschool van Amsterdam
November 2018

Auteurs:

dr. ir. Laura Kleerekoper	Hogeschool van Amsterdam
dr. ir. Cor Jacobs	WENR
dr. ir. Liesbeth Wilschut	Tauw
ir. Jeroen van der Kuur	Hogeschool van Amsterdam
dr. ir. Jeroen Kluck	Hogeschool van Amsterdam

Grafische illustraties:

ir. Joris Viscaal	Tauw
-------------------	------

Vormgeving:

ir. Erica Caverzam Barbosa	Hogeschool van Amsterdam
----------------------------	--------------------------

Contact:

Laura Kleerekoper - l.kleerekoper@hva.nl
Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Weesperzijde 190, 1097 DZ Amsterdam
www.hva.nl/klimaatbestendigestad

Foto's in rapportage:

Van de auteurs, indien niet anders vermeld

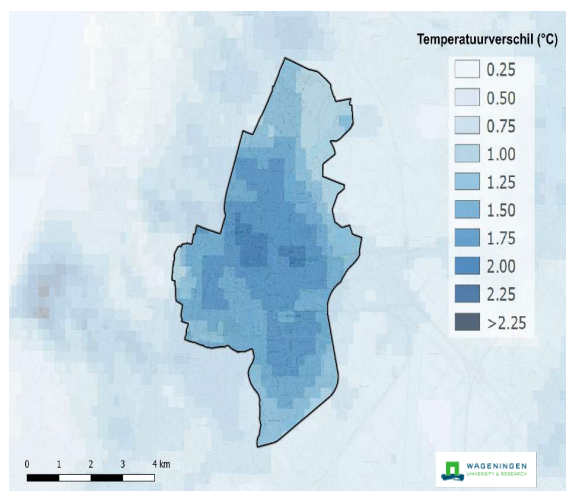
Inhoud

Inhoud	3
Samenvatting	4
Inleiding.....	5
Deel 1 Maatschappelijke groenbaten voor de stad	6
Deel 2 Verkoelend effect vergroening in de stad.....	12
Deel 3 Verkoeling met groen in een ‘hittespot’	21
Deel 4 Wijktypen	29
Conclusie	46
Bronnen.....	48
1. Bijlage Groenscenario's.....	50
1.1. Bestaande situatie	50
1.2. Scenario 1: Ontwikkelpannen	50
1.3. Scenario 2: ambitieus	53
2. Bijlage Soorten groenbaten en kengetallen.....	54
2.1. Gezondheid.....	54
2.2. Energie	54
2.3. Woningwaarde	54
2.4. Recreatie.....	55
2.5. Waterhuishouding	55
2.6. Kengetallen	56
3. Bijlage Modelberekeningen regio Haarlem.....	57
3.1. Aanpak	57
3.2. Berekende luchttemperatuur op loopniveau, 19 juli 2006, 15:00 uur	57
3.3. Berekende luchttemperatuur op loopniveau, 20 juli 2006, 05:00 uur	58
3.4. Schaduw effect op gevoelstemperatuur.....	59
4. Bijlage Maatschappelijke baten van verkoeling.....	61
5. Bijlage ENVI-met invoer modellen	64
6. Bijlage wijktypen in gemeente Haarlem	68

Samenvatting

Dit rapport presenteert de voordelen van meer groen voor de Gemeente Haarlem. Met hierin maatschappelijke baten en onderzoek naar hoe groen een bijdrage kan leveren aan de hittebestendigheid van de stad.

Een groener Haarlem is voor de berekening van baten in twee scenario's opgesplitst, een op basis van huidige plannen voor de komende 5 jaar en de andere met een ambitieuze vergroening in de komende 30 jaar. De baten van meer groen in Haarlem zijn in euro's te berekenen voor de thema's gezondheid, energie, woningwaarde, recreatie en waterhuishouding. Gezondheid is de grootste batenpost met 70 procent.



Voor het ambitieuze groenscenario is het verkoelend effect voor de hele stad berekend met een regionaal weermodel, in luchttemperatuur voor de dag en nacht situatie. In het stedelijk gebied geeft de vergroening overdag zo'n twee graden verkoeling en 's nachts een halve graad. Deze verkoeling is input voor een nieuwe rekenmethode voor de baten van verkoeling in euro's. Dit vertaalt zich vooral in arbeidsproductiviteit en ziekenhuisopnames en is goed voor 10% meer groenbaten.

Figuur 1. Berekend verschil in lucht-temperatuur, op loopniveau overdag om 15:00 uur, tussen de huidige situatie en na toepassing van het vergroeningsscenario, gemiddeld over 15-25 juli 2006.

Op schaal van de buurt en straat kan verkoeling door groen inzichtelijk worden gemaakt door effecten te laten zien op de gevoelstemperatuur. Inrichting met bomen en een pergola zijn doorgerekend voor een representatieve straat van een volksbuurt. Door bomen in de straat te plaatsen neemt de gevoelstemperatuur af, in de schaduw van een boom met zo'n zes graden. Vooral in straten die van Noord naar Zuid lopen is meer schaduw belangrijk, plaats bomen hier aan de Oost-zijde van de straat waar de zonbelasting in de middag het hoogste is.

Ter aanvulling of compensatie van groen zijn er andere maatregelen die kunnen helpen hittestress te verminderen. Geschikte maatregelen verschillen per wijktype. Voor vier veelvoorkomende wijktypen - historische binnenstad, volksbuurt, tuindorp en naoorlogse tuinstad - is een selectie gemaakt van maatregelen.



Figuur 2. Creëren van schaduw met doeken in de binnenstad van Haarlem als mogelijke maatregel tegen hittestress.

Inleiding

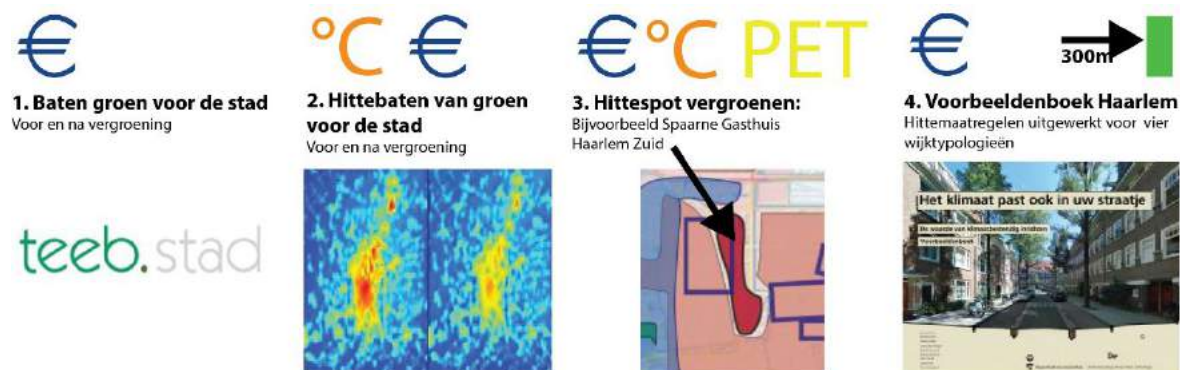
Voor de Gemeente Haarlem onderzoekt deze studie wat vergroening kan opleveren voor de stad en haar inwoners. De twee belangrijkste onderdelen hierin zijn de maatschappelijke baten en het vraagstuk hoe groen een bijdrage kan leveren aan de hittebestendigheid van de stad.

De Gemeente Haarlem onderschrijft de ambitie van het nationale Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie om in 2020 klimaatbestendigheid in alle gemeentelijke beleidsvorming als vanzelfsprekend mee te nemen. De gevolgen van klimaatverandering voor Haarlem zijn in kaart gebracht via een zogenaamde stresstest, zie het rapport *'Haarlem en het Klimaat. Onderzoek klimaatbestendigheid Haarlem'* (Föllmi et al 2016a). Daaropvolgend heeft de gemeente in 2017 een *'Klimaatadaptatie Agenda'* (Hendriksen et al 2017) voor Haarlem opgesteld met een meerjaren-aanpak voor de stad om klimaatbestendig te worden.

Een van de uitgangspunten in de *'Klimaatadaptatie Agenda'* is het doelmatig uitbreiden van het bestaande groen in de stad ter vermindering van hittestress en ter bevordering van regenwaterinfiltratie. De gemeente wil meer inzicht in de kosten en baten van meer groen en heeft de Hogeschool van Amsterdam gevraagd hier onderzoek naar te doen.

Het onderzoek bestaat uit vier deelstudies met de volgende onderzoeksvragen (Figuur 3):

1. Wat zijn de maatschappelijke baten van meer groen¹ voor heel Haarlem in euro's?
2. Wat zijn de hittebaten van meer groen voor heel Haarlem in graden verkoeling en in euro's?
3. Wat zijn de baten van groenmaatregelen op een specifieke 'hittespot'?
4. Welke hittemaatregelen zijn toepasbaar in 4 typerende wijktypologieën voor Haarlem?



Figuur 3: De vier onderzoeksvragen uitgebeeld met iconen en afbeeldingen.

¹ Waar mogelijk wordt water hierin meegenomen

Deel 1 | Maatschappelijke groenbaten voor de stad

Het doel van deze deelstudie is de maatschappelijke baten van groen voor de stad inzichtelijk te maken. Daarvoor hebben we gebruik gemaakt van de TEEBStad-tool.

De berekening van baten is gedaan voor de huidige situatie en twee mogelijke groenontwikkelingen. De scenario's voor groenontwikkeling zijn gebaseerd op een scenario over 5 jaar en over 30 jaar. De baten zijn omgerekend naar jaarlijkse baten en vergeleken met jaarlijkse kosten voor aanleg beheer en onderhoud van het groen.

Scenario's voor vergroening

Het bestaande groen is bepaald aan de hand van de gemeentelijke groen- en bomenkaarten. Particulier groen is niet meegenomen in het berekenen van baten. Bomen zijn meegenomen door het bladoppervlak te bepalen in m². Hierin is een gemiddelde kroondichtheid en radius aangenomen.

Het eerste scenario 'ontwikkelpannen' heeft als uitgangspunt de groenambitie voor de komende 5 jaar op basis van drie beleidsplannen van de gemeente:

1. Ontwikkellocaties (met groene daken)
2. Sleutelprojecten
3. Hoofdbomenstructuur aanvullen

Deze plannen kunnen samen leiden tot 7,5 procent extra groen; een vergroening van 1,4 procentpunt van het gemeenteoppervlak, zie Figuur 4.

Het tweede scenario 'ambitueus' bouwt voort op scenario 1 met een verlenging van de tijdshorizon naar 30 jaar en extra vergroening van daken. Dit scenario leidt tot een vergroening van ruim 10 procentpunt van het gemeenteoppervlak.

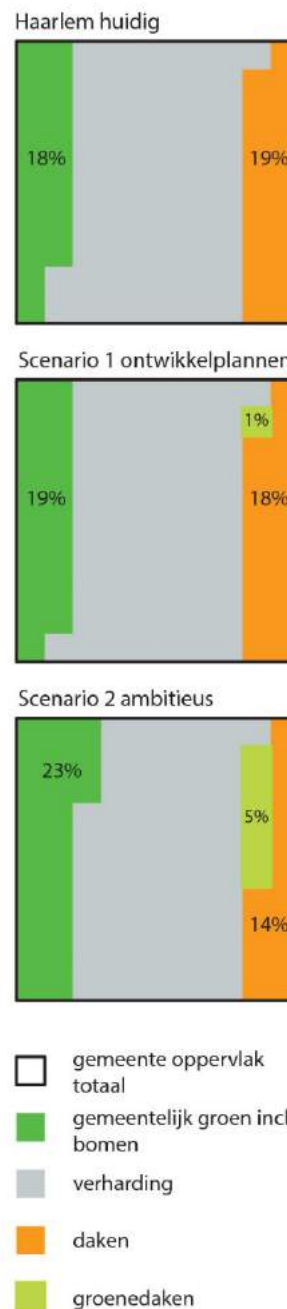
1. Groen uitbreiden met 30% (bomen en plantsoenoppervlak)
2. Dakgroen op 25% van de gebouwen

De 30% meer bomen en plantsoenoppervlak geeft een vergroening van het gemeente oppervlak van 18% naar 23% (vijf procentpunt extra). Met de groene daken wordt het gemeenteoppervlak met nog eens vijf procentpunt groener.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de scenario's, zie bijlage 1.

Wanneer we kijken naar het groenoppervlak per inwoner zien we dat dit met het eerste scenario een geringe verbetering geeft en het tweede ambitieuze al richting streefwaarden komt:

- huidige situatie: 24 m²/inwoner en 50 m²/woning
- Scenario 1 ontwikkelplannen: 24 m²/inwoner en 53 m²/woning
- Scenario 2 ambitueus: 31 m²/inwoner en 65 m²/woning



Figuur 4: Twee scenario's voor vergroening van Haarlem

Het tweede scenario komt dichtbij het gemiddelde van 35 m²/inwoner voor alle gemeenten in Nederland en halverwege de streefwaarde in de Nota Ruimte van 75 m²/woning.²

Groenbaten

De baten zijn bepaald met de TEEBstad-tool³ versie 2018, waarbij een aangepaste rekenslag is gemaakt zoals beschreven in ons onderzoeksrapport *'De klimaatbestendige wijk: onderzoek voor de praktijk'*. Hiermee is de batenschatting beter toegespitst op de situatie in Haarlem.

Baten van vergroening per thema in TEEBstad:

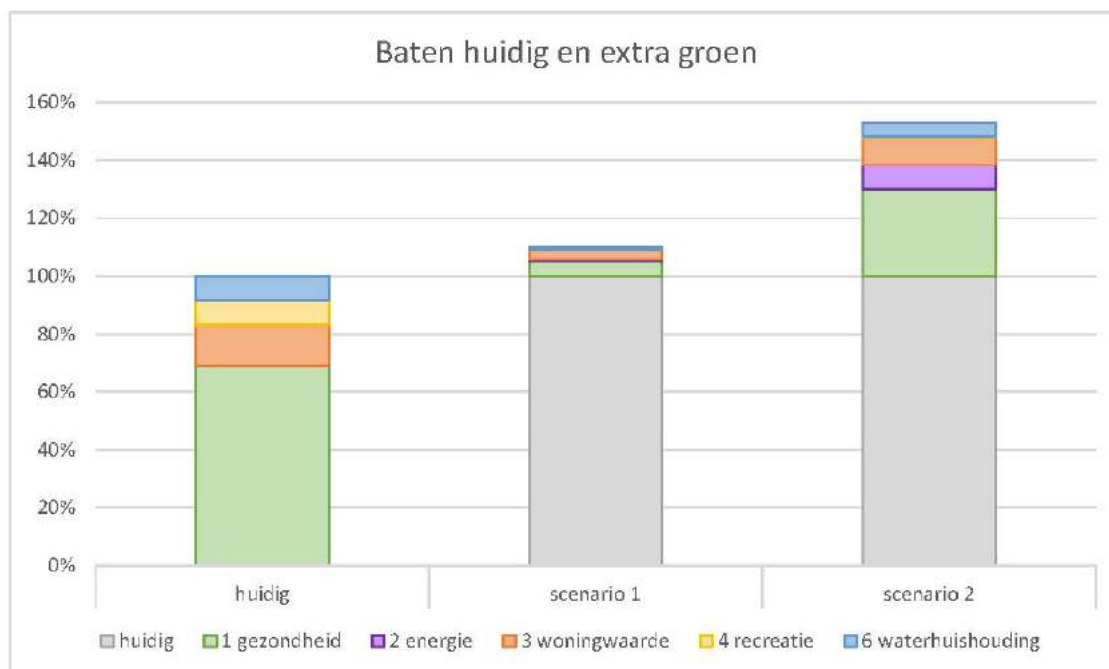
1. Gezondheid
2. Energie
3. Woningwaarde
4. Recreatie
5. *Sociale cohesie*
6. Waterhuishouding

Het vijfde thema in TEEBstad (sociale cohesie) wordt in deze studie niet als baat meegenomen omdat dit thema volgens ons onderzoek nog niet voldoende kan worden onderbouwd. In bijlage 2 zijn de thema's nader toegelicht en zijn de gebruikte kengetallen opgenomen.

De jaarlijkse baten van extra groen in Haarlem worden in onderstaande grafiek (Figuur 4) getoond per thema. We kijken eerst naar de verhoudingen tussen de verschillende baten om te laten zien hoe de kosten (volgende paragraaf in euro's) zijn opgebouwd. De jaarlijkse groenbaten voor de huidige situatie hebben we op 100% gezet. De grootste batenpost is gezondheid met bijna 70%. De grootste baat binnen gezondheid komt van de post arbeidsproductiviteit.

² In de Nota Ruimte wordt niet al het groen meegenomen, zo ontbreken bomen, dak- en gevelgroen. Steden met veel bomen, maar minder plantsoen en parken komen lager uit.

³ www.teebstad.nl



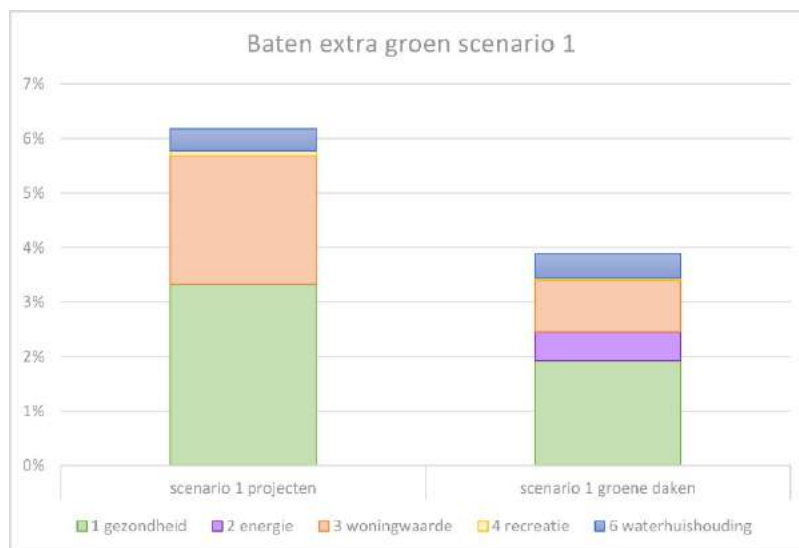
Figuur 4: De jaarlijkse baten van het huidige groenareaal en van de twee scenario's in procenten per thema, de huidige baten zijn op 100% gezet.

Gezondheid wordt gevolgd door woningwaarde, recreatie en waterbaten. Energiebaten in de vergroeningsscenario's zijn het gevolg van meer isolatie door groene daken. Hierin worden groene daken bedoeld met een dikke vegetatie en substraat laag, zogenaamde intensieve groendaken. De woningwaarde heeft een jaarlijkse baat voor de gemeente in de vorm van WOZ en OZB belasting, de eenmalige waardevermindering van de woning voor de woning eigenaar is niet meegenomen. Recreatie baten zijn gebaseerd op huidige aantal bezoekers van musea, bioscopen en theaters uit de Binnenstadsmonitor Haarlem⁴. Dit cijfer is echter niet volledig: er ontbreken hierin bezoekers aan winkels, horeca en evenementen. En de onderbouwing van het aantal extra bezoekers dat groen kan genereren is nog onvoldoende.

Voor het eerste scenario is op verzoek van de gemeente ook een opdeling gemaakt in Figuur 5 tussen de projecten (ontwikkellocaties, sleutel projecten en hoofdbomenstructuur) zonder groene daken en voor het scenario waarbij de daken van de nieuwbouw op de ontwikkellocaties een extensief vegetatiedak zullen krijgen. Deze opdeling wordt alleen hier gemaakt, het eerste scenario bestaat dus totaal uit de projecten waarbij de potentie van groene daken is meegenomen.

Zoals in de grafiek in Figuur 5 te zien is hebben de projecten uit scenario 1 samen meer baten dan de groene daken uit scenario 1. Evengoed geven de groene daken substantiële maatschappelijke baten. Deze zijn belangrijk omdat deze vorm van groen kansen biedt in het stadscentrum waar vergroening op het maaiveld moeilijk is te realiseren. In dit scenario hebben we alleen op de nieuwbouw een groen dak gerealiseerd. Echter, ook bestaande platte en schuine daken kunnen geschikt zijn.

⁴ https://www.haarlem.nl/bestandsopslag/bestanden/Feiten_en_cijfers/Monitors/binnenstadsmonitor.pdf



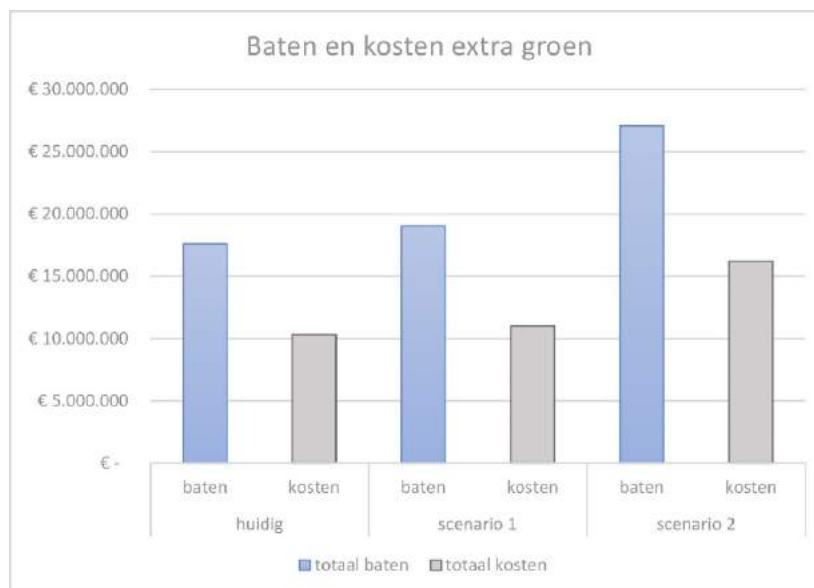
Figuur 5: De jaarlijkse baten van het eerste scenario in procenten per thema, de huidige baten zijn op 100% gezet. De baten van de projecten (ontwikkellocaties, sleutelprojecten en hoofdbomenstructuur) en de groene daken gesplitst.

Op het thema energie scoren groene daken vanwege de effecten op het binnenklimaat. Het effect van groene daken op de gezondheid, woningwaarde en recreatie is nog niet wetenschappelijk onderzocht. De resultaten die hier gepresenteerd worden zijn daarom nog onzeker. Wij hebben deze onzekerheid ondervangen door de baten van dakgroen voor deze thema's te halveren t.o.v. de baten van groen op het maaiveld.

Jaarlijkse baten en kosten

De baten van groen zijn uitgerekend in jaarlijkse baten. Om de groenbaten in verhouding te kunnen zien is er ook een inschatting van de groenkosten gemaakt.

De grafiek in Figuur 6 hieronder toont de kosten en baten van huidig groen en van de twee scenario's met meer groen. Hier is te zien dat meer groen meer baten oplevert en dat groen bijna twee keer zoveel opbrengt dan het kost.



Figuur 6: De jaarlijkse baten en kosten van het groen in de huidige situatie en voor twee scenario's met extra groen.

Een groene inrichting van de stad levert de stad en bewoners in alle scenario's baten op. Van ruim 17,5 miljoen in de huidige situatie naar 19 miljoen in scenario 1 en 27 miljoen in scenario 2.

Bij de vergelijking van groenbaten en groenkosten zijn de kosten gemiddeld 60% van de baten. Deze verhouding verschuift naarmate er meer baten van groen kunnen worden uitgedrukt in euro's. Ook is deze afhankelijk van de meegenomen kosten zoals personeelskosten, rentekosten, overhead, etc.

Er is duidelijk verschil in de verhouding kosten/baten tussen groen op het maaiveld en op daken, waarbij groene daken een minder gunstige verhouding hebben.

Conclusie

Een groene inrichting van de stad is een mooie strategie om vele voordelen voor de stad tegelijk te realiseren. Deze eerste deelstudie is gericht op de verschillende maatschappelijke baten die in euro's kunnen worden uitgedrukt. In de volgende studies verschuift de focus naar de baten van groen ter voorkoming van hittestress.

Het groen dat de stad nu al rijk is bestaat uit plantsoen en stadsbomen en is samen goed voor 18% van het gemeenteoppervlak. In het eerste scenario met ontwikkelplannen van de gemeente voor de komende 5 jaar stijgt het groen aandeel naar 19%. Behalve het vergroenen van het maaiveld kan de gemeente ook het dakoppervlak meenemen waar minder concurrerende functies een rol spelen. Bij het vergroenen van 5% van de daken komt het totaal groenareaal van de gemeente op 20%. Wanneer de gemeente doorgaat met vergroenen kan er na 30 jaar een aanzienlijke hoeveelheid groen worden gerealiseerd. In het tweede ambitieuze scenario komt het groenareaal van de gemeente totaal op 28%.

