

Klimaatbestendige Steden

Voortgangsrapportage Climate Proof Cities 2013

Work in progress

December 2013



Klimaatbestendige Steden, Voortgangsrapportage Climate Proof Cities 2013

Datum: December 2013

Climate Proof Cities consortium¹

Eindredactie: Vera Rovers, Peter Bosch, Ronald Albers (TNO)

Climate Proof Cities is onderdeel van het nationale onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat, mede gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

¹ <http://www.knowledgeforclimate.nl/climateproofcities>

Colofon

Aan dit rapport (en onderzoeksprogramma) hebben vele onderzoekers bijgedragen (zie bijlage A). De hoofdredactie van de inhoudelijke hoofdstukken komt van de werkpakkettrekkers:

- Hoofdstuk 2 Bert van Hove (Wageningen University)
- Hoofdstuk 3 Bert Blocken (TU Eindhoven)
- Hoofdstuk 4 Andy van den Dobbelsteen (TU Delft)
- Hoofdstuk 5 Tejo Spit, Marjolein Dikmans (Universiteit Utrecht)
- Hoofdstuk 6 Peter Bosch (TNO)

De directe invulling van de hoofdstukken (in tekstbijdragen en onderzoeksresultaten) is afkomstig van de volgende personen:

Hoofdstuk	Onderwerp	Naam	Instituut
2.1	Monitoring netwerk	Bert van Hove Cor Jacobs Jan Elbers Oscar Hartogensis	Wageningen UR
2.2.1	Modellerings meso-schaal	Reinder Ronda Sytse Koopmans	Wageningen UR
2.2.2	Modellerings micro-schaal	Patrick Schrijvers	TU Delft
3.1.1	Gevoeligheid t.a.v. hitte	Hein Daanen	TNO
3.1.2	Gebouwkenmerken	Bert Blocken Mike van der Heijden	TU Eindhoven
3.1.3	Straatprofielen	Wiebke Klemm/Irina Hotkevica	Wageningen UR
3.1.4	Kwetsbaarheidskaarten hitte	Frank van der Hoeven Alexander Wandl	TU Delft
3.2	Gevoeligheid t.a.v. wateroverlast	Karin Stone	Deltares
4.1.1	Opwarming binnenshuis	Twan van Hooff	TU Eindhoven
4.1.2	Verdampingskoeling - straat	Hamid Montazeri Bert Blocken	TU Eindhoven
4.2.1	Groene infrastructuur (metingen, interviews)	Wiebke Klemm Sanda Lenzholzer Bert Heusinkveld Bert van Hove Adri van den Brink	Wageningen UR
	Groene infrastructuur (CFD simulaties)	Christof Gromke Bert Blocken Wendy Jansen Twan van Hooff/Bart Merema Harry Timmermans	TU Eindhoven
4.2.2	Verdampingskoeling - buurt	Twan van Hooff/Yasin Toparlar	TU Eindhoven
4.2.3	Omgaan met extreme neerslag	Toine Vergroesen Elgard van Leeuwen	Deltares
4.2.4	Actieve koeling	Reinder Brolsma	Deltares
4.2.5	Stedelijke structuur	Laura Kleerekoper Andy van den Dobbelsteen Truus Hordijk Machiel van Dorst	TU Delft
4.3.1	Coolspots	Leyre Echevarría Icaza Frank van der Hoeven Andy van den Dobbelsteen	TU Delft
5.1	Gemeente	Caroline Uittenbroek Anita Kokx † Liz Root Tejo Spit Marjolein Dikmans	UvA Universiteit Utrecht Radboud Universiteit Universiteit Utrecht Universiteit Utrecht
5.2	Woningcorporatie	Martin Roders	TU Delft
5.3	Burgers	Beitske Boonstra	TNO
6.1	Klimaatadaptatiestrategie	Peter Bosch Chris Zevenbergen	TNO Unesco-IHE
6.2	Bergpolder Zuid	Annemarie Groot Cor Jacobs Peter Bosch	Wageningen UR Wageningen UR TNO

Voorwoord

Het laatste jaar van Climate Proof Cities (CPC) start. De grote uitdaging is om de diversiteit aan onderzoeksresultaten bij elkaar te brengen tot een samenhangend en overkoepelend verhaal over klimaatadaptatie in de stad. Wat het materiaal laat zien, is dat er geen makkelijke weg is en er niet één of twee grote maatregelen voor handen zijn om de steden klimaatbestendig te maken.

Voor een nationaal programma is de geconstateerde diversiteit een lastig gegeven. Dat laat zich ook terug zien in het deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering van het Deltaprogramma. De vraag daar is welke rol de nationale overheid moet en kan spelen als lokale factoren een zo grote rol spelen. Het deelprogramma heeft maatschappelijke actoren gestimuleerd om een Manifest op te stellen en om ze zo met het onderwerp te verbinden. Het is experimenteren met een nieuwe rol van de overheid: faciliterend, stimulerend en voorbijkomende kansen benuttend (maatschappelijk: burgers of organisaties die wat willen; ruimtelijk: vernieuwing van infrastructuur of gebouwen). Geen eenduidige nationaal geformuleerde aanpak met wetten en regels meer.

De dynamiek die het deelprogramma van het Deltaprogramma doormaakt, is terug te vinden in de voorlopige resultaten van CPC, waar stakeholders en onderzoekers samen werken. Het onderzoek knelpunten (stresstest), identificeert oplossingsrichtingen en strategieën. Geen grand design, voor sommigen misschien een teleurstelling, maar een verscheidenheid aan mogelijkheden!

Deze derde voortgangsrapportage van het consortium CPC geeft de tussenstand na drie jaar onderzoek naar klimaatadaptatie in stedelijk gebied. Met nog één jaar te gaan laten de aio-projecten nu volop resultaten zien. De komende tijd zal de aandacht bij de aio's vooral uitgaan naar afronding van hun promotie. Gelijktijdig zullen de overige onderzoekers het overkoepelende verhaal maken.

In deze voortgangsrapportage worden voorlopige resultaten getoond, zodat onze stakeholders alvast een beeld kunnen vormen van de lopende activiteiten en het eindresultaat. Ook is deze rapportage een manier om informatie uit te wisselen tussen de onderzoekers om zodoende de integratie tussen de afzonderlijke projecten te bevorderen.

Ronald Albers

Consortiumleider Climate Proof Cities

Beleidssamenvatting

Klimaat en stad

Als gevolg van de mondiale opwarming kunnen hete zomers en extreme regenbuien in de toekomst vaker voorkomen in Nederland. De gebouwde omgeving is daarbij extra kwetsbaar, omdat ze warmte vast houdt en een hoger percentage verhard oppervlak heeft waardoor sneller water op straat kan blijven staan bij piekbuien. Kortom, wateroverlast en hoge temperaturen kunnen ervoor zorgen dat de leefbaarheid van de stad in de toekomst afneemt.

Bovendien hebben steden een hoge dichtheid aan inwoners, goederen en infrastructuur en een belangrijk aandeel in de economie, waardoor extreme weersomstandigheden een grote impact kunnen hebben op steden.

Omdat investeringen in de gebouwde omgeving die nu gedaan worden, bijvoorbeeld voor renovatie of nieuwbouw, leiden tot gebouwen en infrastructuren die er over pakweg vijftig jaar nog steeds staan, is het van belang om nu al te overwegen of aanpassingen aan een toekomstig klimaat kunnen worden ingepast. Ook zijn er aanpassingen in de gebouwde omgeving mogelijk die de huidige overlast van extreme weersomstandigheden verminderen.

Er bestaat een heel scala aan mogelijke aanpassingsopties, maar omdat we nog niet goed weten hoe het stedelijk klimaat precies werkt en hoe klimaatverandering dit beïnvloedt, is er nog veel onduidelijk over de effectiviteit van deze maatregelen.

Het onderzoeksprogramma Climate Proof Cities beoogt de kennis aan te dragen die weloverwogen besluiten over de noodzaak en de tijdigheid van de aanpassingen aan klimaatverandering mogelijk maken (zie tekstkader). Het onderzoek van het CPC consortium concentreert zich daarbij op het terugdringen van hittestress en wateroverlast. Deze beleidssamenvatting geeft een overzicht van de voorlopige resultaten halverwege het programma.

De conclusies in deze samenvatting zijn gebaseerd op tussentijdse resultaten die nog kunnen wijzigen in de loop van het programma. Het gebruik van resultaten is daarom voor eigen verantwoordelijkheid.

Climate Proof Cities

Climate Proof Cities (CPC) is één van de thema's binnen het nationale onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat. Het CPC onderzoek levert kennis om steden en de gebouwde omgeving duurzaam te laten functioneren onder veranderde klimaatomstandigheden. Het 4-jarige onderzoeksprogramma besteedt aandacht aan hitte in de stad vanwege toenemende risico's van langdurige warme periodes, en aan wateroverlast door frequentere en intensere regenbuien.