De baten van het groen zijn vooral van belang voor de gezondheid; goed voor ruim de helft van alle baten. Ook woningwaarde is een belangrijke baat omdat deze via belastingen direct aan de gemeente toekomt. Waterhuishouding is een significante baat welke nog hoger uit zal vallen wanneer het groen ook specifiek voor waterberging of infiltratie wordt ingezet. Energiebaten zijn in deze studie alleen van toepassing voor

scenario's met groene daken. Tenslotte zou recreatie een grotere baat worden wanneer meer bekend is over het aantal bezoekers aan winkels, horeca en evenementen.

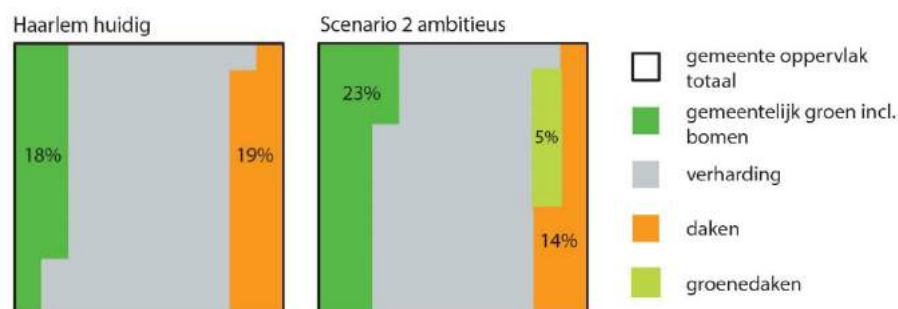
De kosten van de aanleg en het beheer van groen zijn zo'n 40% lager dan de baten. Behalve de vijf baten die in deze studie zijn berekend in euro's zijn er ook andere baten van groen die van groot belang zijn voor de stad. Zoals het vergroten van de biodiversiteit, een habitat voor fauna en ook de verkoelende effecten van groen tijdens hete dagen. De effecten van groen op de temperaturen in de stad komen in Deel 2 aan bod.

Groen levert meer op dan het kost

Deel 2 | Verkoelend effect vergroening in de stad

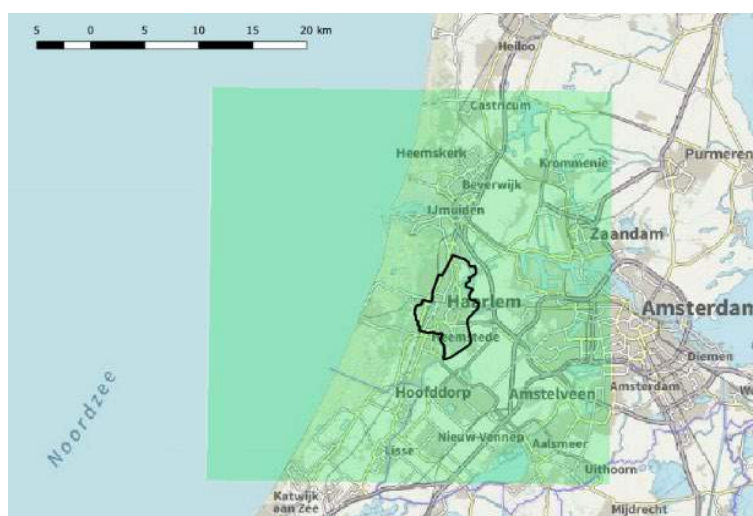
In Deel 1 van dit rapport zijn de maatschappelijke baten berekend. Hierin zijn de baten van verkoeling door groen nog niet meegenomen. Daarom gaan we in dit deel in op de vraag: ‘Wat zijn de hittebaten van meer groen voor heel Haarlem in graden verkoeling en in euro’s?’ Allereerst is de verkoeling door vergroening voor de hele stad berekend met een regionaal weermodel. Met resultaten voor de dag en nacht temperatuur. Vervolgens geeft dit deel inzicht in de maatschappelijke baten als gevolg van verkoeling zover dat mogelijk is.

Met het regionale weermodel RAMS-TEB is de huidige situatie doorgerekend en het tweede ambitieuze groenscenario zoals te zien in Figuur 7. Door deze te vergelijken met elkaar kan er een mate van verkoeling worden bepaald.



Figuur 7: Het percentage groen, verharding, daken en groene daken in Haarlem voor huidige situatie (links) en in een ambitieus groenscenario (rechts).

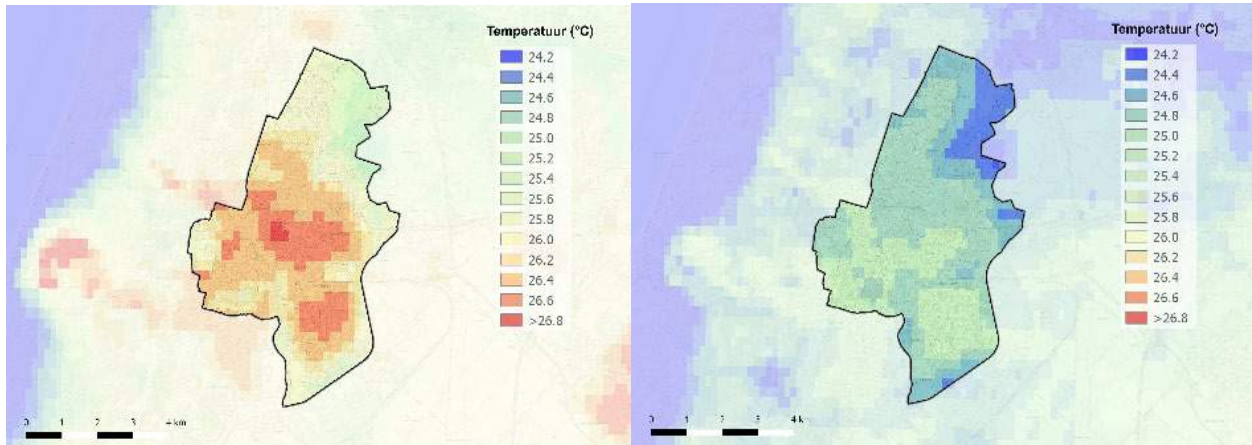
Om een realistische situatie door te rekenen is de hittegolf van de zomer van 2006 als uitgangspunt genomen. Dit was een extreme hittegolf welke in 2050 als normaal kan worden beschouwd. Voor de regio Haarlem werkt het model met een raster met mazen van 250m x 250m. Het gebied met dit fijnmazige raster wordt getoond in Figuur 8. Daarbuiten wordt het raster geleidelijk minder fijnmazig. Een uitgebreide beschrijving van de modelberekeningen is te vinden in Bijlage 3.1.



Figuur 8. Indicatie (lichtgroen) van het gebied waar met een verfijnd raster van 250m x 250m gerekend is met het model RAMS-TEB. De grenzen van Haarlem zijn aangegeven door middel van de zwarte lijn.

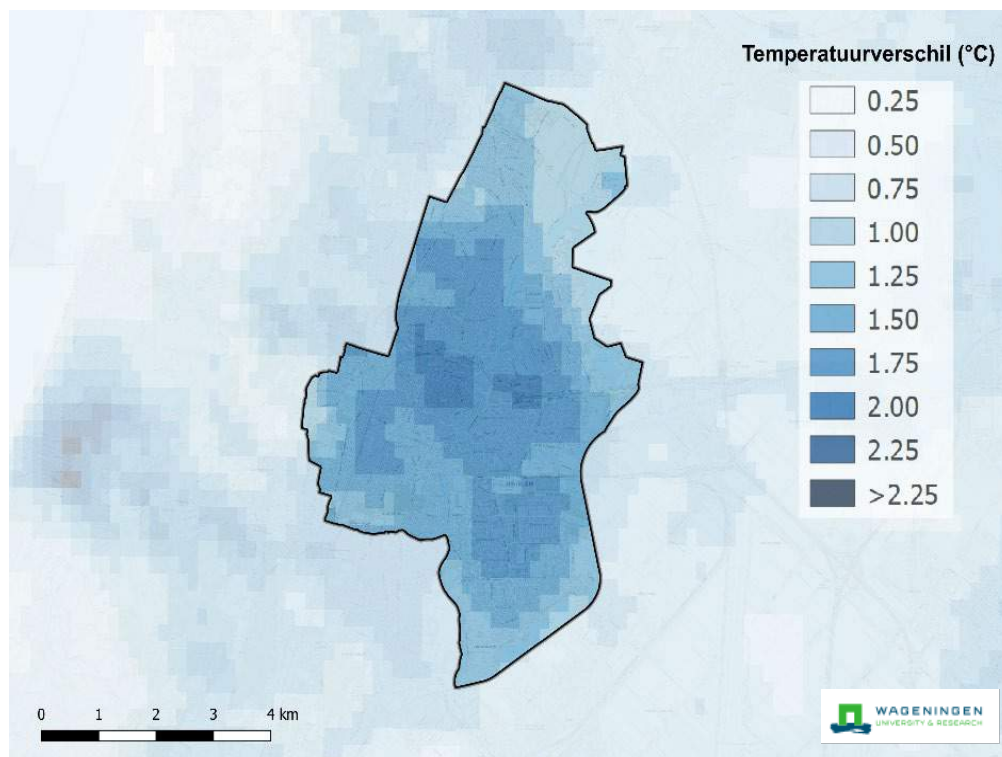
Luchttemperatuur en verkoelend effect dag

De berekende luchttemperatuur wordt gemiddeld over alle dagen in de doorgerekende periode. Figuur 9 toont de temperatuur op loopniveau, om drie uur in de middag. Dit is normaal gesproken het tijdstip waarop in de zomer de maximumtemperatuur bereikt is. Zonder vergroening zien we temperaturen van gemiddeld tussen 25 en bijna 27°C, met vergroening tussen 24 en ongeveer 25,5 °C. Afkoeling door vergroening vindt plaats in de hele stad. Delen van het centrum zijn weliswaar nog steeds aan de warme kant, maar minder herkenbaar als echte hotspot.



Figuur 9. Door RAMS-TEB berekende gemiddelde temperatuur op loopniveau om 15:00 uur tijdens de periode van 2006 zonder vergroening situatie (links) en na toepassing van het vergroeningsscenario (rechts). Haarlem bevindt zich in het door de zwarte grenzen gemarkeerde gebied.

Dit is ook terug te zien in Figuur 10, waarin de temperatuurverschillen tussen de huidige situatie en het scenario met vergroening zijn weergegeven. Het centrum springt er enigszins uit als een gebied met relatief grote temperatuurverschillen door de vergroening, waarschijnlijk mede dankzij de intensieve en dus goed verdampende groene daken. In het stedelijk gebied geeft het extra groen een verkoeling van zo'n 2 °C. Gemiddeld binnen de gemeentegrenzen van Haarlem wordt het 1,35 °C koeler. Dit lijkt weinig, maar de effecten op met name de arbeidsproductiviteit zijn aanzienlijk (zie Bijlage 4). Dit gemiddelde komt lager uit dan in de stad omdat er ook weilanden aan de randen van de gemeente liggen.



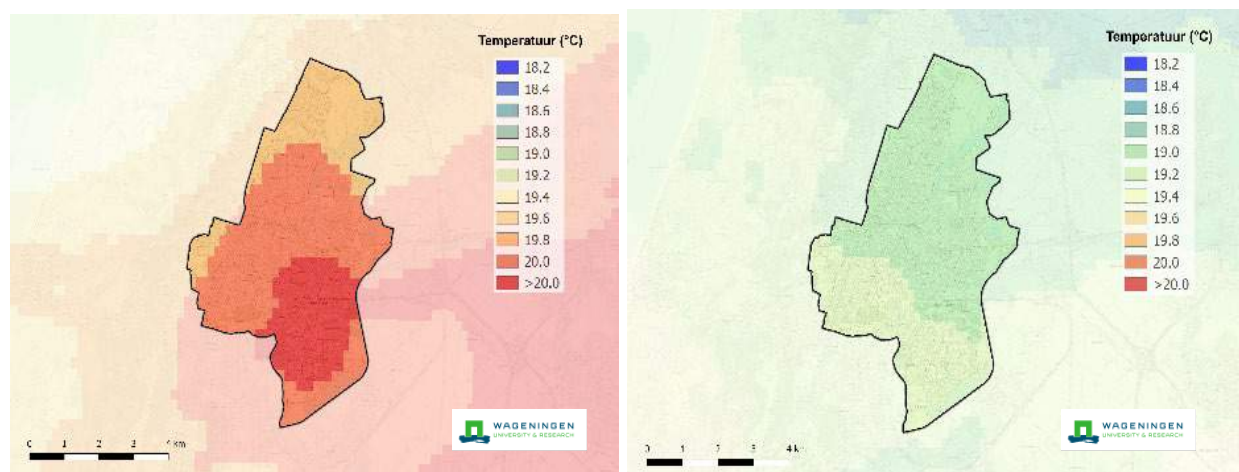
Figuur 10. Berekend verschil in lucht-temperatuur, op loopniveau overdag om 15:00 uur, tussen de huidige situatie en na toepassing van het vergroeningsscenario, gemiddeld over 15-25 juli 2006.

De hier getoonde temperaturen en hun verschillen zijn gemiddeld over alle dagen van de doorgerekende periode. Dit vlakt de mogelijke temperatuurverschillen binnen de stad enigszins uit, maar door de middeling ontstaat waarschijnlijk over het geheel genomen wel een eerlijker beeld over het geheel. Om toch een indruk voor een individuele dag te geven zijn in bijlage 3.2 ook de resultaten voor de dag met de hoogste maximumtemperatuur uit de doorgerekende periode opgenomen (19 juli). Op deze dag liep de luchttemperatuur op tot boven 34 °C en op sommige plekken berekent het model een verkoeling van rond 3,5°C door de vergroening.

De uitkomsten van het model zijn in luchttemperatuur. Voor de gevoelstemperatuur overdag is echter het effect van schaduw van grote invloed, daarom geven we in bijlage 3.4 een inschatting van het schaduw effect. De gevoelstemperatuur heeft een grote ruimtelijke variatie en is dus zeer plaatselijk. Op het moment dat je in de schaduw van een boom staat is de ervaring 5 °C koeler. Hierin is 1,6 °C afkomstig van verkoeling door verdamping en 3,4 °C komt door schaduwwerking.

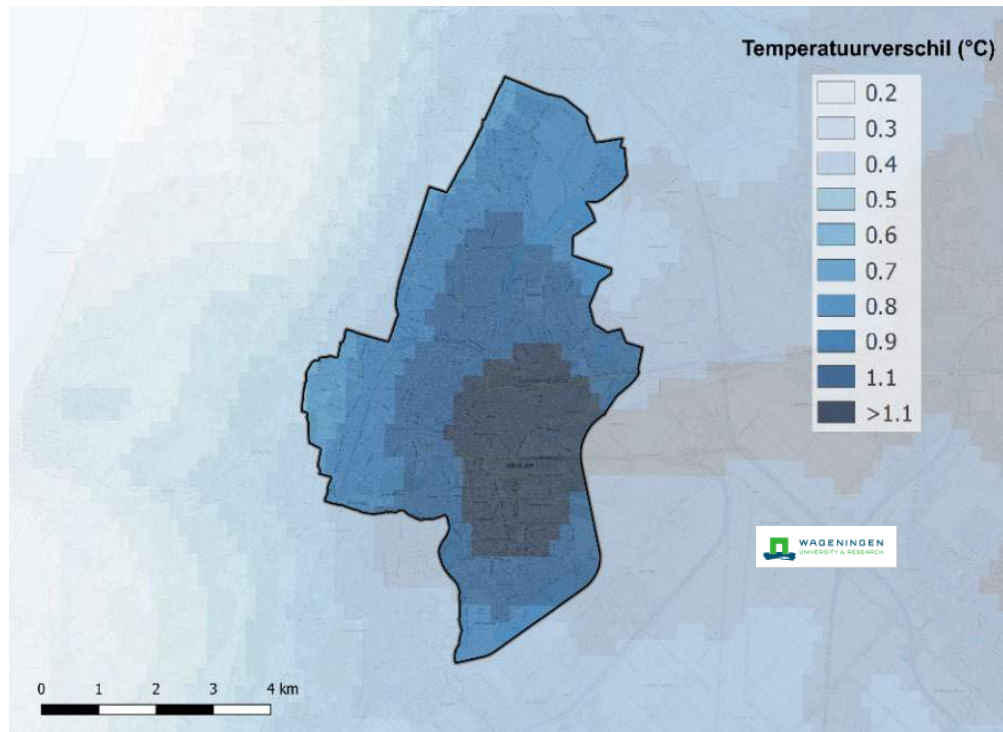
Luchttemperatuur en verkoelend effect 's nacht

Voor de nachtelijke temperaturen is het effect van vergroening anders dan overdag. Figuur 11 toont de door RAMS-TEB berekende luchttemperatuur gemiddeld over alle dagen in de doorgerekende periode, op loopniveau, om 05:00 uur in de nacht. Dit is normaal gesproken het tijdstip waarop in de zomer de minimumtemperatuur ongeveer bereikt wordt. De gemiddelde temperatuur bedraagt 19,5-20°C zonder vergroening en tussen 19 en 19,5 °C met vergroening. Het gebied ten zuidoosten van het centrum lijkt iets warmer te zijn dan andere stadsdelen. Maar de verschillen zijn klein: binnen de stad blijven de gemiddelde verschillen beperkt tot maximaal 0,5°C. De verschillen zijn kleiner dan overdag omdat de directe invloed van zonnestraling ontbreekt. De zonnestraling heeft een belangrijke invloed op de energiebalans van de stadsdelen en verschillen in wijkenmerken worden daardoor vergroot.



Figuur 11. Door RAMS-TEB berekende gemiddelde luchttemperatuur op loopniveau om 5:00 uur tijdens de hittegolf periode in huidige situatie (links) en na toepassing van het vergroeningsscenario (rechts). Haarlem bevindt zich in het door de zwarte grenzen gemarkeerde gebied.

Figuur 12 toont het temperatuurverschil tussen de huidige situatie en na vergroening. Het laat zien dat ook 's nachts afkoeling door vergroening plaatsvindt in de hele stad. De schaduwwerking en verdamping van vegetatie voorkomt opslag van warmte die anders 's nachts zou zijn vrijgekomen. Op de plekken die nu wat warmer zijn volgens het model is de afkoeling iets groter, tot net boven de 1°C. De totale verkoeling bedraagt gemiddeld over heel Haarlem en gemiddeld over de hele doorgerekende periode 0,92°C. Ook nu kan dit op het eerste gezicht kleine verschil belangrijk zijn omdat de nachttemperatuur een grote invloed heeft op de slaapkwaliteit en dus een belangrijke factor is tijdens hete periodes (Obradovich et al., 2017). Bovendien kan het effect tijdens individuele nachten groter zijn. Een voorbeeld voor de warmste nacht in de doorgerekende periode is gegeven in bijlage 3.3. Tijdens deze nacht bedroeg volgens de modelberekeningen het verkoelend effect van de vergroening in het zuidwesten van Haarlem ongeveer 1,5°C.



Figuur 12. Berekend verschil in luchttemperatuur, op loopniveau in de nacht om 5 u, tussen de huidige situatie en na toepassing van het vergroeningsscenario, gemiddeld over 15-25 juli 2006.

Water voor de verkoelende werking van groen

De verkoelende werking van groen is gebaseerd op twee mechanismen. In de eerste plaats voorkomt verdamping een deel van de opwarming van de lucht en van materialen in de stad. Het effect hiervan is merkbaar als een daling van de luchttemperatuur, vooral uitgesmeerd en gemengd over een wat grotere schaal (verdampingseffecten van een enkele boom of een enkel groen dak zijn nauwelijks meetbaar of voelbaar op loopniveau). Dit effect geldt ook voor de nacht: de warmte die overdag niet is opgeslagen hoeft in de nacht niet te worden afgevoerd via de lucht. Het resultaat van dit mechanisme zien we terug in de berekeningen met het model en de temperatuurdaling na vergroening. Hierin speelt alle vegetatie een rol, inclusief de verdampende vegetatie op de intensieve groene daken (dus geen sedum). Voorwaarde is natuurlijk dat voldoende water beschikbaar is voor verdamping. Bij langdurige droogte, zoals die tijdens de zomer van 2018 (juni-juli) is nog maar de vraag of dat het geval is.

Verdampingsmetingen aan gematig groene delen van Arnhem en in Rotterdam wijzen op een typische stedelijke verdamping in de buurt van 0,6 liter per vierkante meter op een droge dag in een niet al te droge zomer (Jacobs et al., 2015). Als we deze schatting toepassen op de huidige situatie van Haarlem zou dit omgerekend naar de oppervlakte van Haarlem (32 km²) een watervraag van 19,2 duizend kubieke meter per dag betekenen. Ter vergelijking: momenteel is het consumptief waterverbruik per persoon ongeveer 120 liter per dag (Vitens, 2018); voor 160000 inwoners komt dit eveneens neer op 19,2 duizend kubieke meter per dag. Tijdens een droge periode verbruikt het groen daarmee evenveel water per dag als er nu aan drinkwater opgaat. Een vervolgstudie zou verder in kunnen gaan op de vraag hoeveel groen -na een wat langere droge periode- nog bijdraagt aan verdampingskoeling en op hieraan gerelateerd kwesties, zoals de vraag hoeveel water nodig is om een (bijna) optimale koeling in stand te houden.

Maatschappelijke baten van verkoeling door groen

Om inzicht te krijgen in de baten van de vergroening hebben we gekozen voor een vergelijkbare aanpak als in een recente NKWK (Nationaal Kennis- en innovatieplatform Water en Klimaat) studie waarin een spreadsheet is gebruikt die effecten doorrekent op grond van relaties tussen hitte en respectievelijk:

- arbeidsproductiviteit;
- sterfte en
- ziekenhuisopnames.

Dit onderzoek sluit aan bij de eerder door WENR (Alterra) ontwikkelde CliCo (Climate Costs) tool door Van Bijsterveldt en Scherpenisse (2013). Ook heeft de gemeente Haarlem zelf gebruik gemaakt van deze CliCo-methode voor het berekenen van de kosten van klimaatschade wanneer men niet zou handelen. In het kader van het NKWK project is de CliCo-methode voor bovengenoemde onderwerpen aangepast en toepasbaar gemaakt voor de KNMI'14 scenario's. Voor Haarlem zijn daarbij weergegevens van het KNMI-station Schiphol gebruikt voor het huidige klimaat en het meest extreme (W_H) klimaatscenario van het KNMI, rond het jaar 2050. De CliCo tool en de NKWK methodiek leiden in eerste instantie tot landelijke cijfers, die vervolgens naar Haarlem worden omgerekend op basis van de verhouding tussen het inwoneraantal van Haarlem en het landelijke inwoneraantal in 2017. Daarnaast is rekening gehouden met het bruto Haarlems product per inwoner.

In feite berekent de tool de kosten (klimaatschade) voor het geval er geen enkele adaptatiemaatregel wordt genomen. De vraag waar het om draait is: 'wat kost het als we helemaal niets doen tegen hitte?'. Daarbij is hier vooralsnog geen inflatiecorrectie toegepast. Uitkomsten voor het toekomstig klimaat zijn daarom representatief voor het hedendaagse prijsniveau.

De gemiddelde verkoeling overdag van 1,35°C die is berekend door het regionale weermodel is de input voor de aangepaste CliCo tool.

Een evaluatie van de kosten is gedaan voor dagen met een maximumtemperatuur hoger dan 25°C (de zogenaamde zomerse met +25°C en tropische dagen met + 30°C). Voor de overige dagen kunnen er baten optreden als gevolg van warmte, bijvoorbeeld minder sterfte door kou, maar het idee is om inzicht te krijgen in de kosten die aan hitte verbonden kunnen zijn, dan wel kosten als gevolg van warmte die mogelijk vermeden kunnen worden. In het huidige klimaat worden gemiddeld 20 zomerse en tropische dagen per jaar geteld bij Schiphol, waarvan gemiddeld tussen 2 en 3 tropisch. Volgens het W_H -scenario kunnen dat er rond 2050 ongeveer 36 worden, waarvan bijna 9 tropisch. De hier gebruikte daling van de temperatuur door vergroening betekent een vermindering van het aantal zomerse en tropische dagen in het huidige klimaat naar ongeveer 13, waarvan 1 tropisch, en naar 25 à 26 in de toekomst, waarvan er ongeveer 5 tropisch zullen verlopen.⁵ De resultaten zijn samengevat in Tabel 1 en worden hierna besproken.