Binnen het consortium werken onderzoekers van verschillende onderzoeksinstituten en diverse achtergronden aan een 20-tal deelprojecten om 5 hoofdonderzoeksvragen te beantwoorden. Om de bruikbaarheid van de uitkomsten in de praktijk te vergroten werken de onderzoekers samen in 4 case studies in verschillende Nederlandse stedelijke gebieden, te weten: Rotterdam, Haaglanden, Amsterdam, Arnhem/Nijmegen, Brabant en Utrecht.

www.knowledgeforclimate.nl/climateproofcities

Samenvatting

1. Hoe werkt het lokale klimaat in Nederlandse steden?

Tijdens hittegolven is het in iedere stad in Nederland, groot én klein, warmer dan in de omgeving. Dit hitte-eilandeffect (UHI) is merkbaar op het leefniveau en wordt veroorzaakt door warmte-absorptie van de (stenige) materialen, het gebrek aan verdamping en de uitstoot van warmte samenhangend met het energiegebruik (antropogene warmte).

Overdag absorberen het grootst de droge en stenige oppervlakten in een stad de zonnestraling. Als de zon ondergaat blijft de bebouwing de geabsorbeerde hitte uitstralen, de luchttemperatuur in de stad hoog blijft. De absorptie van zonnestraling door reflectie tussen gebouwen blijkt de drijvende kracht achter het UHI-effect.

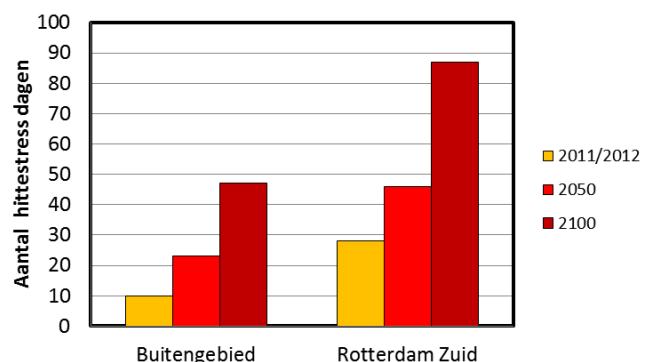
Het atmosferisch UHI, het verschil in luchttemperatuur tussen de stad en de omgeving, is het grootst na zonsondergang en afkoeling in de stad treedt pas op aan het einde van de nacht. Het effect is in de zomer groter dan in de winter en kan op warme dagen oplopen tot 9 °C in de avond.

De mate van extra opwarming vertoont echter een grote variatie binnen een stad en is afhankelijk van de lokale kenmerken. De fractie totaal verhard oppervlak blijkt voor de UHI intensiteit de meest bepalende factor te zijn. Daarnaast zijn het aandeel bebouwd oppervlak en stedelijk groen en de hoogte van de gebouwen van grote invloed op het UHI-effect.

Open water blijkt niet zonder meer een verkoelend effect op de omgeving te hebben. Wanneer gedurende de zomer het water opwarmt, neemt het verkoelend vermogen af.

De beleving van hitte in een stad is van meer factoren afhankelijk dan alleen de temperatuur. De zogenaamde 'Physiologically Equivalent Temperature' (PET) is een maat voor het thermisch comfort en wordt berekend uit gegevens over luchttemperatuur, luchtvochtigheid, straling en windsnelheid. De beperktere blootstelling aan straling in de stad (door schaduwwerking van gebouwen) ten opzichte van het buitengebied is gunstig voor het thermisch comfort; de lagere windsnelheden in de stad hebben juist een negatief effect. Het is nog onbekend welke rol de verschillen in luchtvochtigheid hebben. Door het UHI-effect is het aantal dagen met hittestress in stedelijke gebieden groter dan op het platteland.

Om een indicatie te krijgen van de urgentie van het hitteprobleem in verband met klimaatverandering, zijn de temperatuurreeksen van de stadslocatie Rotterdam Zuid en de referentielocatie in het buitengebied getransformeerd naar temperatuurreeksen voor 2050 en 2100 (figuur 1). Dit geeft aan dat hittestress de komende decennia een belangrijk 'issue' kan worden voor veel steden.



Figuur 1 Het aantal dagen met matige tot sterke hittestress voor de locaties buitengebied en 'Rotterdam Zuid', berekend voor de huidige situatie en halverwege en aan het eind van deze eeuw onder het (W+) KNMI'06 scenario.

2. Hoe kwetsbaar zijn Nederlandse steden voor de effecten van klimaatverandering?

Voor een analyse van de stedelijke kwetsbaarheid vormt de gevoeligheid van mensen voor hittestress of van kapitaalgoederen voor wateroverlast het uitgangspunt.

Wateroverlast

Objecten die gevoelig zijn voor materiaalschade door wateroverlast zijn gebouwen (en interieur) en elektriciteitskastjes. Verder kan er ook economische schade optreden door onderbreking van bedrijvigheid, verkeershinder en elektriciteitsuitval. Daarnaast zijn er kosten voor het inzetten van hulpdiensten en zijn er sociale implicaties indien ziekenhuizen etc minder goed bereikbaar zijn en/of functioneren. Risico's en schade door extreme regenval zijn veelal afhankelijk van een drempelwaarde die per object verschilt, bijvoorbeeld de hoogte waarop schakelkastjes gemonteerd zijn. Vermindering van de blootstelling tijdens extreme buien kan lokaal worden bereikt door te zorgen dat het water beneden de drempelwaarde blijft (door vergroten berging en infiltratie) of door de drempelwaarde te verhogen (bijv hogere drempels, hoger bevestigen schakelkasten).

Hittestress

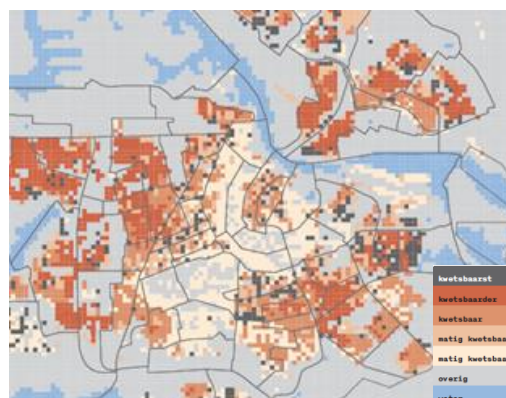
Voorals ouderen boven de 75 zijn gevoelig voor perioden van hittestress en kunnen ziek worden of zelfs sterven. In Nederland stijgt tijdens hittegolven de sterfte met 12% (ongeveer 40 doden per dag extra). Hun lichaamstemperatuur kan tijdens hitteperioden oplopen tot boven de 38 °C. In een poging om in een klimaatkamer te onderzoeken of zij zich zouden kunnen voorbereiden op een naderende hittegolf, blijkt dat een waarschuwingsperiode van drie dagen voor hen, evenals voor jongeren, te kort is om te kunnen acclimatiseren.

Gebouwen kunnen de blootstelling aan hitte verminderen. Helaas blijkt dat voor een groot deel van de Nederlandse gebouwvoorraad, onder de KNMI'06 klimaatscenario's, vaker en langer oververhitting (binnentemperatuur boven de 25 °C) binnen gebouwen zal optreden. Met gebouwsimulaties is onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van woningtypen voor opwarming binnenshuis bij oplopende buitentemperaturen. Hieruit blijkt dat in tussenwoningen en twee-onder-een-kap woningen minder vaak hoge temperaturen en minder uren oververhitting voorkomen dan in vrijstaande woningen en hoekwoningen.

Ook kan de arbeidsproductiviteit dalen wanneer de temperatuur in gebouwen boven de 25 °C uitkomt. Een indicatie van de schade door verminderde arbeidsproductiviteit, binnen niet-gekoelde gebouwen en buiten gebouwen, is afhankelijk van het klimaatscenario, maar kan in de orde van tientallen tot honderden miljoenen Euro's per jaar liggen.

Daarnaast kunnen, zoals we onder vraag 1 hebben gezien, bepaalde stedelijke kenmerken leiden tot meer of minder opwarming van een wijk.

Informatie over de locatie van gevoelige groepen, bijvoorbeeld ouderen, is gecombineerd met hun woonsituatie (woningkwaliteit en wijkeigenschappen als maat voor de blootstelling). Het resultaat is een kwetsbaarheidskaart, zoals die van Amsterdam (figuur 2). De kaart geeft aan welke delen van de stad kwetsbaar zijn voor hittestress. In de hoofdstad blijkt dat aandachtsgebieden aan te wijzen zijn in het westelijk deel van de stad, maar ook in Noord, Oost en Zuidoost.



Figuur 2 Kwetsbaarheidskaart van bewoners Amsterdam ten aanzien van hittestress.

3. Welke maatregelen kunnen genomen worden om steden beter aan te passen aan een toekomstig klimaat?

Binnen CPC worden metingen, computersimulaties en straatinterviews gedaan om inzicht te krijgen in de effectiviteit van individuele maatregelen en van combinaties van maatregelen voor verschillende schaalniveaus. Deze kennis zal in het laatste jaar worden vertaald naar ontwerprichtlijnen.