⁵ Deze schatting houdt maar ten dele rekening met het hitte-eiland en gaat uit van ongeveer gelijke temperaturen overdag bij Schiphol en in Haarlem. Dat laatste komt overeen met de theorie rond de vorming van het hitte-eiland, volgens welke het hitte-eiland overdag minimaal is. Verder gaat de schatting uit van een effect dat voor alle dagen gelijk is. Dit is zeer waarschijnlijk niet het geval (zie paragraaf 3.1 en 3.2), maar we zijn hier op zoek naar een indicatie op grond van een herberekende weersituatie die zich naar alle waarschijnlijkheid vaker zal gaan voordoen.

Extra sterfte

Volgens de hier gehanteerde methodiek blijkt het inwoneraantal van Haarlem erg klein om een effect van hitte op sterfte te geven. Een landelijke hittegolf waar we een indicatie van het aantal sterfgevallen van hebben is die van augustus 2003. In dat jaar heeft de hitte volgens schattingen van het Centraal Bureau voor de Statistiek en het Nederlands Interdisciplinair Demografisch Instituut aan 1400 tot 2200 Nederlanders het leven gekost (Garssen et al., 2005). Voor Haarlem zou dit neerkomen op ongeveer 1 à 2 extra sterftegevallen door hitte in dat jaar.

Tabel 1: Indicatoren voor schade door hitte bij verschillende scenario's: huidig klimaat met en zonder vergroening of W_H klimaat met en zonder vergroening. Gemiddelden zijn berekend over een periode van 30 Jaar.

Indicator (gemiddeld per jaar)	Scenario			
	Huidig klimaat		W _H klimaat scenario	
	Huidig groen	Ambitieuze groen	Huidig groen	Ambitieuze groen
Aantal zomerse dagen	18	10	27	17
Aantal tropische dagen	2,4	1,2	9	5,2
Extra sterfte op zomerse en tropische dagen	-0,2	-0,4	3,1	1,4
Extra ziekenhuisopnames op zomerse en tropische dagen	23	13	57	37
Schadekosten door extra ziekenhuisopnames	113	65	283	183
Dagen met verminderde arbeidsproductiviteit (WBGT)	1,6	0,2	9,8	5,1
Schadekosten door verminderde arbeidsproductiviteit (WBGT)	0,6	0,1	4,1	2
Dagen met verminderde arbeidsproductiviteit (ET)	3,2	1,2	9,8	7
Schadekosten door verminderde arbeidsproductiviteit (ET)	1,2	0,5	6,9	3,6

Na transformatie naar het W_H-scenario betekent het effect van klimaatverandering gemiddeld drie extra sterfgevallen per jaar op dagen met een maximumtemperatuur hoger dan 25°C met huidig groen. Het vergroeningsscenario reduceert dit tot ongeveer 1 sterftegeval per jaar. Procentueel blijkt dat de vergroening het aantal sterfte gevallen met 30% terug brengt.

Ziekenhuisopnames

Het berekende aantal ziekenhuisopnames dat gerelateerd kan worden aan hitte zou volgens de huidige methodiek ongeveer 23 per jaar bedragen in het huidige klimaat. De hiermee gepaard gaande kosten komen uit op ruim 110 k€ per jaar bij het huidige prijspeil. Door klimaatverandering stijgt het aantal hitte gerelateerde ziekenhuisopnames naar 57 per jaar, overeenkomend met een kostenpost van 280 k€ per jaar. Het vergroeningsscenario zou het aantal ziekenhuisopnames reduceren tot 13 per jaar in het huidige klimaat en 37 in het toekomstige klimaat en de daarbij horende kosten tot 65 k€, respectievelijk 180 k€ per jaar, ofwel een besparing van 100 k€ per jaar.

In bovenstaande berekeningen is geen rekening gehouden met eventuele bevolkingsgroei of verdere verstedelijking, conform de CliCo methode (Van Bijsterveldt en Scherpenisse, 2013).

Arbeidsproductiviteit

In het huidige klimaat is de arbeidsproductiviteit volgens de hier gebruikte methode op gemiddeld 2-3 dagen per jaar suboptimaal. Dagen met een daling van 12% komen niet voor. In een toekomstig klimaat zonder vergroening kan dit oplopen tot gemiddeld 10-12 dagen per jaar, afhankelijk van de gekozen indicator, waarvan mogelijk 2 dagen per jaar in de categorie met een daling van 12% valt. In specifieke jaren kan het aantal dagen flink oplopen. Zo varieert het aantal suboptimale dagen per jaar in de toekomst volgens het WH-scenario tussen 2 en 27. De effecten lijken klein maar betekenen toch een aanzienlijke

schadepost, gemiddeld tussen 0,6 en 1,2 M€ per jaar in het huidige klimaat en tussen 4,1 en 6,9 M€ per jaar in een toekomstig klimaat zonder vergroening. Het vergroeningsscenario zou in een huidig klimaat gemiddeld 0,5 à 0,7 M€ per jaar van deze schade kunnen vermijden, en tussen 2,1 en 3,2 M€ per jaar in een toekomstig WH klimaat.

Conclusie

Het ambitieuze vergroeningsscenario dat hier is doorgerekend voor de hittegolf zoals die van juli 2006 leidt volgens de modelberekeningen tot een gemiddelde daling van de maximumtemperatuur van 1,35 °C en van 1,14 °C van de minimumtemperatuur binnen de gemeentegrenzen van Haarlem. Wanneer je alleen naar het stedelijk gebied kijkt, geeft de vergroening zo'n 2 graden verkoeling van de luchttemperatuur overdag. Dit lijkt weinig, maar met de aanname dat deze verkoeling representatief is voor alle warme dagen zouden de baten van een dergelijke verkoeling in de toekomst – rond het jaar 2050 – kunnen oplopen tot om en nabij de 3 miljoen Euro per jaar. Dat is een stijging van 10% van de berekende groenbaten in deel 1.

Deze baten, of vermeden kosten, zijn volgens de hier gebruikte systematiek vooral te danken aan een iets hogere arbeidsproductiviteit. De onzekerheid is echter aanzienlijk, zoals onder andere inzichtelijk wordt gemaakt door twee indicatoren voor hittestress (WBGT en ET) naast elkaar te gebruiken. Bovendien zijn de gebruikte drempelwaardes en de daarbij horende daling in arbeidsproductiviteit onzeker. Deze daling is volgens Hübler et al. (2008) echter conservatief ingeschat, dus aan de lage kant ten opzichte van andere schattingen.

In de berekeningen lijkt het effect van de nabijheid van de zee erg beperkt. Dit komt zeer waarschijnlijk doordat de wind tijdens warme dagen overwegend oostelijk is en de verkoeling vanaf de zee beperkt blijft tot een zeer smalle kuststrook. Een vervolgstudie zou meer kunnen inzoomen op locaties die nu op deze manier verkoeling krijgen. Op zulke plekken is het raadzaam tijdens planning en stadsontwerp rekening te houden met het (niet) blokkeren van de luchtstroming door dichte bebouwing of aanplant van dichte groenstroken. Ook op plekken zonder invloed van de zee kan ventilatie van belang zijn en hier dient rekening mee gehouden worden bij aanleg van beplanting (Cortese et al., 2017).

Is de verkoeling die met het ambitieuze groen scenario wordt voorgesteld voldoende? Wanneer we uitgaan van het meest extreme W_H scenario met een stijging van de maximumtemperaturen van 2,3 graden is 2 graden net niet voldoende. Terwijl voor het gematigde W_L scenario met een stijging 1,5 graden het verkoelende effect van de vergroening ruim voldoende is. Bij een gematigde opwarming in 2050 kunnen we stellen dat vergroening van tien procent van het gemeente oppervlak voldoende is om de temperatuurstijging die optreedt door klimaatverandering in 2050 terug te brengen naar het niveau van 1980-2010.

Het effect op de sterfte is beperkt, maar dat heeft mede te maken met het inwoneraantal van Haarlem, waardoor extra sterfte als het ware minder opvalt. Verder speelt een rol dat we weliswaar naar dagen kijken met een maximumtemperatuur van 25°C of hoger, maar dat in de berekeningen de daggemiddelde temperatuur moet worden gebruikt om de oversterfte te berekenen. Zomerse warme dagen hebben relatief vaak een gemiddelde temperatuur die lager uitvalt omdat het 's nacht behoorlijk afkoelt. Om die reden blijft het aantal sterfgevallen op zomerse (en tropische) dagen toch vaak beperkt. Des te lager de minimumtemperatuur, des te gunstiger dit effect op warme dagen. Dit is een van de redenen dat een daling van de nachttemperatuur, al is het relatief klein (hier met 1°C), toch betekenisvol kan zijn.

Het effect van vergroening op de kosten voor ziekenhuisopnames geeft een besparing van zo'n 100 k€ per jaar in 2050. Voor arbeidsproductiviteit ligt dat een stuk hoger, namelijk tussen de 2,1 en 3,2 M€ per jaar.

Op schaal van de stad wordt het effect van groen uitgesmeerd over een groot oppervlak en vallen grote lokale variaties weg. Dit lokale effect van groen komt in deze studie in Deel 3 aan bod.

Deel 3 | Verkoeling met groen in een 'hittespot'

In deel 1 en 2 zijn de effecten van groen op schaal van de stad bestudeerd. Hittestress in de stad is niet overal gelijk, maar varieert van straat tot straat (en van buurt tot buurt). In bepaalde gebieden zijn maatregelen tegen hittestress van groter belang. Bijvoorbeeld op een plek die veel opwarmt of een locatie waar relatief veel mensen wonen die kwetsbaar zijn voor hitte. In dit derde deel daarom de vraag: 'Wat is het verkoelingseffect van groenmaatregelen op een 'hittespot' locatie? En wat zijn vervolgens de baten van het toegevoegde groen in euro's?'



Figuur 14: foto van De Clerqstraat Haarlem.



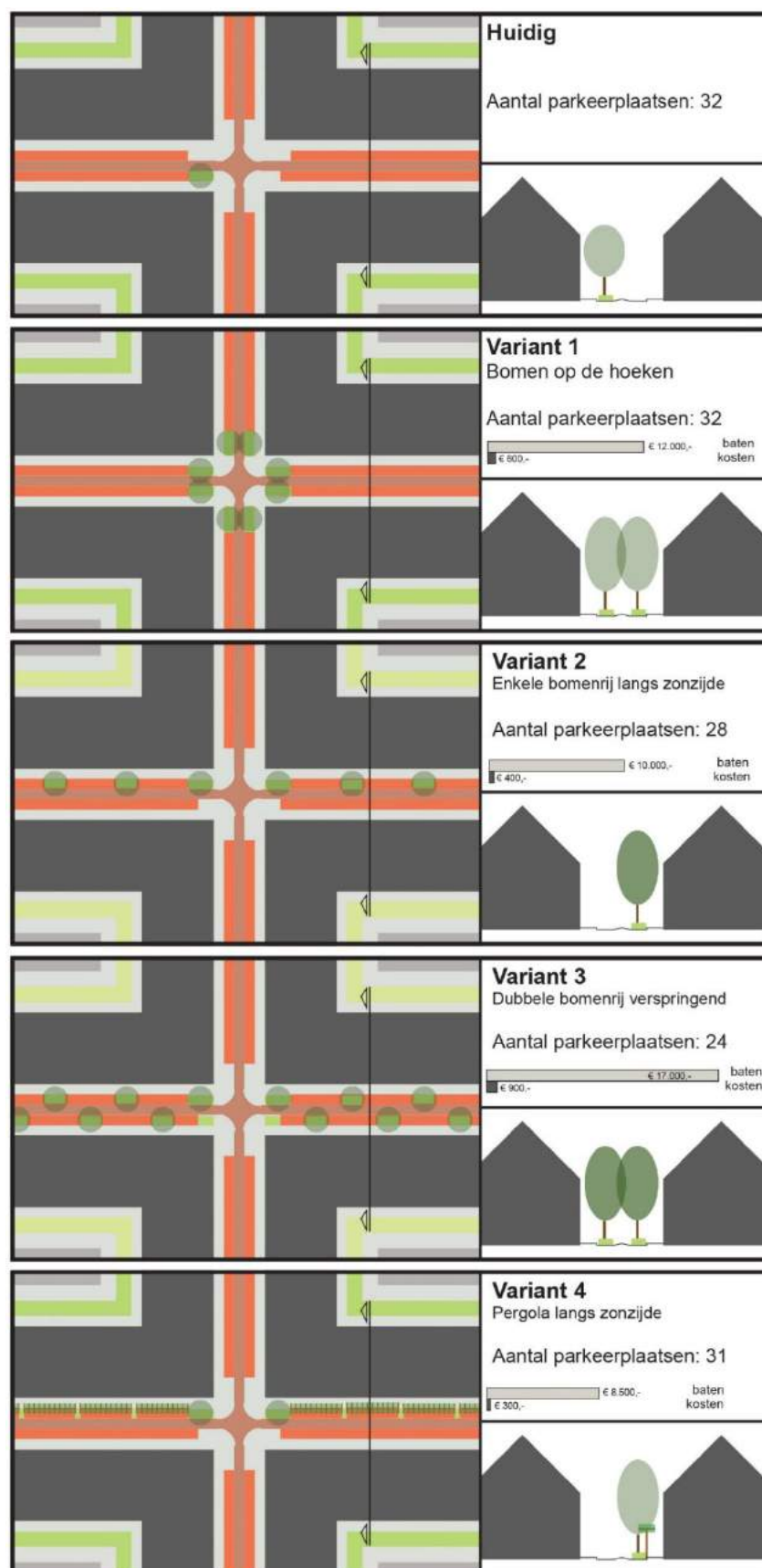
Figuur 13: Klimaat effecten Leidsebuurt (Föllmi et al 2016a).

De Leidsebuurt is een buurt met 'extra hittestress' zoals in Figuur 14 is aangegeven. Daarbij is de buurt ook kwetsbaar voor wateroverlast en droogte. Voor de Leidsebuurt zijn vier groenvarianten uitgewerkt waar we de effecten op de gevoelstemperatuur voor modelleren in een straat zoals in Figuur 13.

Om de effecten van vergroening inzichtelijk te maken op lokaal niveau zijn vier verschillende varianten gedefinieerd. Een overzicht van de verschillende varianten wordt weergegeven in Figuur 15. Hierin staan

ook twee andere belangrijke kenmerken die meespelen bij de afweging tussen varianten; het aantal parkeerplaatsen en de kosten en baten van de groeninrichting.

De effecten van het vergroenen van de hittespot op lucht- en gevoelstemperaturen kunnen op verschillende manieren in beeld worden gebracht. Voor hittestress overdag is de gevoelstemperatuur de belangrijkste indicator voor comfort. Met het simulatieprogramma ENVI-met is het effect van groenmaatregelen op de vermindering van hittestress door te rekenen. Er zijn andere modellen die zich op één aspect van het stedelijk klimaat richten. ENVI-met geeft een compleet beeld van het microklimaat



Figuur 15:
Groenvarianten Leidsebuurt

omdat deze alle essentiële aspecten mee neemt: wind, straling, oppervlaktetemperatuur en interactie met vegetatie⁶.

Voor de simulatie in ENVI-met gebruiken we een extreme hittegolf-dag gebaseerd op afgelopen 30 jaar welke als een 'normale' hittegolf kan worden gezien in 2050⁷. Zie bijlage 5 voor de ENVI-met model invoer.

Er is gekozen om de vergroening in één straat te plaatsen en niet in beide straten. Zo kan namelijk inzicht van effecten op de haakse straten verkregen worden. Wanneer je in één straat verkoeling kan realiseren is het interessant om te weten of die verkoeling ook aanliggende straten kan beïnvloeden.

Bomen doen het goed in een ruim plantvak in combinatie met roosters of vaste planten

In de huidige situatie staan bomen op de hoeken van de straat. Deze bomen zijn kleine bomen die op de meeste locaties niet goed tot ontwikkeling zijn gekomen. In de nieuwe situatie kiezen we voor een boom die een gelijke kroondiameter heeft met een iets grotere hoogte. De dichtheid van het bladerdek (LAD) blijft gelijk. Door het smalle profiel van de straat is een bredere kroon niet wenselijk. De bomen hebben grote plantvakken van 4*2 meter.

Voor de ontwikkeling en functioneren van een boom voor hitte is een goede groeiplaats van groot belang. Dat betekent, voldoende goede grond en voeding, een groot plantvak voorzien van (schaduw minnende) beplanting of een rooster en ten slotte de beschikking over voldoende water tijdens droge periodes. Om voldoende water tijdens droge periodes beschikbaar te hebben voor bomen kan een buffer onder de wegverharding aangelegd worden. Dit is tevens een voorziening waar bij extreme neerslag snel water naar kan afvloeien⁸.

Simulatie uitkomsten

De ENVI-met resultaten laten zien dat met een dubbele rij bomen in de straat zoals in variant 3 de grootste verkoeling wordt bereikt. In Figuur 16 is het verschil in gevoelstemperatuur te zien tussen de huidige situatie met slecht één boom op de hoek van de straat en de andere groen varianten. Er is één plek in de straat die er warmer uitkomt. Dat komt omdat de boom die in de huidige variant op de hoek van de straat staat in de varianten is verplaatst. Daardoor is er op die plek geen verkoelend effect van die boom meer.

Een enkele rij bomen in variant 2 versus bomen op alleen de hoeken in variant 1 geven een bijna even groot oppervlak van de straat dat wordt verkoeld. Op momenten dat de zon recht de straat in schijnt (parallel aan de straat) heb je nauwelijks schaduw van de gevels, dan is de afstand tussen de straathoeken relatief vrij groot. Is dit nog acceptabel voor bijvoorbeeld een oudere vrouw met rollator? In een straat

⁶ Dit programma geeft de beste benadering in de fysica van de atmosferische grenslaag van een stedelijk gebied. De rastergrootte is klein genoeg om individuele gebouwen mee te nemen, er wordt een energiebalans van alle soorten oppervlakken berekend, de simulatie van de fysische en fysiologische eigenschappen van planten is opgenomen en de berekening van atmosferische processen volgen elkaar op gedurende de dag.

⁷ In de studie REALCOOL (2018) zijn dezelfde meteorologische waarden gebruikt.

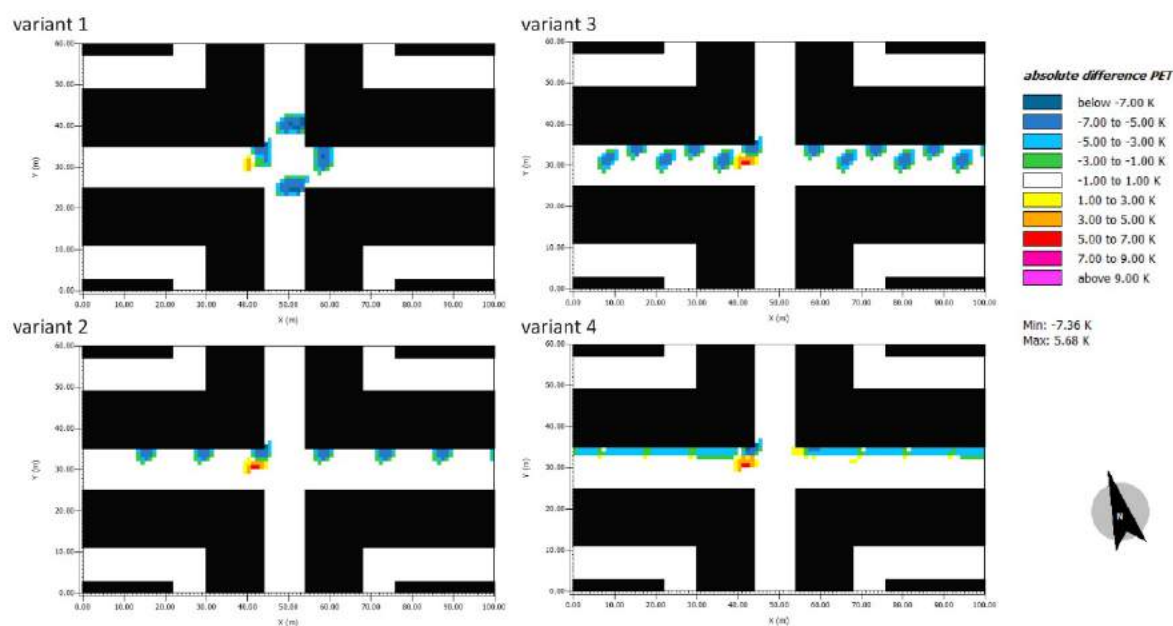
⁸ In het concept van Aalbers en Klein Overmeen (2016) werken water, riolering en groen samen. Vanuit de waterbuffer onder de weg voeren infiltratieleidingen water af naar de wortelzone van de bomen. Via capillair bomenzand is het water beschikbaar voor de boomwortels. Door het instellen van een maximaal grondwaterpeil wordt het teveel aan grondwater afgevoerd en wordt afsterven van wortels tegen gegaan. Door deze drainage is dit systeem ook een vorm van vertraagd afvoeren.

met Oost-West-oriëntatie is er in de vroege ochtend en late middag geen schaduw tussen de gevels. Op de late middag kan het nog behoorlijk warm zijn, daarom is inrichting met bomen of schaduw hier van belang voor hittestress. Tijdens ochtenduren is de luchttemperatuur lager dan in de middag, daarom is blokkeren van zonnestraling vooral van belang aan de Noord-zijde (zon-zijde in de middag) van de straat. Bovendien zorgen de bomen dan voor het beschaduwen van panden rond het middaguur.

In straten met Noord-Zuid-oriëntatie is het belang van bomen voor schaduw groter dan in straten met O-W-oriëntatie omdat hittestress met name tussen 13:00 uur en 17:00 uur optreedt. In de middag draait de zonnestraling op de Oost-zijde (zon-zijde) in straten met N-Z-oriëntatie. De Oost-zijde heeft daarom de voorkeur voor het plaatsen van bomen omdat bomen hier rond het middag uur tot de late middag effectief zijn voor schaduwwerking. In N-Z straten heeft de enkele bomenrij (v2) de voorkeur t.o.v. bomen op de hoeken (v1) omdat er dan een looproute met schaduw is op het heetst van de dag. Wanneer dit niet in het straatbeeld of ondergrond past kan een pergola een optie zijn.

Pergola's aan de zonzijde van de straat verlagen de gevoelstemperatuur met zo'n 4 graden. Van alle varianten geeft de pergola variant over het grootste oppervlak van de stoep verkoeling. Let wel, de mate van verkoeling met pergola's is wat minder dan van bomen volgens deze simulaties. Door de maatvoering en afstand tussen de pergola's aan te passen kan de mate van verkoeling worden aangepast aan het gewenste resultaat. Ook de inpassing in de straat kan op verschillende wijze, naar gelang de wensen van beheerders, gebruikers en bewoners.

De dubbele bomenrij in variant 3 geeft het grootste verkoelend effect. Op het heetst van de dag beschaduwen de extra bomen vooral het wegdek. Hiermee is het verkoelend effect niet werkzaam voor voetgangers, maar wel voor fietsers. Ook zal de straat in zijn geheel minder opwarmen en draagt de straat minder bij aan het opwarmen van de stad als geheel.



Figuur 16: Verschil in gevoelstemperatuur (PET) tussen de varianten en de huidige situatie om 15:00 uur op 1,5 m hoogte.

Met de gekozen groenmaatregelen is er geen waarneembaar verkoelend effect in de zijstraten. Dit zou nog kunnen wijzigen bij een andere windrichting (oostenwind in de gepresenteerde simulaties).