Van gebouw tot straat

Voor het voorkomen van opwarming binnenshuis kan onderscheid worden gemaakt in nieuwbouw en bestaande woningen. Simulaties voor een rijwoning laten zien dat nieuwbouw (goed geïsoleerde) woningen het meest gebaat zijn bij het weren van zonnestraling voor de gevelopeningen en het creëren van natuurlijk ventilatie door ramen te openen. Bij oudere woningen kan extra isolatie juist een groot effect hebben, maar vaak in combinatie met andere maatregelen, zoals ramen openen en de reflectiewaarde verhogen (albedo). Daarnaast is de oriëntatie van de woning een belangrijke factor in het reduceren van het aantal uren oververhitting in de woning. In de zomermaanden geeft een oriëntatie op het oosten en westen de meeste overschrijdingsuren.

Van straat tot wijk

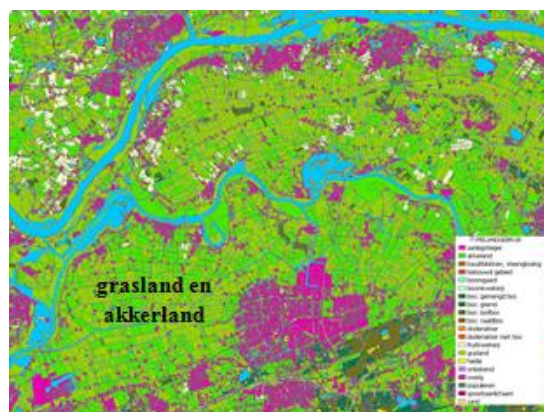
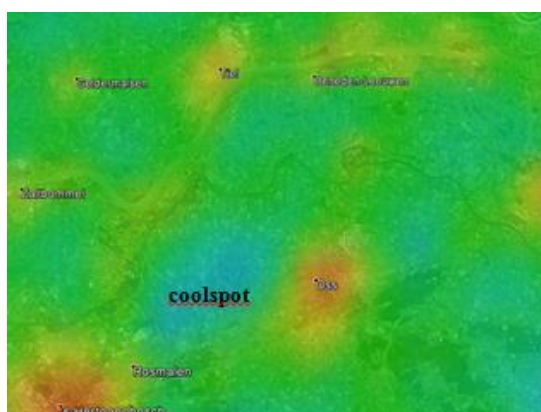
Maatregelen die de luchttemperatuur op straatniveau effectief verlagen zijn het verhogen van de reflectiewaarde (albedo) van het dak, hogere gebouwen, en het toevoegen van vegetatie.

Wat betreft vegetatie verdient het plaatsen van bomenrijen in de straat de voorkeur boven groene gevels en daken. Daarnaast blijkt dat mensen zich thermisch meer comfortabel voelen in straten met veel straatgroen en het ook vanuit esthetisch oogpunt waarderen.

Om de stedelijke watersystemen robuuster te maken tegen wateroverlast zijn vele maatregelen beschikbaar om de bergings- of transportcapaciteit te vergroten, zowel bovengronds als ondergronds. Binnen CPC is een applicatie ontwikkeld, 3Di, waarmee de effecten van adaptatiemaatregelen in waterhuishouding en ruimtelijke ontwikkeling inzichtelijk worden gemaakt. Het instrument helpt hierdoor maatregelen te identificeren die het verwerken van extreme neerslag in een bepaald stedelijk gebied verbeteren.

Van wijk tot stadsregio

Het klimaat in een stad wordt voor een deel bepaald op een schaalniveau dat afzonderlijke gebouwen, straten en wijken overstijgt. Daarom is onderzoek gedaan naar zogenaamde 'coolspots' in de omgeving van steden. De eerste resultaten geven aan dat coolspots in het algemeen een hoge bedekkingsgraad met vegetatie hebben en doorgaans in gebruik zijn als gras- of akkerland (zie figuur 3). Het bodemtype lijkt ook een belangrijke aspect van 'coolspots' te zijn, terwijl het grondwaterpeil geen belangrijke rol lijkt te spelen.



Figuur 3 De 'coolspot' in de omgeving van Den Bosch komt overeen met het landgebruik 'grasland en akkerland'. vii

4. Hoe kunnen deze maatregelen bestuurlijk geïmplementeerd worden?

Om de voorgedragen klimaatbestendige oplossingen te koppelen aan het probleem 'klimaatverandering' is verandering nodig met betrekking tot de manier waarop partijen omgaan met het onderwerp klimaatverandering ('governance').