In de vergelijking van de groenvarianten gebruiken we de gevoelstemperatuur Fysiologische Equivalente Temperatuur (PET). Deze index voor gevoelstemperatuur is geschikt voor het Nederlandse klimaat en wordt vaak gebruikt. Boven de 41°C PET is de thermische perceptie 'zeer heet' met een psychologische waarde van 'extreme hittestress', zie

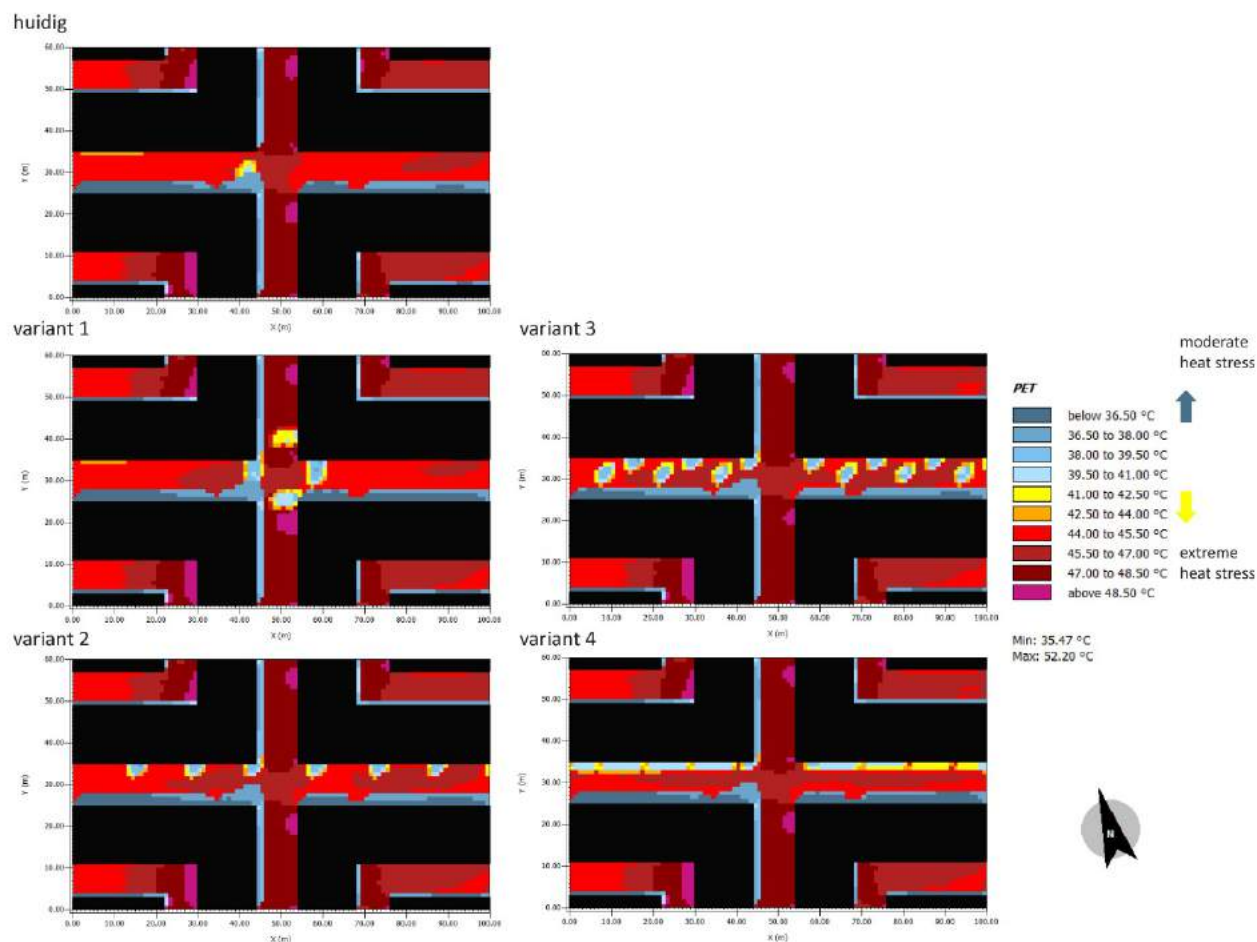
Tabel 2.

Tabel 2: Thermische perceptie bij PET index

PET	Thermal perception	Grade of physiological stress
4	Very cold	Extreme cold stress
8	Cold	Strong cold stress
13	Cool	Moderate cold stress
18	Slightly cool	Slight cold stress
23	Comfortable	No thermal stress
29	Slightly warm	Slight heat stress
35	Warm	Moderate heat stress
41	Hot	Strong heat stress
	Very hot	Extreme heat stress

Hoe heet het echt wordt op een representatieve hete dag in 2050 is te zien in Figuur 17. Daarin zie je dat de gehele straat als enorm heet wordt ervaren. Alleen een smalle strook langs de gevel blijft onder de drempel van 'extreme hittestress'. Door vergroening waarmee ook schaduw wordt gecreëerd neemt de hittestress lokaal af naar gematigde hittestress.

De resultaten in een enkele straat kunnen vertaald worden naar de effecten op buurtschaal. Omdat de verkoeling van bomen zoals die in de varianten zijn gesimuleerd zeer lokaal blijken kun je ervan uitgaan dat er met deze kleine bomen alleen verkoeling optreedt in de straat waar de bomen worden geplaatst.



Figuur 17: Gevoelstemperatuur (PET) bij de huidige inrichting en de varianten om 15:00 uur op 1,5 m hoogte.

GIS kaart

De gemeente Haarlem heeft op de schaal van de buurt al een gevoelstemperatuur kaart laten maken vooraf aan dit onderzoek. Daarom kunnen wij relatief eenvoudig het effect van een groenvariant hierin tonen. Figuur 18 toont de hittekaart voor de huidige inrichting met de gevoelstemperatuur in PET. Deze geeft in vrijwel iedere straat en over de hele lengte van de straat een indicatie van 'heel veel warmer' dan het buitengebied.

De groenvariant 2 met een enkele bomenrij aan de zonzijde is geprojecteerd op alle straten in de buurt. Dat betekent bomen aan de Noordkant van Oost-West straten en aan de Oostkant van de Noord-Zuid straten omdat hittestress in de middag groter is dan de ochtend. Deze variant geeft een gemiddelde daling van de gevoelstemperatuur van zo'n 1,25°C, met in de schaduw van de boom bijna 6°C verkoeling, zoals te zien in Figuur 19. Kijk je naar alleen de luchttemperatuur dan geeft het model een gemiddelde daling aan van 0,6°C en een maximale daling van 1,25°C. Opvallend is dat in dit GIS model de ruimte tussen de bomen van paars naar rood gaat. Hier is niet alleen in de directe nabijheid van een boom verkoeling, maar ook iets verder van de boom vandaan. Dit wordt niet ondersteund door de simulaties in ENVI-met. Een verklaring hiervoor is dat het GIS model minder verschil in boomeigenschappen door kan voeren. De in werkelijkheid kleine boom krijgt hierin gelijke effecten van een grotere boom.

Gevoelstemperatuur t.o.v. open buitengebied

Figuur 18: Hittekaart Leidsebuurt bij huidige inrichting met de gevoelstemperatuur op een representatieve hete dag in 2050 om 15:00 uur op 1,5 m hoogte.

Gevoelstemperatuur t.o.v. open buitengebied

Figuur 19: Hittekaart Leidsebuurt bij variant 2 met een enkele bomenrij met de gevoelstemperatuur op een representatieve hete dag in 2050 om 15:00 uur op 1,5 m hoogte.

Wanneer je in een straat om de 15m een boom plant kun je aan de zonzijde een flinke afkoeling (6°C) bereiken. Hiermee kan iedereen in de buurt altijd via een koele route van A naar B. Afhankelijk van de

intensiteit van gebruik van loop- en fietsroutes en aanwezige kwetsbare groepen kan besloten worden in welke straten een reducering van hittestress het meest belangrijk is.

Conclusie

Door te simuleren is de effectiviteit van verkoelende maatregelen onderzocht. Uit bovenstaande uitkomsten kan niet eenduidig worden afgeleid welke variant voldoende verkoeling geeft. Dit is afhankelijk van de doelstelling van de ontwerpers en de gemeente met betrekking tot hittestress.

Variantenvergelijking geeft aan dat meer bomen op meer plekken in de straat ook meer verkoeling geven. De resultaten benadrukken het lokale effect van bomen in de straat; de verkoeling reikt niet verder dan de straat zelf. Dit kan anders zijn wanneer de straat meer als park wordt ingericht (minder verharding).

De effectiviteit per boom in het onderzochte straatprofiel is het grootst in straten met Noord-Zuid-oriëntatie, omdat er rond het middag uur geen schaduw van gebouwen is. Hier zijn bomen aan de Oost-zijde het meest effectief. In straten met Oost-West-oriëntatie is het belang van bomen of schaduw het grootst aan de Noord-zijde waar in de loop van de middag de meeste zonbelasting is. Bomen aan deze zonzijde zorgen tevens voor het beschaduwen van panden rond het middaguur.

De pergola variant is een interessante variant omdat deze in de smalle straat een oplossing biedt voor ruimtegebrek ondergronds (vanwege kabels en leidingen) en bovengronds (vanwege hoge parkeerdruk en de beperkte ruimte voor een boomkruin). Omdat de begroeiing van een pergola een minder dik bladerdek heeft zal deze wat meer licht doorlaten en minder koelen door verdamping dan een boom. De bereikte verkoeling is daardoor wat minder, echter het geeft voldoende koeling om van 'extreme hittestress' naar 'sterke hittestress' te gaan. Met een boom bereik je nog een trap lager, namelijk 'gematigde hittestress'.

De uitkomsten van de modelberekeningen moeten worden gezien als middel inzicht te krijgen in verschillen tussen varianten en een indicatie van de orde grootte van het effect. De absolute temperatuur zal gedurende de dag afhankelijk van weersinvloeden variëren.

Dit derde deel van het onderzoek geeft een indicatie van de effectiviteit van groen op lokaal niveau. Nu is het uitbreiden van groen niet in alle situaties mogelijk. Welke groen maatregelen of alternatieven er in bepaalde standaard situaties mogelijk zijn volgt hierna in Deel 4.

Deel 4 | Wijktypen

In Deel 3 van dit rapport is gekeken naar een specifieke ‘hittespot’. Om ook een uitspraak te kunnen doen over hittebestendigheid en over effectieve maatregelen op andere locaties zetten we wijktypen in. Het doel van dit deelonderzoek is om in een viertal specifieke typologieën de meest geschikte en effectieve maatregelen te selecteren. Deze kunnen dan generiek worden ingezet voor andere wijken met deze typologie.

De kwetsbaarheid van wijken kan in beeld worden gebracht met een (gevoels-)temperatuur-kaart en een kaart met de beschikbaarheid van koele plekken in een wijk. Zo’n ‘afstand tot koele kaart’ van Haarlem geeft aan welke afstand bewoners moeten afleggen om een koele plek te bereiken. Met name voor een kwetsbare doelgroep als ouderen is het van belang om in de directe omgeving naar een koele plek te kunnen.

We selecteren veel voorkomende wijken in Haarlem om maatregelen te verkennen. De maatregelen worden als voorbeeld in het straatbeeld geprojecteerd. De woontypologieën die de gemeente hanteert in het (niet vastgestelde) Groenstructuurplan 2009 (Föllmi et al 2016b) die zijn opgenomen in bijlage 6, zijn goed te vertalen naar de wijktypen die de HvA heeft gedefinieerd om het microklimaat te kunnen inschatten. In Tabel 3 staan de vier meest voorkomende wijktypen in Haarlem: historische binnenstad, volksbuurt, tuindorp, naoorlogse tuinstad hoogbouw.

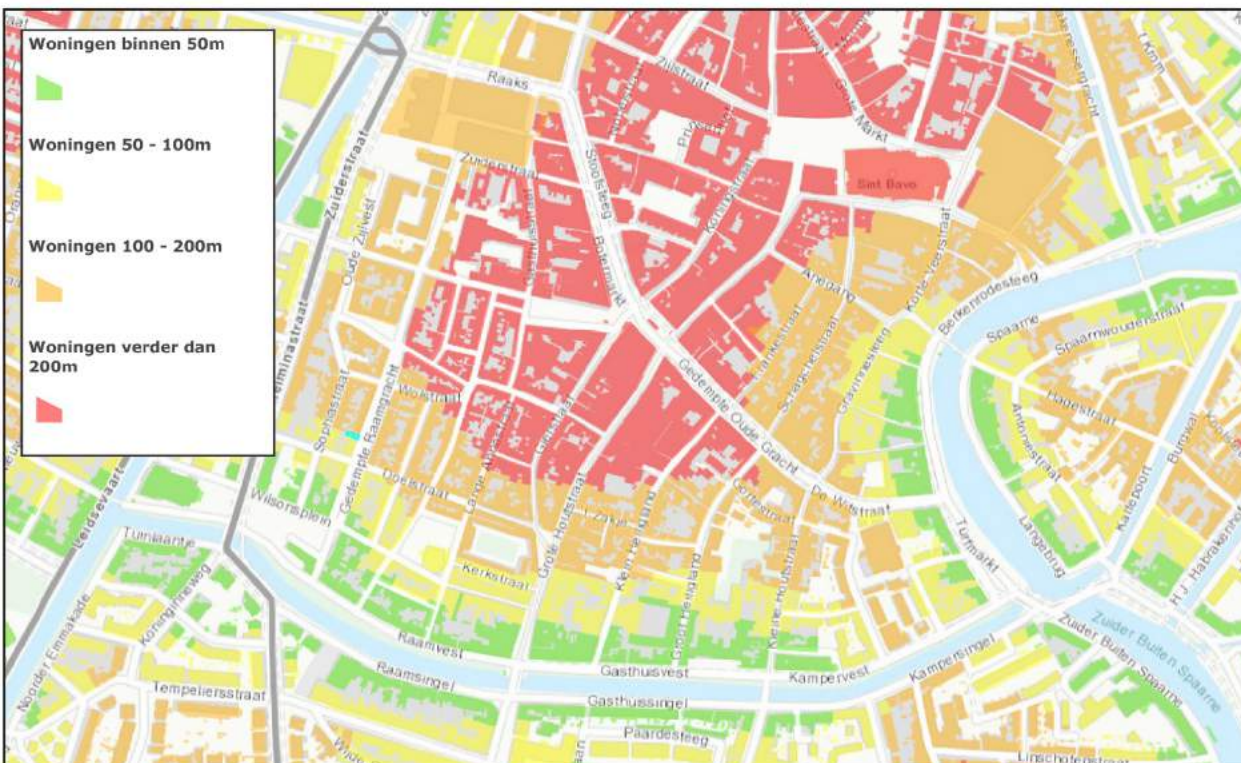
Tabel 3: Meest voorkomende wijktypen in Haarlem. De woontypologieën uit het groenstructuurplan links en de wijktypen van de HvA rechts

	Woontypologie gemeente	Wijktypen HvA
1	Centrumgebied	Historische binnenstad
2	Verdichte buurten zonder voortuinen	Volksbuurt
3	Verdichte buurten met voortuinen	Tuindorp
4	Grootschalige strokenbouw	Naoorlogse tuinstad hoogbouw

Van ieder wijktype is in één pagina een overzicht te zien van de eigenschappen die kwetsbaarheid voor hitte weergeven. In een ‘afstand tot koele kaart’ lichten woningen rood op die verder dan 200m van een koele plek liggen. Een koele plek is hier gedefinieerd als zodanig wanneer deze minimaal 200m² aaneengesloten een temperatuur op loopniveau heeft dat niet warmer is dan het buitengebied (Kluck 2017). Voor een kenmerkend straatprofiel van het wijktype wordt de mate van bezonning en ventilatie gegeven op basis van de hoogte/breedte (H/B) verhouding. Deze verhouding is samen met windrichting en oriëntatie op de zon bepalend voor de zonbelasting en ventilatie. In een smalle straat is minder ventilatie, maar beperkte zonbelasting. Daarentegen heeft een brede straat veel ventilatie, maar veel zonbelasting. In het geval je de H/B verhouding zou kunnen beïnvloeden dan hebben brede straten met voldoende bomen voor beschaduwing de voorkeur. Let dan wel op voor voldoende openheid van het groen voor ventilatie. Op de pagina staat ook het percentage ouderen en jongeren in de specifieke buurt.

Na de overzichtspagina volgen per wijktype twee pagina’s met vier varianten van maatregelen. Drie varianten zijn gericht op hittestress en één variant op wateroverlast. De varianten zijn gekozen om aan te geven welke maatregelen passend zijn voor een specifiek wijktype. Daarnaast doen we een suggestie voor een strategische locatie om een koele plek te creëren indien de ‘afstand tot koele kaart’ daar aanleiding toe geeft.

Afstand tot koelte kaart Haarlem | historische binnenstad | Centrum

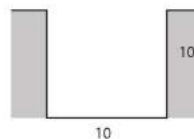


Straatprofiel

Hoogte/Breedte verhouding = 1

Bezonning = beperkt

Ventilatie = weinig



Kwetsbare groepen voor hitte Buurt Heiliglanden

Kinderen < 15 jaar | 10%

Ouderen > 75 jaar | 13%

Maatregelen | Haarlem | historische binnenstad | Centrum



Huidige situatie

Schaduwdoeken

maatregel

hittestress



Pergola

maatregel

hittestress



Maatregelen | Haarlem | historische binnenstad | Centrum

Water op de weg

maatregel

hittestress



Infiltratie met
granudrain

maatregel

wateroverlast



In de historische binnenstad van Haarlem warmt het tijdens een hittegolf meer op dan in de rest van de stad. Dit komt vooral doordat bijna het gehele oppervlak is verhard en er nauwelijks groen aanwezig is. De straten zijn relatief smal waardoor de binnenstad in de ochtend langzamer opwarmt door de schaduwwerking van gebouwen, echter er is ook minder ventilatie en warmte uitstraling waardoor het langzamer afkoelt.

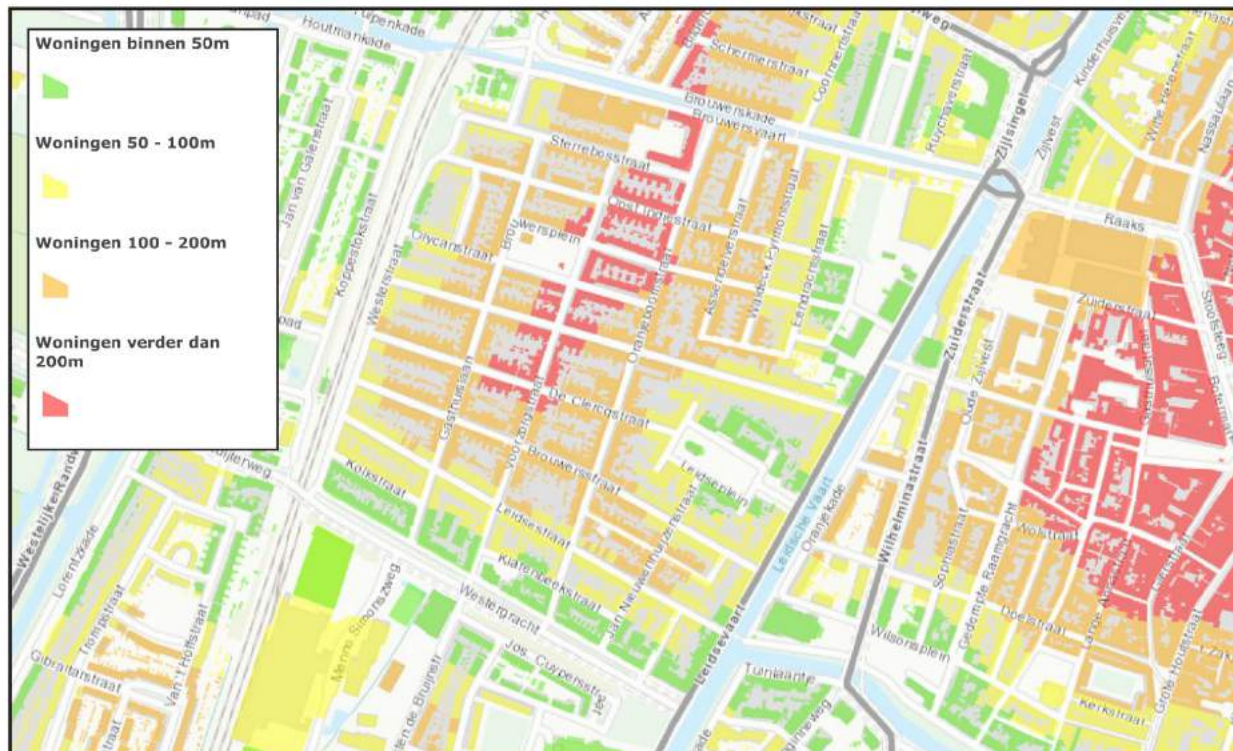
In de binnenstad wonen niet meer kwetsbare mensen dan in andere delen van de stad, maar er verblijven wel veel mensen. Daarom is het belangrijk dat het centrum ook tijdens warme dagen een aangename verblijfplaats is. Hierboven zijn een drietal maatregelen in een straat in Haarlem weergegeven. Het zijn maatregelen die alleen verkoeling geven in de warmste periode van het jaar. (1) Doeken boven de straat kunnen in een patroon met meer of minder openheid worden geplaatst. (2) Een pergola constructie is niet alleen een maatregel tegen hittestress, maar brengt ook de andere voordelen van vergroenen mee, zoals meer biodiversiteit, effecten op mentale gezondheid en meer. (3) Water op de weg sproeien is een maatregel die alleen op de momenten dat het heet is kan plaatsvinden en waar geen aanpassingen in de openbare ruimte voor nodig zijn. (4) De laatste impressie betreft een maatregel bij extreme neerslag. In de binnenstad zijn vooral ondergrondse oplossingen voor water kansrijk. De gemeente heeft aangegeven dat er behalve wateroverlast ook een watertekort ontstaat tijdens droge periodes. De historische panden op houtenpalen zijn kwetsbaar voor lage grondwaterstanden. Er moet goed gekeken worden naar maatregelen die in beide situaties een oplossing bieden.

Een groot deel van de binnenstad heeft geen koele plek binnen 200 meter loopafstand zoals te zien in Figuur 20. Er zijn twee pleinen, de Botermarkt en de Grote markt, die strategische plekken zouden zijn om zo'n koele plek te bieden.



Figuur 20: Afstand tot koeltekaart met twee nieuwe koele plekken met een zone van 200m.

Afstand tot koelte kaart Haarlem | volksbuurt | Leidsebuurt

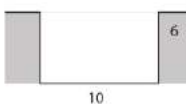


Straatprofiel

Hoogte/Breedte
verhouding = 0,6

Bezonning = beperkt

Ventilatie = beperkt



Kwetsbare groepen voor hitte Buurt Leidsebuurt

Kinderen < 15 jaar | 18%
Ouderen > 75 jaar | 12%

Maatregelen | Haarlem | volksbuurt | Leidsebuurt



Huidige situatie

Bomen op de hoeken

maatregel

hittestress



Enkele bomenrij langs zonzijde

maatregel

hittestress



Maatregelen | Haarlem | volksbuurt | Leidsebuurt

Pergola langs
zonzijde

maatregel

hittestress



Stedelijke
infiltratiestrook
met bomen

maatregel

hittestress
en
wateroverlast



Volksbuurten hebben een stedelijke opbouw die zorgt voor veel opwarming. De bebouwing is laag waardoor de straat veel zonbelasting heeft (in de binnenstad is dat minder door de grotere bouwhoogte). Echter, de straten zijn niet zo breed dat de warmte goed wordt weg geventileerd. Maatregelen zijn ook hier niet eenvoudig in de smalle straten waar ook een hoge parkeernorm gewenst is en de ondergrond vol ligt met kabels en leidingen. Met bomen op de hoeken van de straat maak je het aanzicht van de straat in zijn geheel groener zonder dat er parkeerplaatsen worden opgeofferd. Wanneer een koele route van belang is kan een enkele bomenrij of pergola dit bieden, met name aan de Oost-zijde in straten met Noord-Zuid-oriëntatie. Op locaties waar het regenwater lokaal verwerkt moet worden zijn stedelijke infiltratiestroken met bomen een oplossing die beide combineert.

In de Leidsebuurt kan het Brouwersplein als strategische koele plek dienen, zie Figuur 21. Dit plein is al ingericht als park met zitgelegenheid, zie Figuur 22. Er staan een aantal grote bomen, maar er is ook een groot deel verhard. Door een aantal grote bomen of een pergola erbij te plaatsen kan een koele plek worden gecreëerd van minimaal 200m².