Gemeenten

Uit het onderzoek gericht op gemeenten blijkt tot dusver dat er twee benaderingen zijn; 'mainstreamen' en 'dedicated approach'. Beide kennen positieve en negatieve gevolgen. Een dedicated approach kent een snelle besluitvorming, maar tevens een mogelijke kans op inefficiënt beleid. Terwijl mainstreamen juist vaak ad hoc is en gebaseerd op weloverwogen beslissingen. Een combinatie van beide kan wellicht tot optimalere resultaten leiden. Daarnaast kan het gebruik van "Tax Increment Finance" in het publiek domein mogelijk zorgen voor een vergroting van de financiële draagkracht, doordat gebruik wordt gemaakt van de toekomstige OZB inkomsten.

Woningcorporaties

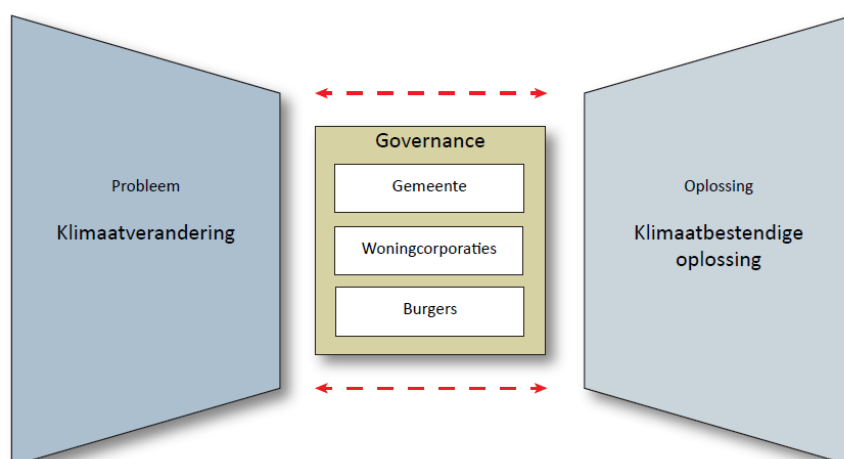
Om klimaatverandering een rol te laten spelen binnen het ontwikkelingsproces van woningen wordt ketensamenwerking aangedragen, waarbij woningcorporaties in samenwerking met onder andere de bouwsector verantwoordelijk zijn voor de realisering van woningen.

De bouwsector beperkt zich hier niet tot het uitvoeren van de beschreven opdracht door de corporatie, maar heeft een actieve rol in het voortraject. Op deze manier wordt de kennis van bouwbedrijven gebruikt in het proces, waardoor het makkelijker wordt klimaatbestendige maatregelen in een vroegtijdig stadium op een realistische wijze in het bouwproces te integreren.

Burgers

Daarnaast is gebleken dat ook burgers een rol kunnen spelen bij de realisering van de klimaatbestendige stad. Om de klimaatbelangen van publieke partijen te kunnen koppelen aan burgerinitiatieven is een nieuwe werkwijze van de lokale overheid gewenst, waarbij de huidige routines worden losgelaten. Een flexibele instelling, waarbij het lokale overheidsbeleid zich aanpast aan de lokale initiatieven (co-evolutie) leidt mogelijk tot betere resultaten.

Om de implementatie van klimaatmaatregelen succesvol te laten zijn is het vooral van belang dat er een verbinding wordt gelegd tussen de verschillende partijen binnen het proces. Overheden, burgers en private partijen moeten gezamenlijk werken aan de realisering van de klimaatbestendige stad.



Figuur 4 De partijen binnen het governance-proces zorgen voor de verbinding tussen het probleem en de oplossing. viii

5. Wat is de uiteindelijke balans van kosten en baten van de aanpassingsmaatregelen?

Bij het in praktijk brengen van de resultaten van het onderzoeksprogramma zijn er twee gerelateerde benaderingen mogelijk. Een klassieke benadering volgens een oorzakelijke redenering vanuit klimaatverandering via effecten, kwetsbaarheid, adaptatiemaatregelen en implementatie daarvan, en een gebiedsgerichte benadering. De laatste gaat uit van een specifieke gebiedsopgave waarbij het erom gaat een wijk te verbeteren en meer toekomstbestendig te maken. Iedere benadering volgt een aantal stappen, waar specifieke "tools" voor analyse, communicatie en dialoog bij horen; "indicatoren" om de gevolgen van klimaatverandering voor een stad te laten zien; "kartering" van blootstelling, gevoeligheid en aanpassingsvermogen om de kwetsbaarheid in detail te achterhalen (wellicht samen een 'stresstest'); en "tabellen en diagrammen", als basis voor het kiezen van aanpassingsmaatregelen.