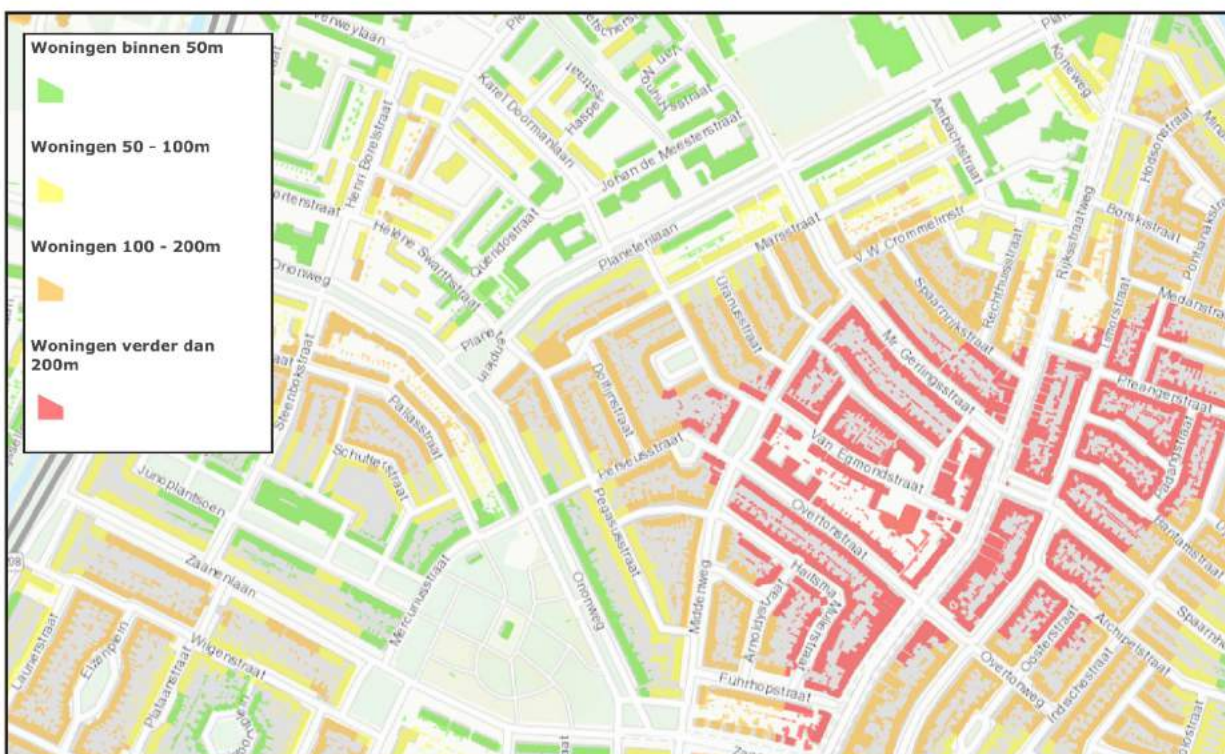


Figuur 21: Afstand tot koeltekaart met een nieuwe koele plek met een zone van 200m.



Figuur 22: Brouwersplein.

Afstand tot koelte kaart Haarlem | tuindorp | Planetenbuurt



Straatprofiel

Hoogte/Breedte
verhouding = 0,4

Bezonning = veel

Ventilatie = beperkt



Kwetsbare groepen voor hitte Buurt Heiliglanden

Kinderen < 15 jaar | 22%

Ouderen > 75 jaar | 13%

Maatregelen | Haarlem | tuindorp | Planetenbuurt



Huidige situatie

Dubbele bomenrij
verspringend

maatregel

hittestress



Voortuinen
vergroenen

maatregel

hittestress



Maatregelen | Haarlem | tuindorp | Planetenbuurt

Groene weg-
versmalling

maatregel

hittestress



Stedelijke
infiltratiestrook
met bomen

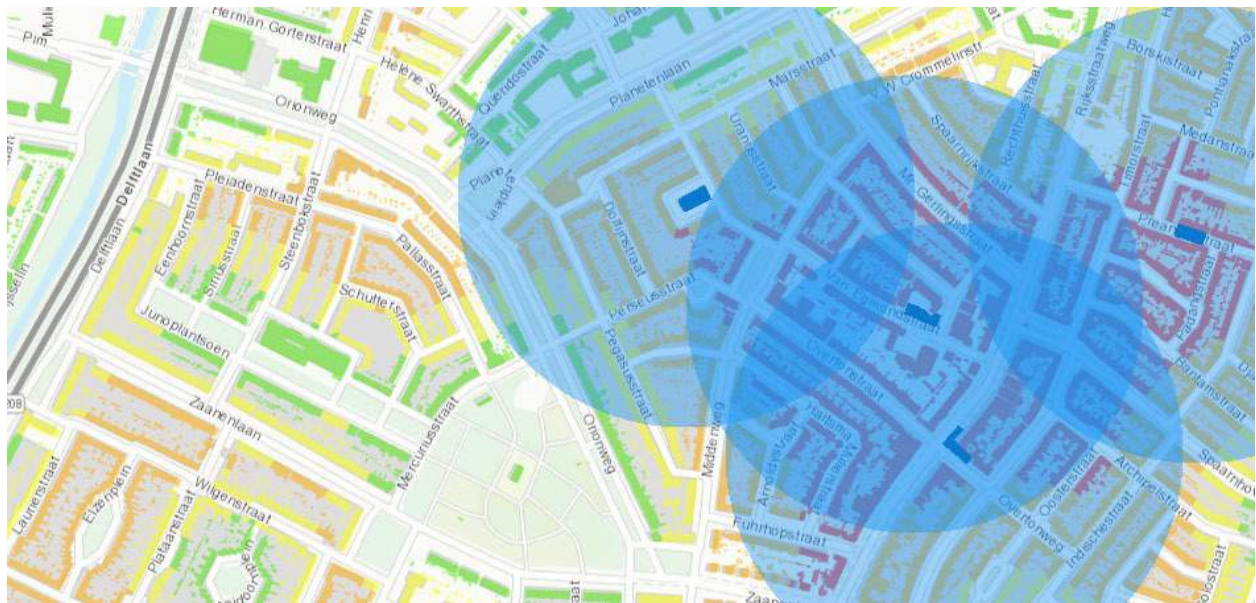
maatregel

hittestress
en
wateroverlast



In de Tuindorpen zijn de straten breder dan in volksbuurten waardoor meer warmte door ventilatie wordt afgevoerd. Een groot verschil is de aanwezigheid van voortuinen waarin bewoners zelf de mate van beschaduwing door groen kunnen beïnvloeden. De huidige trend van verharding van tuinen zorgt ervoor dat de hittekwetsbaarheid in deze wijken zal toenemen. In veel gevallen staan er geen gemeentelijke bomen in het straatprofiel. Met een dubbele bomenrij die verspringt blijft voldoende openheid behouden voor ventilatie. Stimuleren van groene voortuinen kan helpen de trend tegen te gaan. Door aan beide zijden zo'n drie parkeerplaatsen op te offeren en deze met bomen in te richten kan er een koele plek gecreëerd worden midden in de wijk waarmee de 'afstand tot koelte' voor meer inwoners binnen 200 meter bereikbaar is. Op locaties waar het regenwater lokaal verwerkt moet worden zijn stedelijke infiltratiestroken met bomen een oplossing die beide combineert.

In de Planetenbuurt is een groot deel dat niet binnen 200 meter van een groene plek ligt (Figuur 23). Er zijn verschillende locaties die zich goed lenen voor extra bomen of schaduw van doeken of pergola's. Zoals het speelplein aan de van Egmondstraat (zie Figuur 24).

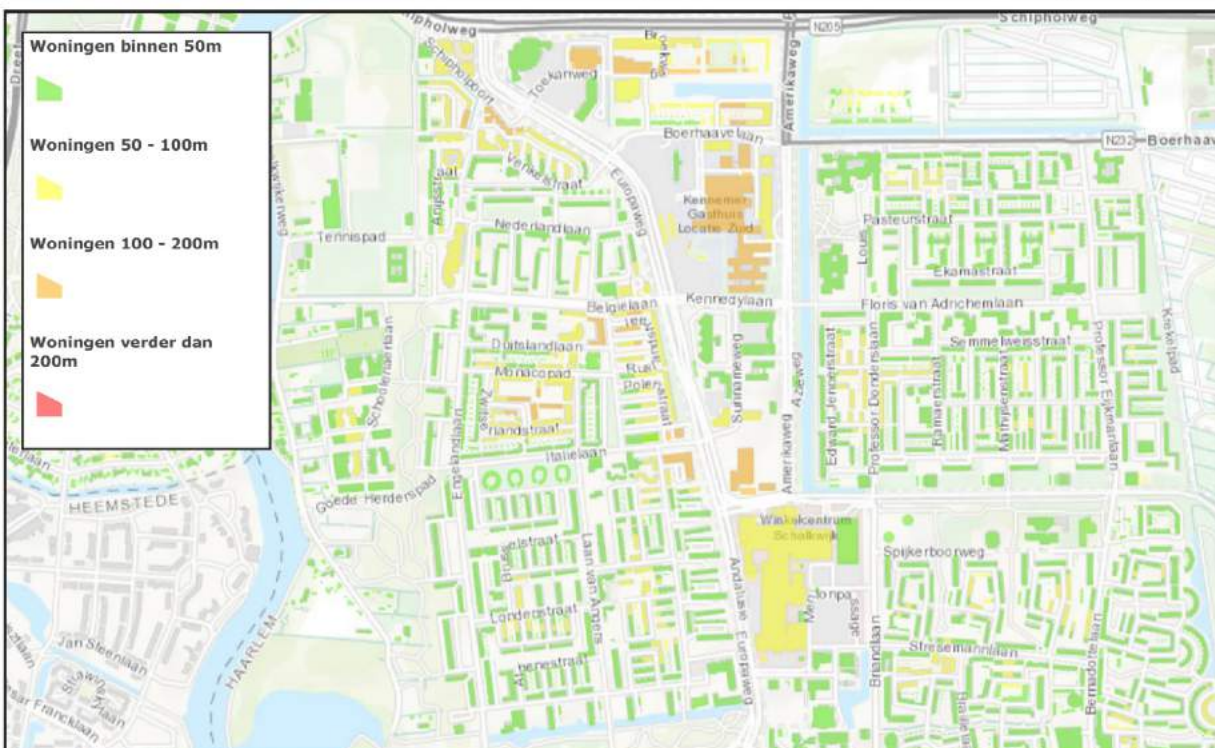


Figuur 23: Afstand tot koeltekaart met vier mogelijke nieuwe koele plekken met een zone van 200m.



Figuur 24: Van Egmondstraat.

Afstand tot koelte kaart Haarlem | tuinstad | Europawijk

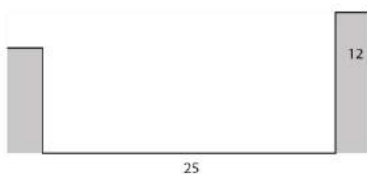


Straatprofiel

Hoogte/Breedte verhouding = 0,5

Bezonning = veel

Ventilatie = veel



Kwetsbare groepen voor hitte

Buurt Heiliglanden

Kinderen < 15 jaar | 14%
Ouderen > 75 jaar | 28%

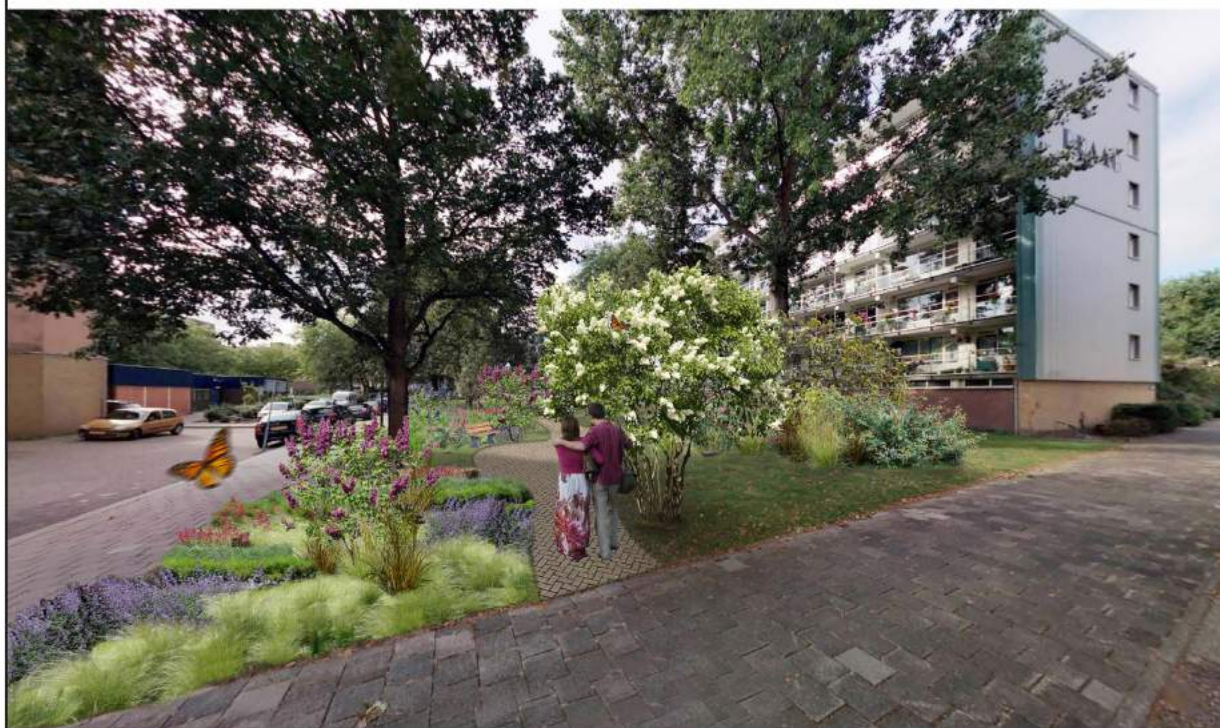
Maatregelen | Haarlem | tuinstad | Europawijk



Huidige situatie

Vlindertuin

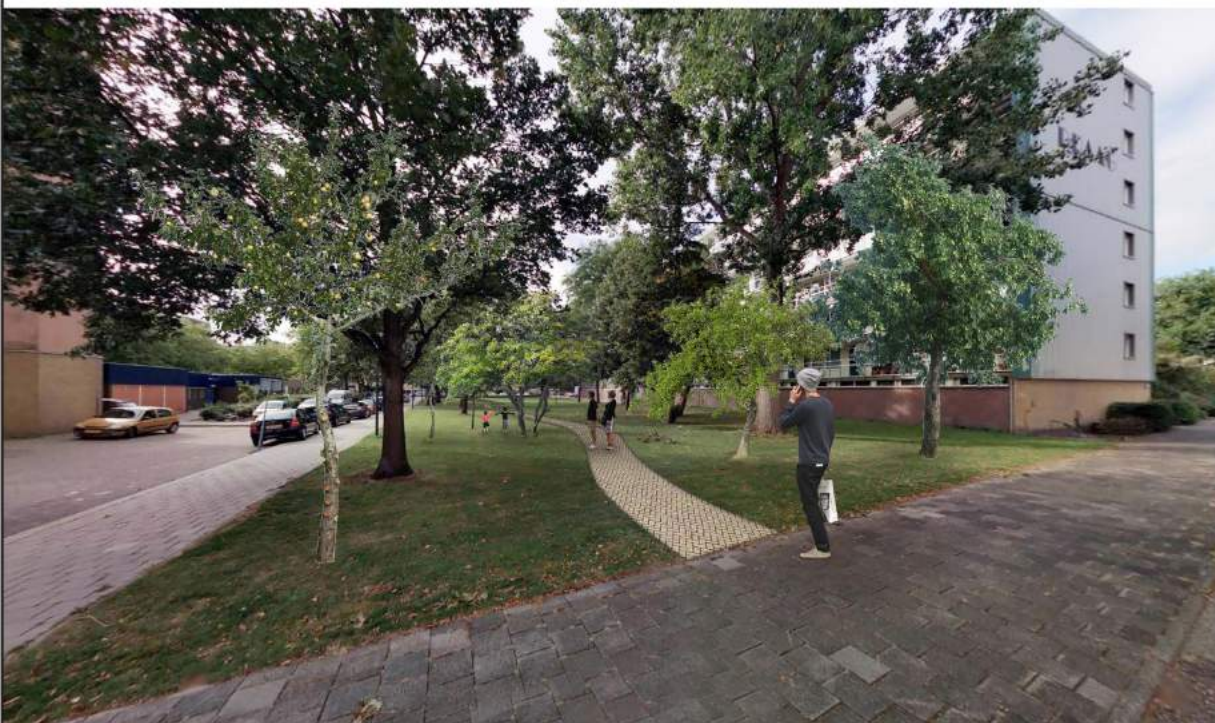
maatregel hittestress



Maatregelen | Haarlem | tuinstad | Europawijk

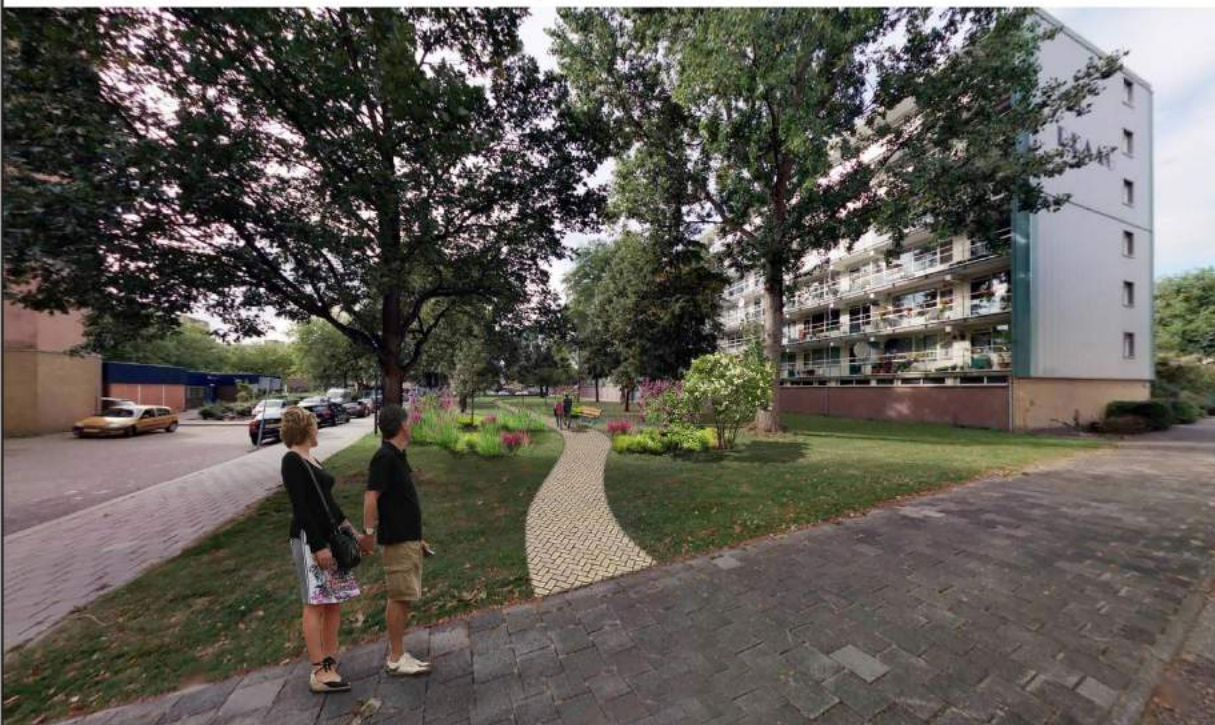
Fruitboomgaard

maatregel hittestress



Wadi met vasteplanten

maatregel hittestress en wateroverlast



De Naoorlogse tuinsteden zijn groen en ruim van opzet. Daarmee is er voldoende openheid voor ventilatie en in veel gevallen voldoende schaduw van bomen om hittestress te beperken. In deze gebieden ligt de uitdaging vooral in het behoud en het gebruik van deze waarden.

Het behoud van groen en openheid staat ter discussie wanneer er plaats moet komen voor parkeren of voor inbreiding voor de compacte stad. In beide gevallen moet er gekeken worden hoe het groen dat verdwijnt gecompenseerd kan worden. Met bijvoorbeeld groene (en/of blauwe) daken, groene gevels, meer straat bomen en dergelijke.

Voor het gebruik is het van belang dat het groen toegankelijk is d.m.v. looppaden, interessant om naar te kijken door meer vaste planten en bloemen mengsels en aantrekkelijk door functies toe te voegen zoals speel/sport, wandel, stadslandbouw en functies aantrekkelijk voor ouderen zoals een jeu de boule baan of iets dergelijks.

Een andere manier om groen te behouden is door het in te zetten als opvang, geleiding of buffering van regenwater. Deze 'technische' functie geeft meer waarde aan het groen en zorgt ervoor er in een later stadium minder makkelijk voor verharding wordt gekozen. Dan moet er immers een alternatief komen voor wateropvang.

Conclusie

Voor de gemeente Haarlem zijn in vier deelstudies de baten van een groener Haarlem bestudeerd. Het eerste deel beschrijft de baten die het groen kan opleveren in euro's voor de hele stad. De werking van groen is bekeken op schaal van de stad in deel 2 en op schaal van de buurt in deel 3. Naast groenmaatregelen zijn er ook andere hitte maatregelen die toepasbaar zijn in Haarlem. Voor de vier meest voorkomende wijktypen zijn maatregelen uitgewerkt in deel 4. Dit onderzoek valt samen met het onderzoek van 'de hittebestendige stad' van de HvA en heeft een sterke focus op de verkoelende werking van groen.

Deel 1 | Maatschappelijke groenbaten voor de stad

Om aan maatschappelijke baten en verkoeling van groen te rekenen zijn twee vergroeningsscenario's opgesteld. Een eerste scenario voor de komende 5 jaar met vergroening van twee procent van het gemeentelijk oppervlak en een tweede scenario voor een horizon van 30 jaar met tien procent meer groen.

De baten van meer groen in Haarlem zijn divers: meer groen is goed voor biodiversiteit, leefbaarheid, imago van de stad, etc. Maar niet al deze baten zijn te vertalen in euro's. De thema's waar we dat nu wel voor kunnen zijn gezondheid, energie, woningwaarde, recreatie en waterhuishouding. Hierin is gezondheid de grootste batenpost met 70 procent.

De resultaten wijzen uit dat de maatschappelijke groenbaten hoger zijn dan de aanleg en beheerkosten.

Deel 2 | Verkoelend effect van vergroening in de stad

Eén van de nog niet gekwantificeerde baten van groen zijn die van het verkoelende effect. Dit deel beschrijft de omvang van de verkoeling en een inschatting van de baten hiervan. Het ambitieuze groenscenario met tien procent meer groen uit Deel 1 is ingevoerd in een regionaal weermodel. De vergroening geeft in het stedelijk gebied zo'n twee graden verkoeling van de luchttemperatuur overdag. Voor de nacht zal dit rond een halve graad verkoeling geven.

Met de aanname dat de verkoeling door het ambitieuze groenscenario representatief is voor alle warme dagen zouden de baten van een dergelijke verkoeling in de toekomst – rond het jaar 2050 – kunnen oplopen tot om en nabij de 3 miljoen euro per jaar. Dat geeft 10% meer groenbaten. Deze baten, of vermeden kosten, zijn volgens de hier gebruikte systematiek vooral te danken aan een iets hogere arbeidsproductiviteit. Naar de baten van verkoeling is meer vervolgonderzoek nodig om de resultaten in dit onderzoek te bevestigen.

Deel 3 | Verkoeling met groen in een 'hittespot'

De verkoelende werking van groenmaatregelen op een specifieke 'hittespot' (hier de Leidsebuurt) zijn geanalyseerd met vier varianten in een representatieve straat. Hierin blijkt spreiding van bomen langs de straat niet meer of minder effectief dan clustering van bomen op de hoeken voor schaduwoppervlak. Wel is er een groot verschil in waar de schaduw valt en de tussenliggende afstand. Schaduw op het voetpad om de 5 à 10 meter geeft een hele andere beleving dan wanneer je van de ene straathoek naar de andere 100 meter moet overbruggen in de zon. Schaduw is het meest effectief tegen hitte aan de zonzijde rond het middaguur en loop van de middag.

Naast bomen kunnen ook pergola's uitkomst bieden in het creëren van koele plekken. Pergola's verlagen de gevoelstemperatuur op een hete dag met zo'n 4 graden, met bomen bereik je meer verkoeling, zo'n 7

graden. Daar staat tegenover dat klimplanten niet gebonden zijn aan een stam met minimale afstand tot de gevel, ook ondergronds minder ruimte innemen en sneller effectief zijn na aanplant.

Deel 4 | Wijktypen

Voor de vier meest voorkomende wijktypen in Haarlem is een inschatting van kwetsbaarheid voor hitte gemaakt en zijn er kansrijke maatregelen geselecteerd voor de specifieke typologie van de wijken. Er is gekeken of er voldoende koele plekken binnen loopafstand zijn.

De geselecteerde wijktypen zijn: historische binnenstad, volkswijk, tuindorp en naoorlogse tuinstad. De voorbeelden zijn generiek toe te passen bij vergelijkbare wijken in Haarlem en andere Nederlandse steden.