In een gebiedsgerichte benadering zijn in Bergpolder Zuid "schetsworkshops" ingezet als instrument om verschillende typen kennis (onderzoek, sectoren, gebied en beleid) boven tafel te krijgen, te integreren en te vertalen in beleidsaanbevelingen (figuur 5). In Dordrecht is de "meekoppel-methode" als dialoog-ondersteunend instrument in de herstructurering van een wijk onderzocht.

Over het algemeen blijkt een wisselend belang van een veelomvattende kosten-baten analyse. Zo is voor een gebiedsgerichte benadering, waarin de nadruk ligt op co-benefits, een uitsplitsing van de kosten die specifiek voor klimaatadaptatie gemaakt worden en de specifieke klimaatbaten, niet meer strikt nodig. Een overzicht van de mogelijke schade door klimaatverandering wordt gezien als motiverend om aandacht te geven aan klimaatadaptatie. Echter, de berekening van de schade kosten onder verschillende klimaatscenario's in een stad vereist echter erg veel gegevens, waarvan een deel alleen op nationaal niveau beschikbaar is. Wel is uiteraard voor iedere beleidsbeslissing informatie nodig over de kosten van dat beleid of die bepaalde actie. Aangezien klimaatadaptatiemaatregelen in een stedelijke omgeving divers en veelal context bepaald zijn, moet deze raming vanuit de lokale situatie worden opgebouwd.



Figuur 5 Plattegrond van Bergpolder Zuid met ingetekende adaptatiemaatregelen

Management Summary

Climate and city

Due to global warming it is possible that in the future, hot summers and extreme rainfall will occur more often in the Netherlands. The urban environment is especially vulnerable to this because it retains heat and has a higher percentage of impervious surfaces, allowing water build up faster in the streets during heavy rainfall. In short, pluvial flooding and high temperatures can ensure that in the future, the quality of life in the city will decrease.

Furthermore, cities have a high density of inhabitants, goods and infrastructure as well as an important share in the economy, which means that extreme weather conditions can have a significant impact on cities.

Since the investments that are currently being made in the urban environment, such as renovations or the construction of new buildings, determine the existence of buildings and infrastructure that will still be there around fifty years from now, it is already important to consider whether it is possible to accommodate for future climate changes.

There are also adaptations that can be made in the urban environment which could minimize the inconvenience currently caused by extreme weather conditions.

There is a wide range of possible options for adaptation, but because we are still uncertain about exactly how the urban climate works and how it is influenced by climate change, the effectiveness of these measures is still unclear.

The research programme Climate Proof Cities (CPC) aims to provide the knowledge required to make well-considered decisions about the need and timeliness of adaptations to climate change (see text box). The CPC consortium's research focuses on reducing heat strain and water nuisance. This management summary gives an overview of the preliminary results halfway through the programme. The full progress report (including citations and bibliography) can be downloaded on the website (in Dutch).

The conclusions in this summary are based on interim results which are subject to change during the course of the programme. Therefore the use of these results is one's own responsibility.

Climate Proof Cities

Climate Proof Cities (CPC) is one of the themes within the national research programme Knowledge for Climate. The CPC research provides knowledge to allow cities and the urban environment to function sustainably under changing climate conditions. The four-year research programme studies the phenomenon of heat in the city because of the increasing risk of lengthy hot spells, and water nuisance due to more frequent and more intense rainfall events.

In order to answer five main research questions, researchers with diverse backgrounds and from different research institutes are working within the consortium on around twenty sub-projects. To enlarge the practical applicability, the researchers are collaborating on 4 case studies in different Dutch urban areas: Rotterdam, Haaglanden, Amsterdam, Arnhem/Nijmegen, Brabant and Utrecht.

www.knowledgeforclimate.org/climateproofcities

Summary

1. How does the local climate work in Dutch cities?

During heat waves it is warmer in every Dutch city, big or small, than it is in the surrounding area. This Urban Heat Island effect (UHI) is noticeable in everyday life and is caused by the heat absorption of the (stony) materials, the lack of evaporation and the emission of heat related to the use of energy ('anthropogenic heat').

During the day, the dry and stony surfaces in a city take in most of the sunshine. When the sun sets, the buildings continue to emit the absorbed heat, so that the temperature of the air in the city stays high. The absorption of sunshine due to reflections between buildings turns out to be the driving force behind the UHI effect.

The atmospheric UHI, the difference in air temperature between the city and its surroundings, is at its highest point after sunset, and the city does not cool down until the end of the night. The effect is greater in the summer than in the winter and on warm days it can reach up to 9 °C in the evening.