Discussie

Dit rapport geeft verschillende mogelijkheden voor de Gemeente Haarlem om met hitte om te gaan. Een mogelijke strategie is een stads brede aanpak waarin vergroening bij alle (her)ontwikkelingen (op maaiveld en daken!) centraal komt te staan om een vergroening van 10 procent van het gemeente oppervlak te behalen in de komende 30 jaar.

Grofweg kan de gemeente daarmee de gemiddelde opwarming enigszins compenseren. Verschillen in opwarming per locatie en verschillen overdag en 's nachts kunnen groter zijn dan de gemiddelde verkoeling door groen.

Een andere strategie kan zijn om in te zetten op met name verblijfsplekken en belangrijke fiets- en looproutes. Bij het creëren van een aangename plek is schaduw van groot belang. Daarnaast helpt verdamping door groen en verneveling bij lokale verkoeling. Bij deze strategie is het van belang te weten waar de koele plekken nu zijn en te bepalen wanneer er voldoende koele plekken zijn. Dit is een politieke keuze die hoort bij de visie van een leefbare stad. De dichtheid van koele plekken is nu op basis van loopafstand in kaarten opgenomen, maar kan wellicht ook aan functies of kwetsbare groepen worden gekoppeld.

Een derde strategie zou kunnen zijn een minimum percentage aan groen of schaduw per buurt vast te stellen om overal voldoende groen te realiseren. Hierbij kan, wanneer groen niet mogelijk is, schaduw of een andere technische maatregel het gebrek aan groen aanvullen.

Met de eerste strategie is het wellicht moeilijk om per project een minimum aan groen vast te stellen of op te leggen aan een ontwikkelaar. Met de tweede strategie kan het zijn dat er weliswaar voldoende koele plekken op loopafstand zijn, maar dat daartussen te weinig aandacht voor groen komt. Een gemiste kans wanneer je eens in de 30 jaar de straat opnieuw kan aanpakken. Maatregelen voor hitte zouden vooral de leefkwaliteit van straten, wijken en de stad moeten opwaarderen. Een norm voor groen, schaduw of koele plek kan hierin een middel zijn om dat te bereiken.

De verkoeling door groen geeft 10% meer groenbaten. Maar groen heeft nog zoveel andere baten voor de stad en zijn bewoners. Laat het een extra argument zijn in de afweging voor een groene straatinrichting.

Bronnen

- Aalbers, F. en Klein Overmeen, M. (2016). Innovatieve oplossing voor klimaatverandering. De Klimaatboom. Stadswerl magazine, 03: 30-31.
- Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., en Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56:515-535.
- Bijsterveldt, M. van, en Scherpenisse, R. (2013). Netto contante waarde van klimaatgerelateerde schadekosten op lokale schaal in Nederland. De ontwikkeling van de CliCo tool die de gebruiker kan voorzien van een eerste indicatie van de extra schadekosten op lokale schaal door klimaatverandering in de periode 2013-2050. Stagerapport Wageningen UR / Alterra.
- Budd, G. M. (2015). Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11:20-32.
- Cortese, J., Lenzholzer, S., Klok, L., Jacobs, C., en Kluck, J. (2017). Creating prototypes for cooling urban water bodies. *Proc. ECLAS Conference 2017. Creation/Reaction/*, London, 10-13 September 2017, 350-364.
- Cotton, W.R., Pielke Sr, R.A., Walko, R.L., Liston, G.E., Tremback, C.J., Jiang, H., McAnelly, R.L., Harrington, J.Y., Nicholls, M.E., en Carrio, G.G. (2003). Rams 2001: Current Status and Future Directions. *Meteorology and Atmospheric Physics* 82:5-29.
- Dunne, J.P., Stouffer, R.J., en John, J.G. (2013). Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. *Nature Climate Change* 3:563-566.
- Endalew, A. M., Dekeyser, D., Nuytens, D., Goossens, T., Hendrickx, N., Duga, A. T., ... en Verboven, P. (2012). Assessment of orchard sprayers using computational fluid dynamics. *Aspect Appl Biol*, 114, 413-420.
- Erbs, D. G., Klein, S. A., en Duffie, J. A. (1982). Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar energy*, 28, 293-302.
- Föllmi, E., Sillman, M., Lanfermeijer, B., Bueno de Mesquita, H., Driessen, T., Bruggen, G. van, Olsthoorn, H., en Grond, V. (2016a). Haarlem en het Klimaat. Onderzoek klimaatbestendigheid Haarlem. Gemeente Haarlem, PROquint, GrondRR.
- Föllmi, E., Sillman, M., Lanfermeijer, B., Bueno de Mesquita, H., Driessen, T., Bruggen, G. van, Olsthoorn, H., en Grond, V. (2016b) Bijlage van onderzoeksrapport klimaatbestendigheid Haarlem. Gemeente Haarlem, PROquint, GrondRR.
- Garssen, J., Harmsen, C., en de Beer, J. (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance*, 10, 165-167.
- Gemeente Haarlem (2018). www.haarlem.nl/bestandsopslag/bestanden/Feiten_en_cijfers/Monitors/binnenstadsmonitor.pdf
- Hamdi, R. en Masson, V. (2008). Inclusion of a Drag Approach in the Town Energy Balance (TEB) Scheme: Offline 1d Evaluation in a Street Canyon. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47:2627-2644.
- Hendriksen, L., Kooker, R. d., Föllmi, E., Dedic, A., Lanfemeijer, B. Evertse, E., Bueno de Mesquita, H., Meuleman, L. Hattem, F. v., Westerhof, W., Bruggen, G.v., Poelman, B., Schoenmaeckers, B., Wit, R.d., Zeggeren, B.v., Noordman, D., Steen, T.v.d., Someren, M.v., Sillmann, M., Tjerkstra, R. (2017) Klimaatadaptatie agenda, versie 19, Gemeente Haarlem.
- 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.
- Hübner, M., Klepper, G., en Peterson, S. (2008). Costs of climate change: The effects of rising temperatures on health and productivity in Germany. *Ecological Economics*, 68:381-393.

- Jacobs, C.M.J., Elbers, J.A., Brolsma, R., Hartogensis, O.K., Moors, E.J., Rodríguez-Carretero Márquez, M.T., en Van Hove, L.W.A. (2015). Assessment of evaporative water loss from Dutch cities. *Build. Environ.*, 83, 27–38.
- Jendritzky, G., de Dear, R., en Havenith, G. (2012). UTCI-Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56, 421-428.
- Klok, E.J., Jacobs, C.J.M., en Kluck, J. (2018). Hoe verkoelend is water nu echt? Special Klimaatadaptatie, Stichting RIONED en Vereniging Stadswerk Nederland, p14-15.
- Kluck, J., Kleerekoper, L., Klok, E.J., Loeve, R., Bakker, W.J. en Boogaard, F.C. (2017) De klimaatbestendige wijk: Onderzoek voor de praktijk. Hogeschool van Amsterdam, Onderzoeksprogramma Urban Technology, nummer 10.
- Li, P.W. en Chan, S.T. (2000). Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. *Meteorol. Appl.* 7:369–375.
- Masson, V. (2000). A Physically-Based Scheme for the Urban Energy Budget in Atmospheric Models. *Boundary-Layer Meteorology* 94:357-397.
- Obradovich, N., Migliorini, R., Mednick, S.C., en Fowler, J.H. (2017). Nighttime temperature and human sleep loss in a changing climate. *Science Advances*, 3(5), e1601555.
- Stone, K., Daanen, H., Jonkhoff, W., en Bosch, P. (2013). Quantifying the sensitivity of our urban systems: impact functions for urban systems. Nationaal Onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat.
- Swart, R., Fons, J., Geertsema, W., Van Hove, B., Gregor, M., Havranek, M., Jacobs, C., Kazmierczak, A., Krellenberg, K., Kuhlicke, C. en Peltonen, L. (2012). Urban Vulnerability Indicators. A joint report of ETC-CCA and ETC-SIA. ETC-CCA and ETC-SIA Technical Report 01/2012.
- Vitens (2018). Hoeveel water gebruiken we per dag? www.vitens.nl/service/hoeveel-water-gebruiken-we-per-dag (bezocht op 5 juli 2018).
- REALCOOL (2018) Envi-met plants species. Wageningen University & Research, Really cooling water bodies in cities.

1. Bijlage | Groenscenario's

De baten van groen worden berekend aan de hand van twee verschillende groenscenario's die worden vergeleken met de huidige situatie, zie Figuur 25 voor een schematische weergave.

1.1. Bestaande situatie

Het bestaande groen is bepaald aan de hand van de gemeentelijke groen- en bomenkaarten. Particulier groen is niet meegenomen in het berekenen van baten. Bomen zijn meegenomen door het bladoppervlak te bepalen in m². Hierin is een gemiddelde kroondichtheid en radius aangenomen. Het gemeentelijk groen bestaat uit drie soorten groen (gras, cultuurbepanting en natuurlijke beplanting), welke we verzamelen onder *plantsoen oppervlak*.

Een vaak gebruikte indicatie van de hoeveelheid groen in een gemeente is het groenoppervlak per inwoner. In Haarlem is dit nu 24 m²/inwoner (Föllmi et al 2016a) en 50m²/woning. Volgens de Nota Ruimte zou er gestreefd moeten worden naar 75 m²/woning. Nu is dit een kwantitatieve benadering terwijl gebruik en beleving van het groen minstens zo belangrijk zijn (Nuijten 2008).

1.2. Scenario 1: Ontwikkelplannen

Het eerste scenario voor het uitbreiden van groen is een uitbreiding van de groenambitie voor de komende 5 jaar op basis van drie beleidsplannen van de gemeente:

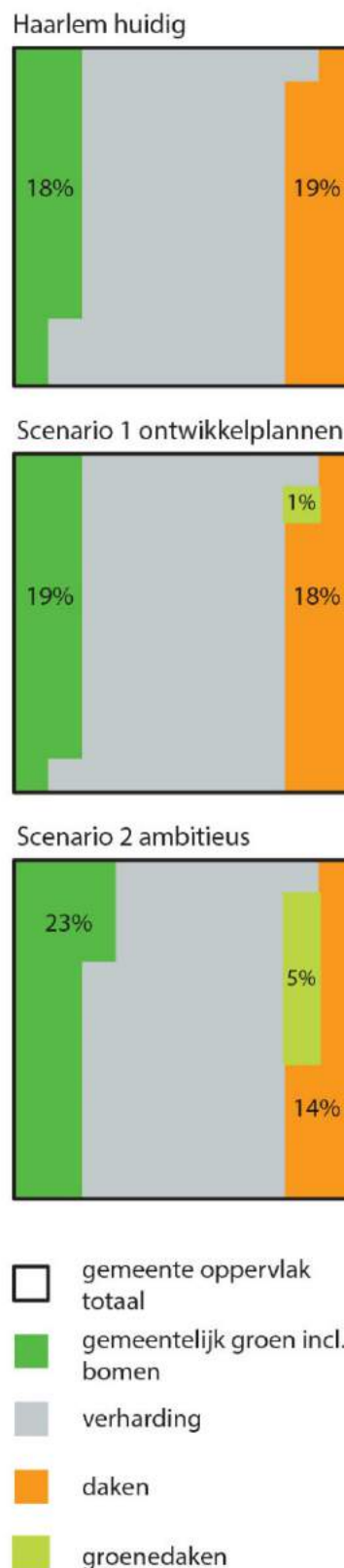
1. Ontwikkellocaties
2. Sleutelprojecten
3. Hoofdbomenstructuur aanvullen

Deze plannen kunnen bij verhogen van ambities samen leiden tot een vergroening van 1,4 procentpunt van het gemeenteoppervlak. Dit is goed voor zo'n 7,5 procent extra groen.

1 Ontwikkellocaties

In Haarlem zijn diverse ontwikkellocaties waar reeds toestemming voor is verleend, in de plan fase verkeren of die potentieel voor ontwikkeling in aanmerking komen. Op basis van steekproef zijn drie ontwikkellocaties bekeken en hebben we een schatting gemaakt van hoeveel m² plantsoen en bomen er worden toegevoegd. De bestudeerde locaties waren voorheen bebouwd of braakliggend terrein waar het bestaande gemeentelijk groen in mindering is gebracht op het nieuw aan te leggen groen. Het gemiddelde van de bestudeerde locaties hebben we geprojecteerd op de overige locaties, zie

Tabel 4.



Figuur 25: Twee scenario's voor vergroening van Haarlem

Een overzicht van de locaties wordt weergegeven op onderstaande kaart van de gemeente in Figuur 26 (Provincie Noord Holland 2018). De huidige plannen voor de ontwikkellocaties zijn goed voor zo'n 0,3 procent extra groen t.o.v. van het totale groenareaal in de gemeente.

Tabel 4: Huidige realisatie van meer groen versus potentiële vergroening voor ontwikkellocaties.

	Huidige plannen	Potentieel
Groene daken intensief <i>binnenstad</i>	- m ²	16.000 m ²
Groene daken sedum <i>gehele stad</i>	- m ²	311.000 m ²
Plantsoen oppervlak en bomen (kroon projectie) extra t.o.v. bestaand <i>om de binnenstad</i>	1.800 m ² (5% van ontwikkelde openbare ruimte)	43.000 m ² (30% van ontwikkelde openbare ruimte)

Voor de ontwikkellocaties in de binnenstad hebben we aangenomen dat er geen extra plantsoenoppervlak en bomen op het maaiveld komen, alleen op de daken. De ontwikkellocaties kunnen potentieel 6,5 procent extra groen toevoegen t.o.v. van het totale groenareaal in de gemeente.

In de drie plannen voor ontwikkellocaties die zijn bestudeerd wordt in geen geval een groen dak gerealiseerd. Dit is een gemiste kans wanneer de wens van de gemeente is om het groenareaal uit te breiden en in de Nota Dak hier de volgende uitspraak over hebben gedaan:

“Niet-toegankelijke daktuinen zijn in Haarlem overal mogelijk. Met name in dichtbebouwde delen van de stad moeten daktuinen worden gestimuleerd om de kwaliteit van binnengebieden te vergroten.” (Peters, et al. 2012)

Daken zijn naar onze mening belangrijk in de vergroening omdat er immers weinig locaties op het maaiveld zijn waar verharding plaats kan maken voor groen. Om inzicht te geven in de potentiële baten van groene daken worden deze meegenomen in het eerste scenario. Hierin gaan we uit van de realisatie van intensieve groendaken op 40% van het nieuwe dakoppervlak van de ontwikkellocaties in de binnenstad, en een sedum dak op 5% van alle daken in de gemeente.

Daken zijn goed voor ruim 5,5 procent extra groen t.o.v. van het totaal groenareaal in de gemeente.

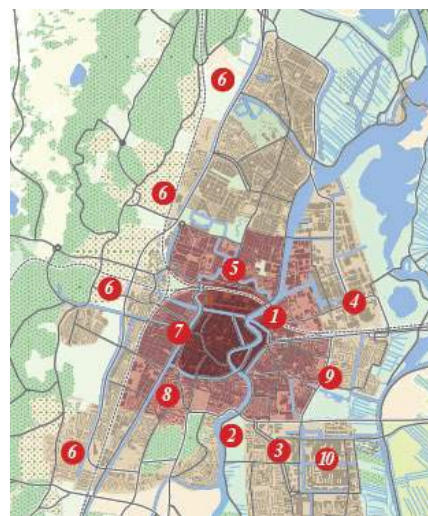


Figuur 26: ontwikkellocaties Haarlem (Provincie Noord Holland 2018)

2. Sleutelprojecten

In de structuurvisie openbare ruimte (SOR 2017) heeft de gemeente tien sleutelprojecten (Figuur 27) gepresenteerd waar aanpassingen van de infrastructuur kansen voor vergroening bieden. Deze zijn zo ver uitgewerkt door de gemeente dat een goed beeld kan worden gemaakt van het groen dat wordt toegevoegd. Over de lengte van de straat waar de projecten zullen worden uitgevoerd is gekeken hoeveel bomen (erbij) komen en hoe breed de extra groenstrook is.

Dit geeft ruim één procent extra groen t.o.v. van het totaal groenareaal in de gemeente.



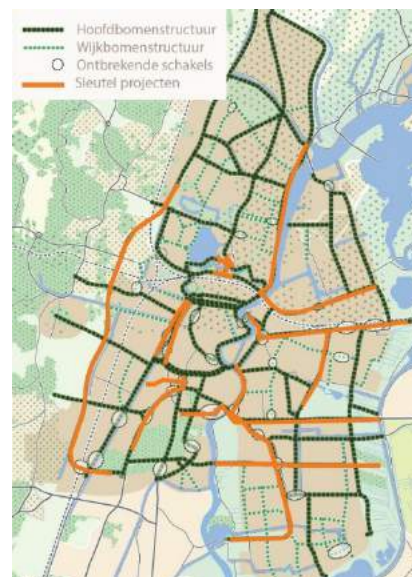
Figuur 27: Overzichtskaart met sleutelprojecten.

3. Hoofdbomenstructuur aanvullen

De structuurvisie openbare ruimte (SOR 2017) toont de onderbrekingen van de hoofdbomenstructuur in Haarlem van minimaal 100 meter, of meerdere van minimaal 50. We hebben een inschatting gemaakt van hoeveel bomen erbij zouden moeten worden geplant om deze structuur aan te vullen.

De sleutelprojecten voorzien al voor een deel in de verbetering van de structuur. In Figuur 28 is deze overlap te zien.

Dit geeft 0,15 procent extra groen t.o.v. van het totaal groenareaal in de gemeente.



Figuur 28: Hoofdbomenstructuurkaart met overlap sleutelprojecten.

1.3. Scenario 2: ambitieus

Het tweede scenario bouwt voort op scenario 1 met een verlenging van de tijdshorizon naar 30 jaar en extra vergroening van daken. Dit scenario leidt tot een vergroening van ruim 10 procentpunt van het gemeenteoppervlak.

1. Groen uitbreiden met 30%
2. Dakgroen op 25% van de gebouwen

1. Groen uitbreiden met 30%

Het bestaande groen wordt uitgebreid met 30% meer bomen en 30% meer plantsoenoppervlak. Deze toevoeging geeft een vergroening van het gemeente oppervlak van 18% naar 23% (vijf procentpunt extra).

2. Dakgroen op 25% van de gebouwen

De nieuwbouw van de ontwikkellocaties zoals die in scenario 1 worden beschreven zullen volledig worden voorzien van een intensief groen dak. Van de bestaande daken wordt 25% voorzien van een sedum dak.

Samen geeft dit een extra vergroening van vijf procentpunt van het gemeente oppervlak.

In de volgende onderzoeksstap wordt dit tweede ambitieuze scenario gebruikt om het effect van vergroening op verkoeling van de stad door te rekenen. Er is daarom gekozen voor 25% van het dakoppervlak om een grote aanpassing te doen welke werkelijk verschil zou kunnen maken in verkoeling tijdens hete dagen. De locatie van de groene daken is hierin nog onbekend. Sedum begroeiing kan op platte en hellende daken worden toegepast. Afhankelijk van de dakhelling zijn er bij schuine daken extra voorzieningen nodig. Voor een intensief groen dak is met name de draagkracht van de constructie van belang. In dit scenario krijgen daken van alleen nieuwe gebouwen in het centrum een intensief groen dak. Dit is tevens het gebied waar extra groen op een andere manier nauwelijks mogelijk is.

Wanneer Haarlem meer inzicht zou wensen in potentiële locaties voor groene daken is daar een nadere verdieping in mogelijk door bijvoorbeeld een analyse van het percentage platte en hellende daken.

2. Bijlage | Soorten groenbaten en kengetallen

De baten zijn bepaald met TEEBstad versie 2018, maar met enige aanpassingen zoals beschreven in ons onderzoek uit 2016 (Kluck et al.). Hiermee kunnen we de batenschatting beter toespitsen op de situatie in Haarlem. In deze bijlage (2.6) zijn in Tabel 5 Tabel 5: overzicht van de kengetallen per thema voor de batenberekening van het huidige groen ter inzage van de gebruikte kengetallen.gebruikte kengetallen opgenomen.

2.1. Gezondheid

Het thema gezondheid is gebaseerd op minder patiënten bij de huisarts en minder arbeidsverlies door groen. (conform TEEB-stad)

Behalve groenoppervlak nemen we ook bomen mee in het aandeel groen. Er zijn bijvoorbeeld straten zonder groenoppervlak, die toch groen ogen door een mooie bomen rij. Daarom nemen we de oppervlakte van boomkruinen hierin voor de helft mee. We nemen niet het gehele boomkruinoppervlak mee omdat groen op grotere hoogte naar onze inschatting minder effect heeft op gezondheid dan een groenoppervlak.

Een vergelijkbare aanpak hebben we gekozen voor het effect van groene daken op gezondheid. Omdat een groen dak voor minder mensen zichtbaar is wordt dit oppervlak voor de helft meegenomen voor de gezondheidsbaten.

De gezondheidsbaten door afvang van fijnstof door bomen wordt niet meegenomen (niet conform TEEBstad). Bomen en planten vangen weliswaar fijnstof af, maar dit is niet maatgevend voor de gezondheid. Niet de kg fijnstofafvang, maar de concentratie fijnstof in de lucht is bepalend voor de gezondheid. Een extra effect van bomen in stedelijk gebied is hun invloed op ventilatie. Door hun afremmende werking op de wind kunnen bomen plaatselijk de concentratie zelfs verhogen. De invloed van groen op de concentratie fijnstof is lastig te interpreteren. Daarmee is het effect van met name bomen te onzeker. In paragraaf 2.3.1 zal deze baat zoals in teebstad wordt meegenomen nog wel apart worden vermeld.

2.2. Energie

Energie baten komen voort uit baten van groene daken door vermindering van de koellast (Ravesloot 2016) en de warmtelast (Moppes et al. 2008). Dit is anders dan in TEEBstad waar deze twee baten niet worden meegenomen In plaats daarvan is het effect van bomen op energieverbruik gebaseerd op het aantal woningen die worden beschermt door bomen.

Zoals beschreven in ons onderzoek (Kluck et al. 2016) neemt door beschutting van bomen de windsnelheid af en wordt er minder energie verbruikt voor verwarming. De eigenschappen van de bomenhaag en de stedelijke context waarin deze staan, zijn van grote invloed op de windreductie. Denk aan de afstand en hoogte van de bomen en aan de situaties met of zonder struiken onder de bomen. In stedelijk gebied is de wind lokaal te variabel voor een algemene uitspraak over de reductie van wind. Door deze onzekerheden hebben we besloten deze baten niet mee te nemen.

2.3. Woningwaarde

De positieve invloed van groen op de woningwaarde wordt bepaald aan de hand van het aantal woningen dat op groen uitkijkt. Nu is er geen duidelijke omschrijving wanneer een woning deze kwaliteit wel of niet heeft. Een definitie van 'uitkijken op groen' is niet gegeven in dit onderzoek. Om voor de

gehele gemeente te kunnen inschatten hoeveel woningen op groen uitkijken hebben we een definitie hiervoor opgesteld en een indicatie gemaakt van hoeveel woningen hieraan voldoen.

Uitkijken op groen is: een combinatie van minimaal twee verschillende groentypen (bijvoorbeeld een groenstrook met bomen of groenegevels met bomen). Alleen één straatboom voor je woning is naar onze inschatting niet voldoende om het effect op de woningprijs te bewerkstelligen. We hebben aangenomen dat in de huidige situatie 30% van de woningen op groen (minimaal twee typen) uitkijkt. In de scenario's is het percentage woningen dat ook dit uitzicht krijgt grof ingeschat. Namelijk 5% in *scenario 1 projecten*, 2% in *scenario 1 groene daken* en 20% in *scenario 2*.

Voor alle woningen die op groen uitkijken hebben we een stijging van 5% van de gemiddelde WOZ-waarde over heel Haarlem aangehouden (TEEBstad gaat uit van 5-12%). In plaats van deze eenmalige woningwaarde om te rekenen naar een jaarlijkse baat hebben we de inkomsten die de gemeente en het rijk aan belasting over deze stijging jaarlijks binnenkrijgen in de vorm van WOZ en OZB berekend (conform onderzoek hva).

2.4. Recreatie

Dit thema is in TEEBstad gebaseerd op twee aspecten: winst van ondernemers en het aantal nieuwe recreanten door groen.

Voor beide thema's blijken invoercijfers niet (compleet) beschikbaar. Zo zijn er geen cijfers over de gemiddelde omzet van winkels in Haarlem en is er geen studie die een inschatting maakt naar het aantal nieuwe recreanten die de gemeente verwacht door vergroening.

Wat we wel hebben zijn het huidige aantal bezoekers van musea, bioscopen en theaters uit de binnenstadsmonitor. Er ontbreken hierin bezoekers aan winkels, horeca en evenementen.

Voor de huidige situatie kunnen we hiermee rekenen, maar voor de vergroeningsscenario's hebben we een zeer grove inschatting moeten maken met hoeveel procent het aantal bezoekers toeneemt. Namelijk 10% in *scenario 1 projecten*, 5% in *scenario 1 groene daken* en 50% in *scenario 2*. Omdat een goede onderbouwing voor deze toename nog ontbreekt zijn deze baten onzeker.

2.5. Waterhuishouding

Deze baten bestaan in TEEBstad uit vermindering van waterschade en rioolzuiveringskosten. Het eerste subthema, waterschade, hebben we op nul gezet omdat bomen en gras op zichzelf geen noemenswaardig effect hebben op minder waterschade tijdens een extreme bui (in tegenstelling tot de aanname van TEEBstad). Groen kan wel worden ingericht zodat deze water kan bergen, maar daar moet specifiek op worden ingezet.

Wel zijn de baten van vermindering op rioolwaterzuivering meegenomen. Hierin zijn twee verschillende elementen meegenomen die beide de afvoer van regenwater verminderen: groenoppervlak inclusief de groene daken en het bladerdek. Het bladerdek hierin is nieuw; de hoeveelheid water die een boom kan vasthouden in de kruin is relatief groot bij langdurige zachte regen, echter het effect bij stortregen of harde wind is zeer gering (Jong, 2001).

2.6. Kengetallen

Tabel 5: overzicht van de kengetallen per thema voor de batenberekening van het huidige groen ter inzage van de gebruikte kengetallen.

Haarlem huidig thema teeb		beschrijving	aantal/invoer	eenheid	kengetal	baten jaarlijks
1		Gezondheidskosten reductie				€ 12.508.791
1a		minder patiënten huisarts	2444,81	pers	868	€ 2.122.094
1b		minder arbeidsverlies	1638,02	pers	6341	€ 10.386.697
2		Energieverbruik				€ -
2a		minder warmte lasten	0	m ³	0,66	€ -
2b		minder koel lasten	0	kWh	0,2	€ -
3		Woningwaarde stijging (groene tov	€ 5.687.878.284	% waarde stijging bij uitzicht op groen	5%	
3a		OZB	€ 284.393.914	% over waarde stijging	0,15%	€ 426.591
3b		WOZ	€ 284.393.914	% over waarde stijging	0,75%	€ 2.132.954
4		Recreatie				
		meer recreatie aantal extra recreanten)	1536000	aantal extra recreanten	1	€ 1.536.000
6		Waterhuishouding				€ 1.514.434
6a		bescherming tegen wateroverlast	0	aantal woningen geen schade	3500	€ -
6b		minder afvoer door groenoppervlak	5872299	m ²	0,25	€ 1.468.075
6b		minder afvoer door bladerdek	92718	m ³	0,5	€ 46.359

totaal	€ 16.582.770	excl recreatie
	€ 18.118.770	incl recreatie

3. Bijlage | Modelberekeningen regio Haarlem

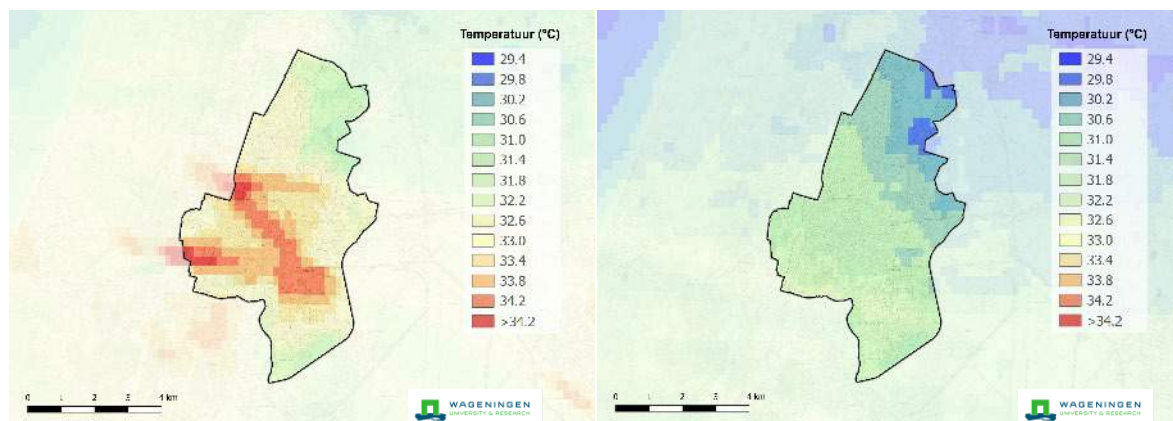
3.1. Aanpak

Het eerste deel van deze studie gaat om een inschatting van de verkoelende werking van vergroening op de schaal van de stad. Voor de huidige situatie en het ambitieuze groenscenario uit het eerste onderzoeksdeel (zie Figuur 25) wordt een warme periode doorgerekend met het regionale weermodel RAMS (Regional Atmospheric Modelling System; Cotton et al., 2003), waaraan een speciale stadsmodule, TEB (Town Energy Balance; Masson, 2000; Hamdi en Masson, 2008) is gekoppeld. Hiermee wordt de weersituatie in de periode 15 t/m 25 juli 2006 opnieuw doorgerekend, éénmaal voor de huidige situatie en éénmaal met de vergroening. In de genoemde periode was sprake van een hittegolf waarvan verwacht wordt dat die qua intensiteit in de toekomst steeds vaker zal voorkomen. Warme lucht werd met een overwegend oost- tot noordoostenwind aangevoerd. Bij Schiphol steeg de maximumtemperaturen op drie dagen tot boven 30°C, met een periodemaximum van 33.7 °C op 19 juli. Gedurende zes nachten kwam het kwik niet onder de 18°C en van deze nachten bleef er één warmer dan 20°C, namelijk op 20 juli.

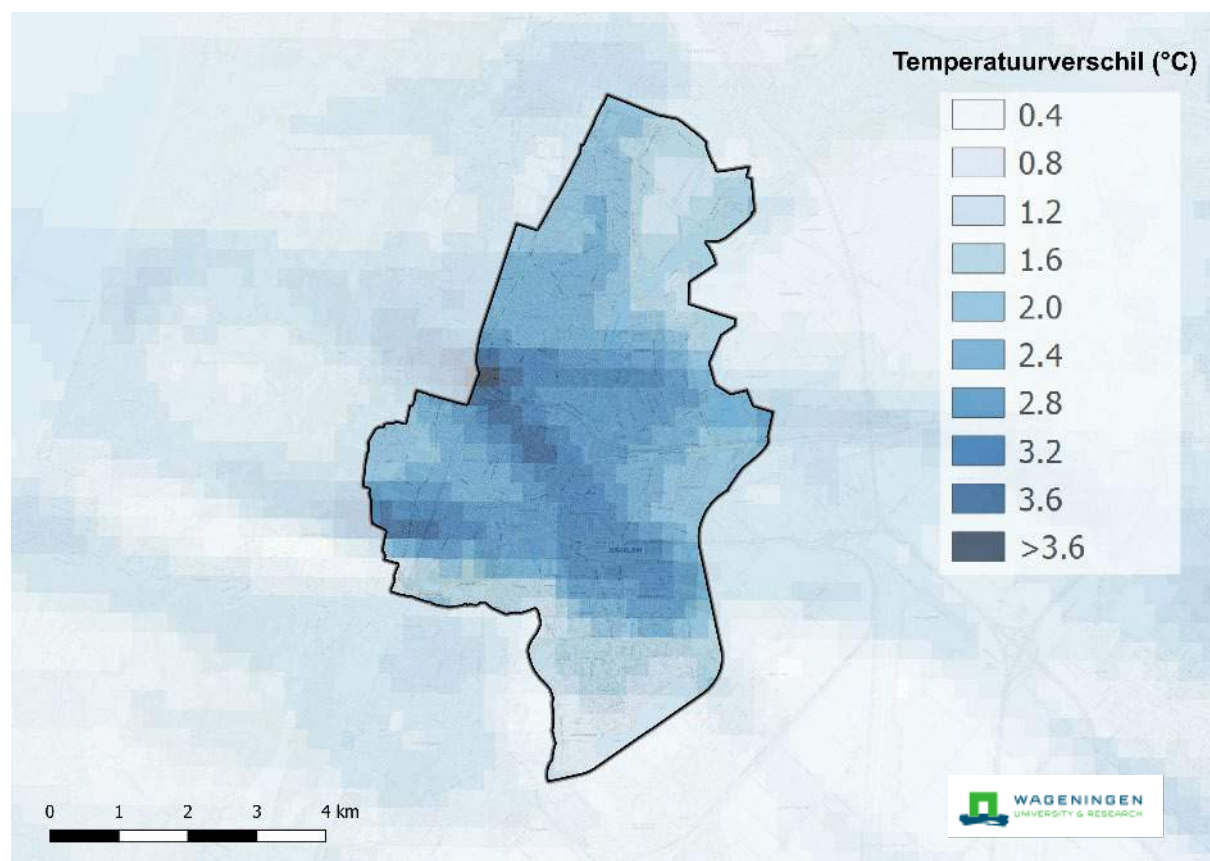
Voor de regio Haarlem is het model gebruikt met een raster met mazen van 250m x 250m. Het vergroeningsscenario is in het model toegepast op alle als “bebouwd” geclassificeerde delen van het rooster, dus ook voor gebieden buiten Haarlem. Het type groendak dat in het scenario 25% van het dakoppervlak (5% van totale gemeente oppervlak) beslaat is een intensief groendak met een dikke substraat laag. Dit is in het model nagebootst door te kiezen voor een groen dak met een hoge mate van verdamping. Op straatniveau wordt geen onderscheid gemaakt tussen vegetatietypes. Dit betekent dat alleen het verdampingseffect van vegetatie wordt berekend. Op deze schaal is dit het meest relevante effect omdat schaduw effecten van bijvoorbeeld bomen zeer lokaal zijn en zich niet meteen laten vertalen in een effect op luchttemperatuur. Schaduw heeft wel gevolgen voor de gevoelstemperatuur, maar deze vormde geen onderdeel van de huidige studie.

3.2. Berekende luchttemperatuur op loopniveau, 19 juli 2006, 15:00 uur

De warmste dag van de doorgerekende hittegolfperiode was 19 juli 2006

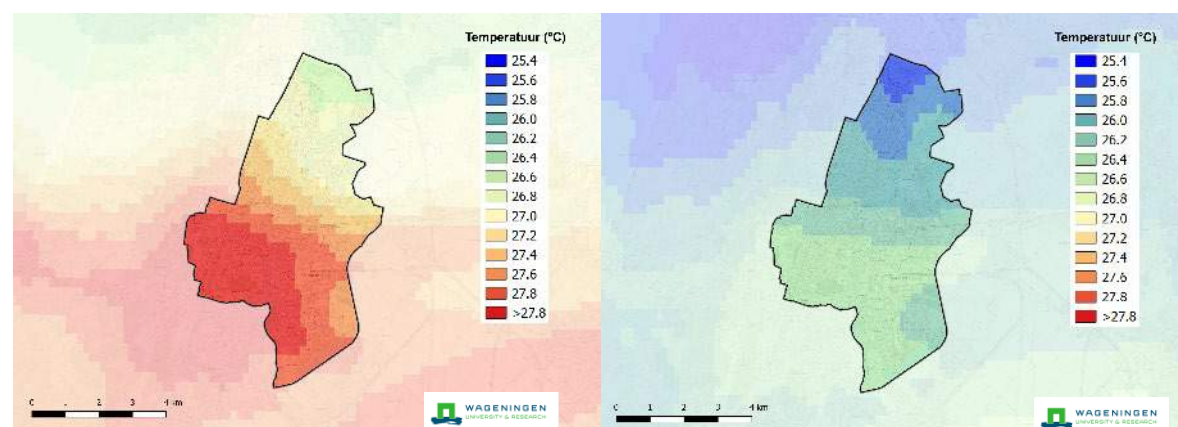


Figuur 29: Berekende luchttemperatuur op loopniveau, 19 juli 2006 15:00 uur, zonder vergroening (links) en met vergroening (rechts).

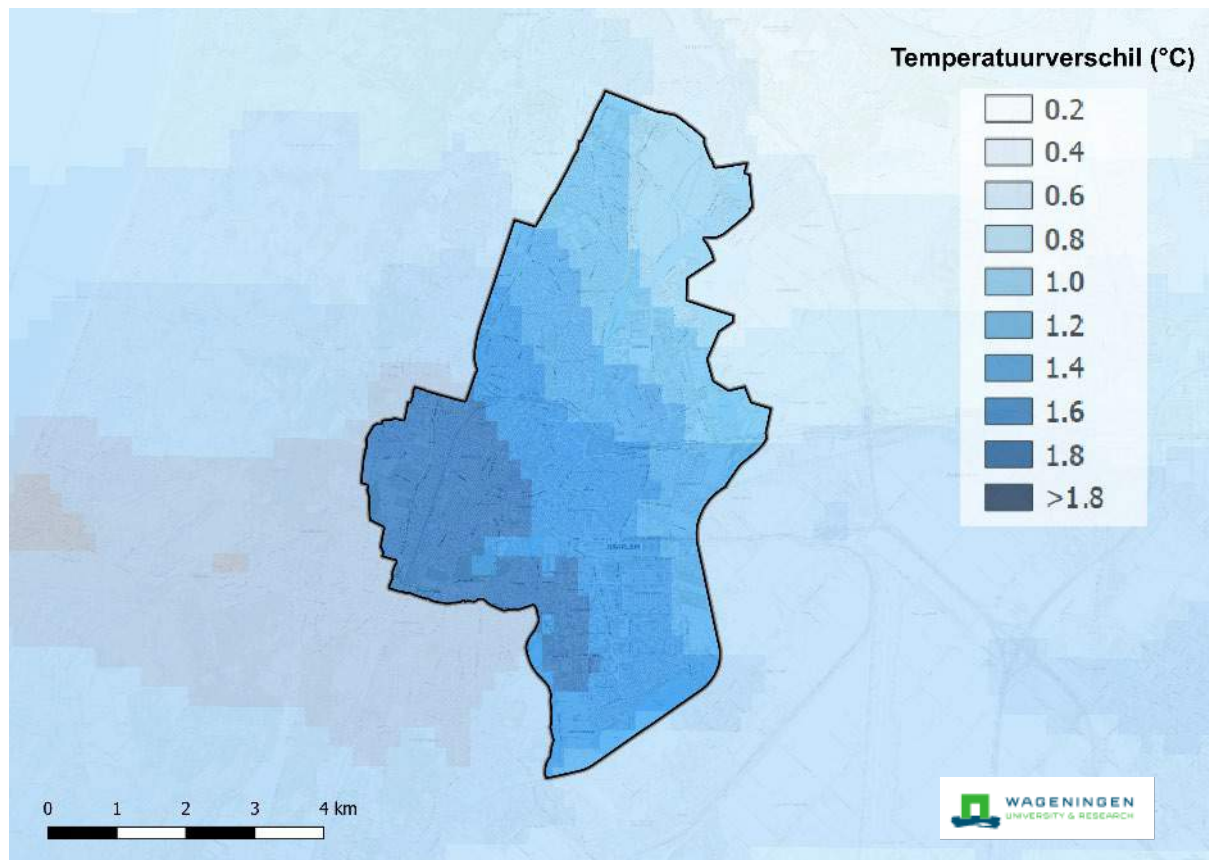


Figuur 30: Berekend verschil in luchttemperatuur op loopniveau, 19 juli 2006 15:00 uur, tussen de situatie zonder en met vergroening.

3.3. Berekende luchttemperatuur op loopniveau, 20 juli 2006, 05:00 uur
De warmste nacht van de doorgerekende hittegolfperiode was 20 juli 2006.



Figuur 31: Berekende luchttemperatuur op loopniveau, 20 juli 2006 05:00 uur, zonder vergroening (links) en met vergroening (rechts).



Figuur 32: Berekend verschil in luchttemperatuur op loopniveau, 20 juli 2006 05:00 uur, tussen de situatie zonder en met vergroening.

3.4. Schaduw effect op gevoelstemperatuur

Een belangrijk effect op de gevoelstemperatuur van met name bomen is schaduwwerking. Dit effect is voor een groot deel te danken aan een daling van de gevoelstemperatuur in de schaduw en lokaal voelbaar op loopniveau (Höppe, 1999). Het hier gebruikte model houdt hiermee niet expliciet rekening. Wel kunnen we een eerste, ruwe inschatting maken van het schaduw effect. Dat hebben we gedaan door voor overdag een schatting te maken van de hoeveelheid zonnestraling op een plek in de zon en in de schaduw. Die uitkomst is gebruikt in berekeningen van de gevoelstemperatuur, in dit geval de UTCI (Universal Thermal Climate Index; Blazejczyk et al., 2012; Jendritzky et al., 2012). De straling in de zon is de totale binnenkomende straling die volgens het model boven de stad gemeten zou worden, de straling in de schaduw is typisch ongeveer 20% daarvan bij zonnig weer (Erbs et al., 1982). Verschillen in luchttemperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid tussen een plek in de zon of in de schaduw in een straat zijn doorgaans klein en worden hier verwaarloosd. Voor elk roosterpunt van het model kunnen we

Tabel 6. Uit modelberekeningen geschatte gevoelstemperatuur in UTCI (°C) voor iemand die in de schaduw loopt of in de zon. De UTCI waarden zijn gemiddeld over heel Haarlem.

<i>Scenario</i>	UTCI 15u, gemiddeld		UTCI 15u, 19 juli	
	<i>Schaduw</i>	<i>Zon</i>	<i>Schaduw</i>	<i>Zon</i>
Huidig	26,5	29,9	32,8	36,1
Huidig, groen	25,9	29,4	31,1	34,5

zo de UTCI berekenen voor iemand die in de zon, respectievelijk schaduw loopt om 15u in de middag, al is de exacte locatie van die plek niet bekend. Het resultaat is weergegeven in Tabel 6, gemiddeld over de hele periode (15-25 juli) en voor de warmste dag (19 juli). In beide gevallen zijn de UTCI waarden gemiddeld over de hele stad. De tabel laat zien dat het schaduweffect ("Zon" – "Schaduw") veel groter is dan het verdampingseffect ("Huidig" – "Huidig, groen"). Op de warmste dag is de UTCI in de schaduw gemiddeld over heel Haarlem ruim 3°C lager. Dit illustreert het belang van schaduw voor verkoeling (Klok et al., 2018). Wel moet nogmaals benadrukt worden dat dit effect erg lokaal is – iemand loopt onder een boom of net niet. Maar dan nog, komt hier een duidelijk voordeel naar voren van vergroening waarbij bomen een belangrijke rol spelen, bij een vergelijking van de UTCI op 19 juli, tussen de huidige situatie in de zon en de situatie in een sterk vergroend Haarlem in de schaduw van een boom. Het verschil bedraagt 5°C (36,1 – 31,1), waarvan 1,6 °C te danken is aan het verdampingseffect van de vergroening (36,1 – 34,5) en 3,4°C aan het lokale schaduweffect (34,5 – 31,1). Op sommige plekken in de stad zullen de verschillen groter zijn en zal het verschil volgens deze berekeningen 1 klasse in termen van hittestress kunnen bedragen (bijvoorbeeld "gematigd" in plaats van "sterk", of "sterk" in plaats van "extreem").

4. Bijlage | Maatschappelijke baten van verkoeling

De CliCo tool en de NKWK methodiek leiden in eerste instantie tot landelijke cijfers die naar Haarlem worden omgerekend op basis van de verhouding tussen het inwoneraantal van Haarlem en het landelijke inwoneraantal in 2017. Deze verhouding is geschat op $160000/17000000 = 0,0094$. Daarnaast is hier rekening gehouden met het bruto Haarlems product per inwoner (zie beneden).

In feite berekent de tool de kosten (klimaatschade) voor het geval er geen enkele adaptatiemaatregel wordt genomen. In deze studie gaat het dus om het antwoord op de vraag: 'wat kost het als we helemaal niets doen tegen hitte?'. Daarbij is hier vooralsnog geen inflatiecorrectie toegepast, zodat ook uitkomsten voor het toekomstig klimaat representatief zijn voor het hedendaagse prijsniveau.

De onderliggende cijfers van de relatie tussen hitte en sterfte komen uit landelijke gegevens; uit de sterftecijferreeks van Haarlem kan een dergelijk trend niet worden afgeleid omdat het inwoneraantal van Haarlem te klein is voor zo'n analyse. De daaruit door Stone et al. (2013) afgeleide wiskundige relatie tussen gemiddelde dagtemperatuur en oversterfte wordt toegepast om het effect van temperatuur op mortaliteit te berekenen.

Voor de berekening van effecten van hitte op arbeidsproductiviteit baseren we ons op een studie uit Duitsland (Hübler et al., 2008). Gezien de grote onzekerheden in de relatie tussen hitte en arbeidsproductiviteit stellen zij op basis van een literatuurstudie een behoudende schatting voor. Daarin wordt het verlies aan arbeidsproductiviteit op 3% gesteld op dagen met sterke hittestress en 12% op dagen met extreme hittestress. Om deze condities te definiëren baseren we ons op twee indices. Dit doen we om een gevoel te krijgen voor de onzekerheid die verschillende definities van hittestress met zich meebrengen.

De eerste index is de zogenoemde Wet Bulb Globe Temperature (WBGT; Budd, 2015). Dit is een internationaal veelgebruikte gevoelstemperatuur om aan te geven wanneer in een gegeven weersituatie de omstandigheden slecht werkbaar of onwerkbaar wordt geacht. De WBGT wordt ook toegepast in de NKWK studie. In de WBGT zijn effecten van luchttemperatuur, luchtvochtigheid, straling en windsnelheid verwerkt. De WBGT waarden zijn doorgaans lager dan de luchttemperatuur. We nemen aan dat een dag met sterke hittestress ("Hot: extreme caution") optreedt wanneer de maximale WBGT een waarde tussen 24 en 28 °C bereikt en extreme hittestress ("Very hot: danger" en "Sweltering: extreme danger") als de WBGT op een dag hoger wordt dan 28°C (Blazejczyk et al., 2012). Dit zijn wat lagere grenswaarden dan oorspronkelijk werden voorgesteld voor goed getrainde militairen. De WBGT wordt geschat uit standaard weergegevens volgens de methode van Dunne et al. (2013), waarbij alleen standaard weergegevens nodig zijn (temperatuur, luchtvochtigheid en luchtdruk).

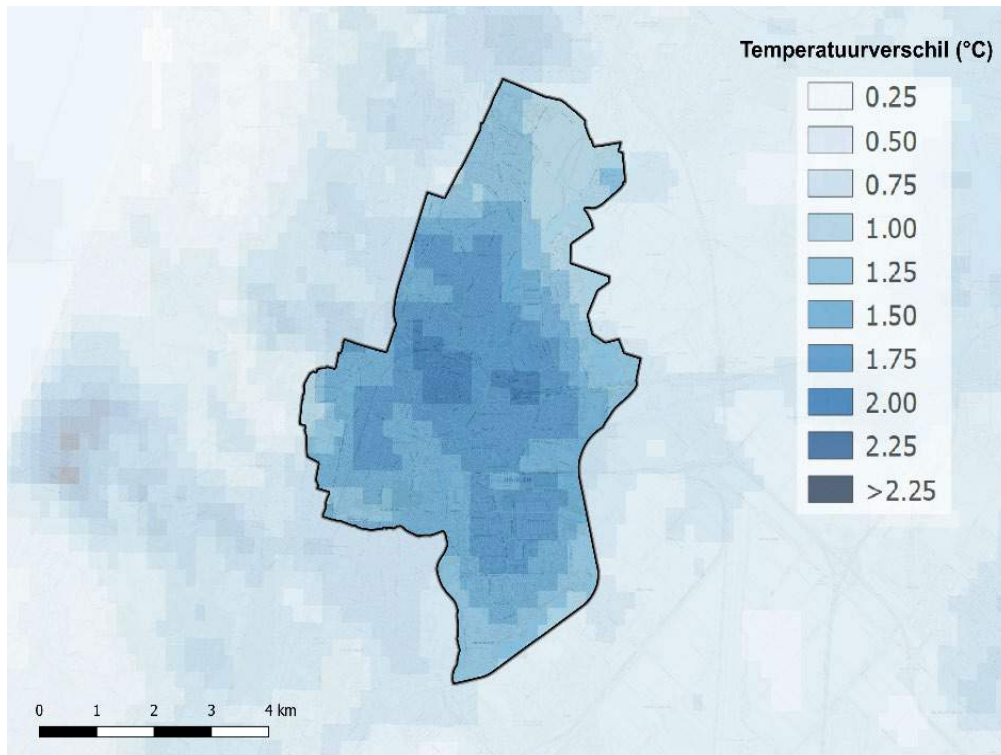
De tweede index is de zogenoemde Effective Temperature (ET; Blazejczyk et al., 2012; Li and Chan, 2000). ET is een functie van temperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid en heeft als voordeel, dat deze index als enige van de relatief simpele indices een tamelijk sterk lineair verband vertoont met de Universal Thermal Climate Index (UTCI; Blazejczyk et al., 2012). Dit is met behulp van meetgegevens uit Rotterdam voor Nederland geverifieerd (Swart et al., 2012). De UTCI wordt op zijn beurt gezien als een nieuwe mondiale standaard voor thermisch comfort indices, maar is in tegenstelling tot ET niet heel gemakkelijk uit standaard weergegevens te berekenen. Ook de ET heeft onder warme omstandigheden waarden die lager zijn dan de luchttemperatuur. We nemen aan dat een dag met sterke hittestress optreedt wanneer

de maximale ET een waarde tussen 23 en 27°C bereikt en extreme hittestress als ET op een dag hoger wordt dan 27°C (Blazejczyk et al., 2012).

Voor het bruto binnenlands product van Haarlem gaan we uit van 29524,-- Euro per inwoner (Gemeente Haarlem, 2018). Dit is de meest recente schatting die in feite geldt voor het jaar 2014. Dit bedrag verdelen we evenredig over alle dagen van het jaar. Het bruto binnenlands product van de stad Haarlem stellen we daarmee op 12,9 miljoen Euro per dag ($160000 * 29524 / 365$). Gezien alle onzekerheden corrigeren we dit bedrag niet voor eventuele in 2014 opgetreden reducties van de arbeidsproductiviteit door hitte.

Voor de berekening van kosten door extra ziekenhuisopnames gaan we uit van de in Stone et al. (2013) gegeven wiskundige relatie tussen gemiddelde dagtemperatuur en aantal ziekenhuisopnames. Deze is op zijn beurt gebaseerd op een studie in Wales (Parsons et al., 2011). We nemen aan dat de kosten van een ziekenhuisopname 5000,-- Euro bedragen. Dit is iets meer dan in Stone et al. (2013), die uitgingen van 4975,-- Euro per opname in 2010.

De kosten- en batenschattingen voor ziekenhuisopnames en oversterfte gebeuren op basis van daggemiddelde temperaturen, in het geval van arbeidsproductiviteit nemen we maximum temperaturen, maximum windsnelheid en minimum luchtvochtigheid (deze gaan vaak samen op warme zomerse dagen). Bij de temperaturen wordt het stedelijk hitte-eiland niet opgeteld omdat we ervan uitgaan dat dit impliciet verwerkt is in de gebruikte relaties. Die zijn gebaseerd op waarnemingen aan het weer buiten stedelijk gebied, maar op corresponderende sociaal economische data van stedelijk (bebouwd) gebied. In de kostenschattingen gaan we er wel van uit dat effecten van vergroening zoals berekend door RAMS-TEB één op één in de gebruikte relaties verwerkt mogen worden, omdat deze immers een “nieuw” element zijn in de relaties. Dat doen we door de gemiddelde verlaging van de minimum- en maximumtemperaturen, berekend binnen de stadsgrenzen van Haarlem (Figuur 10),



Figuur 10af te trekken van de daggemiddelde temperaturen zoals gemeten bij Schiphol. Dit sluit aan bij de gedachte dat de gemiddelde dagtemperatuur vaak redelijk goed benaderd kan worden door de minimumtemperatuur en de maximumtemperatuur te middelen. Omdat we ons concentreren op hete periodes en de dagen in de berekeningen als onafhankelijk van elkaar worden beschouwd is het geen bezwaar dat we deze reductie op alle daggemiddelde temperaturen toepassen, en niet alleen op de warme dagen.

De gemiddelde verkoeling overdag van 1,35 °C die is berekend door het regionale weermodel is de input voor de aangepaste CliCo tool. Hierin worden 4 kostenberekeningen met elkaar worden vergeleken op basis van de volgende waarnemingen bij Schiphol:

1. Voor het huidige klimaat (1981-2010);
2. Na transformatie volgens het WH scenario van het KNMI (2036-2065) (zie www.knmi.nl);
3. Voor het huidige klimaat, maar met een reductie van de gemiddelde dagtemperatuur met 1,14°C en van de maximum temperatuur met 1,35°C;
4. Voor een WH klimaat, maar met een reductie van de gemiddelde dagtemperatuur met 1,14°C en van de maximum temperatuur met 1,35°C.

5. Bijlage | ENVI-met invoer modellen

Voor de simulatie in ENVI-met gebruiken we een extreme hittegolf dag gebaseerd op afgelopen 30 jaar voor meetstation De Blit. Het temperatuurverloop en de luchtvochtigheid zijn hierop gebaseerd. Het gaat om een vrijwel onbewolkte dag met lage windsnelheid uit oostelijke richting.

Het profiel dat we doorrekenen is dat van de Voorzorgstraat- De Clerqstraat.

INPUT file:

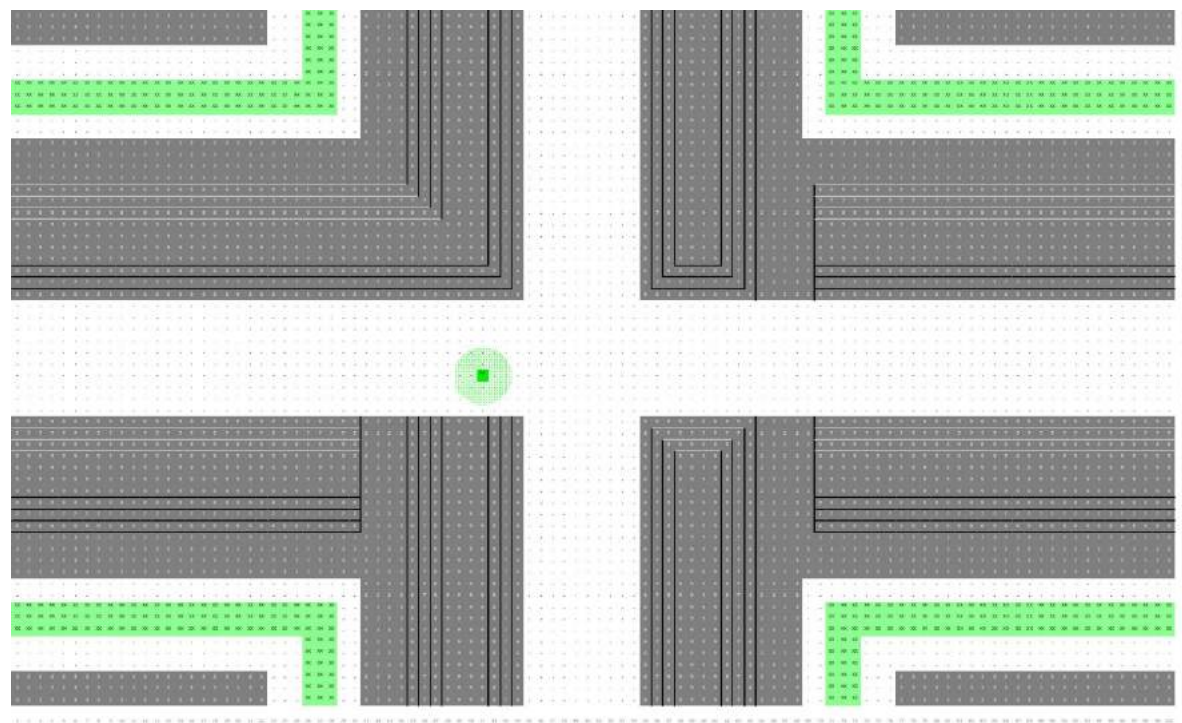
- x, y, z model afmeting in meters: 100*60*35
- aantal nest cellen: 6
- x, y, z grid: 1*1*1m
- na 10 meter hoogte telescoop factor 1,15%
- model rotatie: 17 graden
- bodem soort: zand en bij groenvakken leem

De huidige situatie heeft een zeer kleine boom, in de nieuwe situatie kiezen we voor een boom die een gelijke kroondiameter heeft met een grotere hoogte. Voor de invoer van de openheid van het bladerdek gebruiken we de volgende LAD: open: 1,5; dense: 2,5; very dense: 3,5 (Endalew et al. 2012). Voor de reflectie van het bladerdek is dat een albedo van 0,18 dat gelijk is aan de gekozen reflectiefactor in eerder onderzoek zoals 'Really cooling water bodies in cities' (REALCOOL 2018). In Tabel 7 worden de boomeigenschappen gegeven die zijn gebruikt voor de groenvarianten.

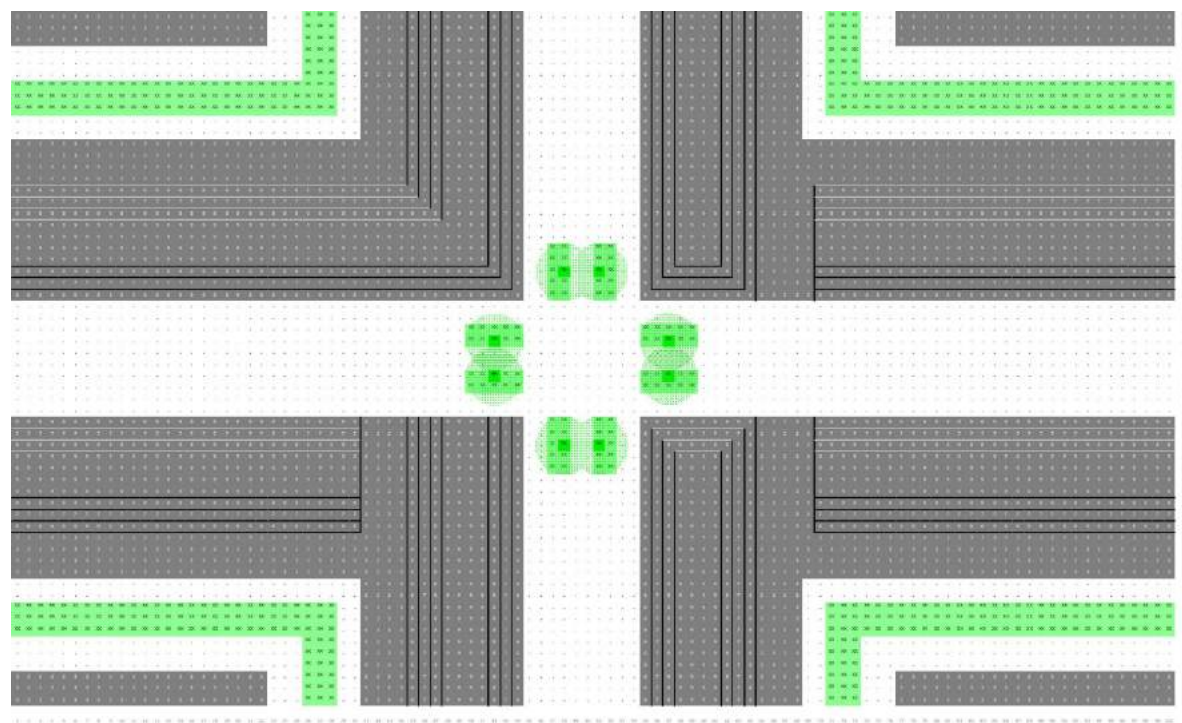
Tabel 7: Bomen in ENVI-met

code	naam	variant	hoogte	diameter	Stam hoogte	Kroon hoogte	albedo	LAD
PA	Populus Alba (Witte Abeel)	Huidig	7	5	2	7	0,70	2
B6	Ulmus Hollandica (Hollandse Iep)	Variant 1 t/m 4	10	5	3	10	0,18	2
xx	grass		0,5	- Grid afhankelijk			0,20	
P1	Pergola 3 m	Variant 4	3	- Grid afhankelijk	2,8	3	0,18	1,5

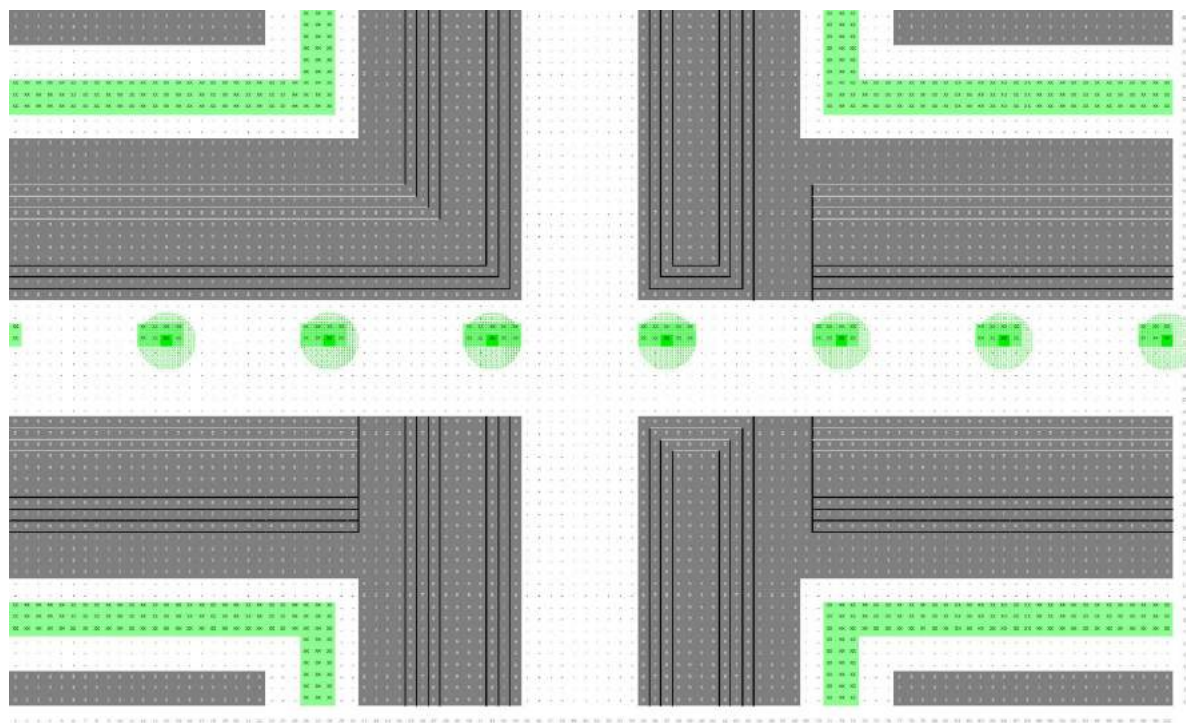
De volgende figuren zijn een afbeelding van de input files in ENVI-met waarmee de varianten berekend zijn.



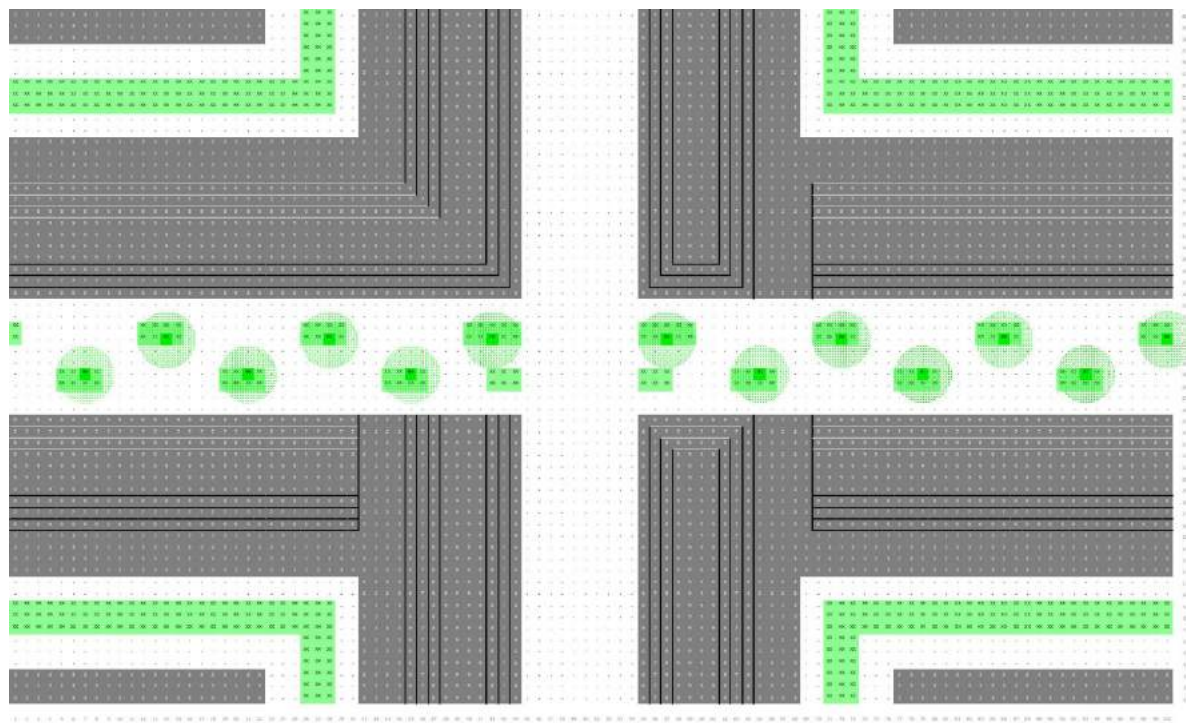
Figuur 33: huidige situatie met 1 boom op de hoek



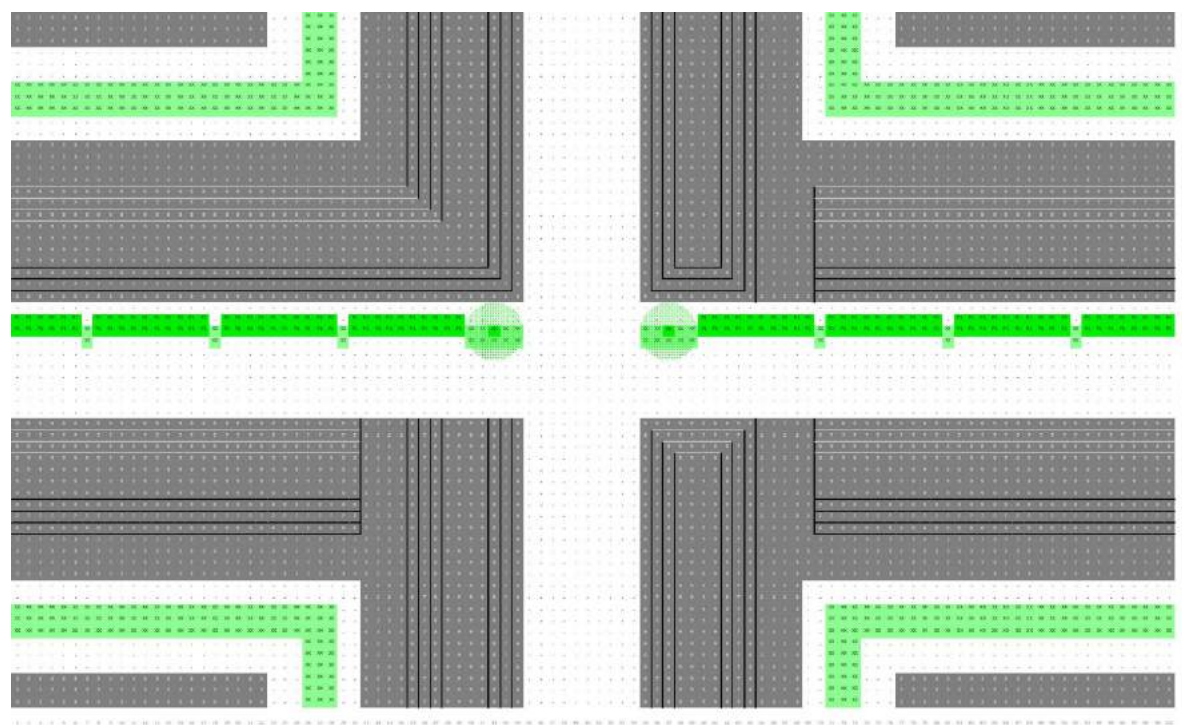
Figuur 34: Variant 1 met acht bomen op de hoeken van de straat



Figuur 35: Variant 2 met een enkele bomenrij



Figuur 36: Variant 3 met een dubbele bomenrij

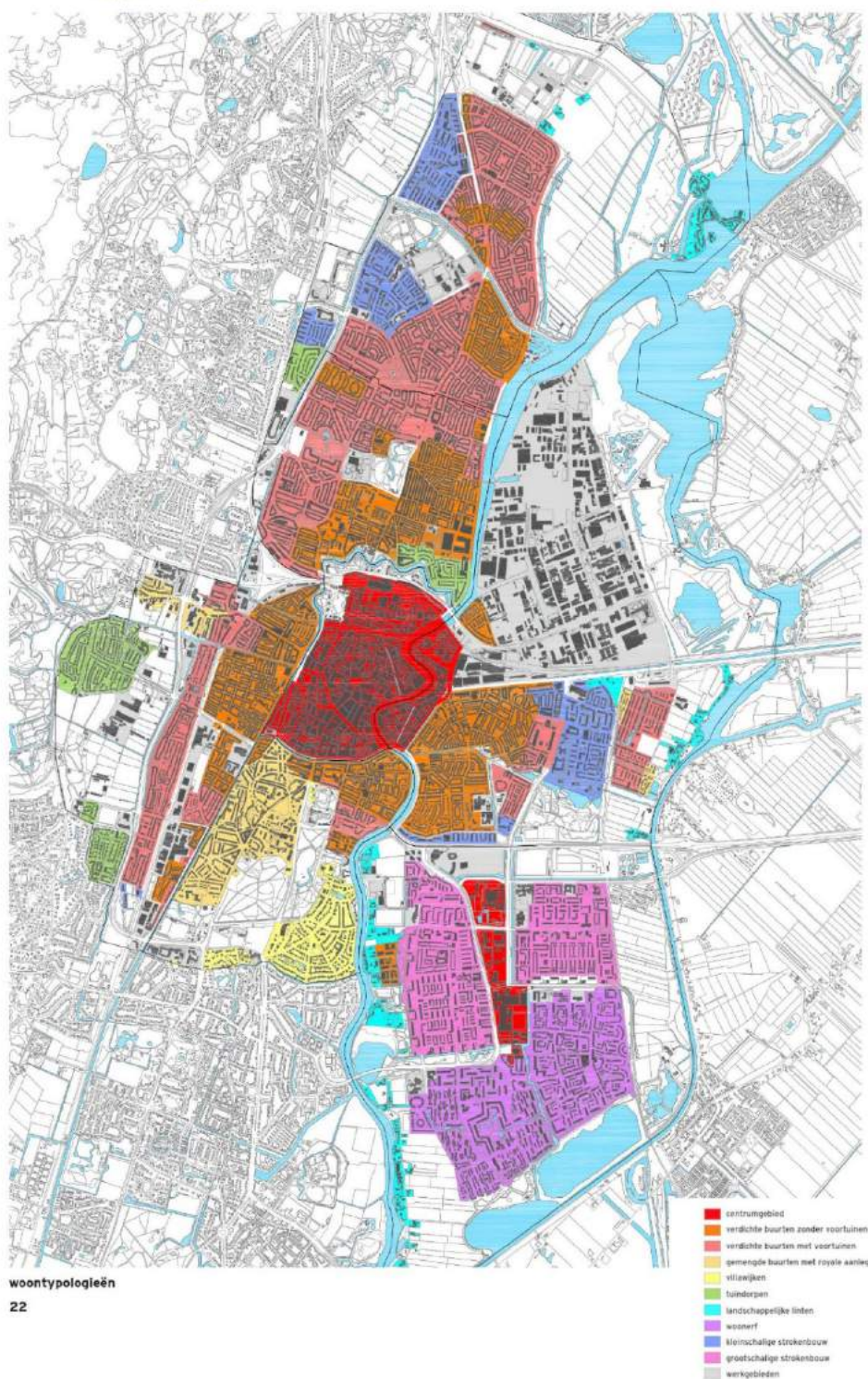


Figuur 37: Variant 4 met een pergola aan 1 zijde van de straat

6. Bijlage | wijktypen in gemeente Haarlem

woontypologieën

Gr5



Figuur 38: Woontypologieën Haarlem uit Groenstructuurplan 2009 (Föllmi et al 2016b).