However, the extent of the extra heat shows great variation within a city and is dependent on local features. The amount of paved surfaces turns out to be the most determining factor for UHI intensity. Aside from this, the proportion of built-up areas and urban greenery and the height of the buildings are of great influence on the UHI effect.

Open water turns out not to have an unambiguously cooling effect on its surroundings. When the water warms up during the summer, its cooling capacity decreases.

The perception of heat in a city depends on more factors than just temperature. The so-called 'Physiologically Equivalent Temperature' (PET) is a measure for thermal comfort and is calculated using information about air temperature, atmospheric humidity, radiation and wind speed. The more limited exposure to solar radiation in the city (due to shadows from buildings) compared to the surrounding areas is favourable for thermal comfort; the lower wind speeds in the city actually have a negative effect. It is still unknown which role the variations in atmospheric humidity play. Due to the UHI effect, urban areas experience more days of heat stress than in the countryside.

In order to have an indication of the urgency of the heat problem in relation to climate change, the temperature sequences of the urban location of southern Rotterdam and a reference location in the countryside have been transformed into temperature sequences for 2050 and 2100 (figure 1). This indicates that heat stress can become an important issue for many cities in the coming decades.

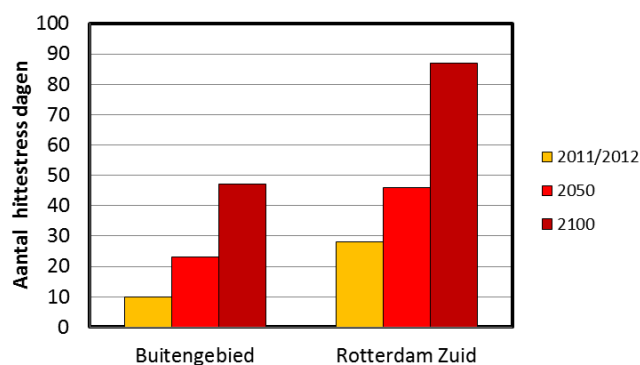


Figure 4 The number of days with moderate to high heat stress for two locations: the countryside (left) and 'Rotterdam South'(right), calculated for the current situation, halfway through this century, and at the end of it with the (W+) KNMI'06 scenario.

2. How vulnerable are Dutch cities to the effects of climate change?

Sensitivity of humans to heat stress or that of investment goods to flooding form the basis for an analysis of urban vulnerability.

Water nuisance

Objects that are sensitive to material damage due to pluvial flooding are buildings (and interiors) and electricity switch boxes. Economical damage can also occur through interruption of business, traffic disruption and power cuts. In addition there are costs for mobilizing emergency services and there are social implications if hospitals etc. function below par or are less accessible. Risks and damage due to extreme rainfall are generally dependent on a threshold value that differs per object, for instance, the height at which switch boxes are mounted. Decreasing exposure during extreme rainfall can be achieved locally by ensuring that the water remains below the threshold value (by increasing storage area and infiltration) or by increasing the threshold value (for instance higher doorsteps, mounting switch boxes higher up).

Heat stress

The elderly over the age of 75 are especially sensitive to periods of heat stress and can become ill or even die. In the Netherlands the death rate increases by 12% during heat waves (approximately 40 extra deaths per day). Their body temperature can become higher than 38 °C during periods of heat. In an attempt to study whether they would be able to prepare for an approaching heat wave in a climate test chamber, it emerged that a warning period of three days is too short for both young people and the elderly to acclimatize.

Buildings can decrease the exposure to heat. Unfortunately it turns out that, based on the KNMI'06 climate scenarios, overheating (an indoor temperature of over 25 °C) will be more frequent and will last longer in a large proportion of Dutch buildings. Using building simulations, research has been done on the sensitivity of types of houses for indoor heat during increasing outdoor temperatures. This showed terraced and semi-detached houses are less often exposed to high temperatures and experience fewer hours of overheating than detached houses and corner houses.

Productivity can also dip when the temperature indoors rises above 25 °C. An indication of the damage caused by lower productivity inside non-air-conditioned buildings and outside buildings depends on the climate scenario, but can amount to dozens or even hundreds of millions of euros per year.

In addition, as we have seen in section 1, certain urban characteristics can lead to more or less heat in a neighbourhood.

Information about the location of sensitive groups, such as the elderly, is combined with their living conditions (quality of housing and neighbourhood characteristics as measure for exposure). The result is a vulnerability map, such as this one of Amsterdam (figure 2). The map indicates which parts of the city are vulnerable to heat stress. In the capital city it turns out that areas for special attention can be identified in the western part of the city, but also in the north, east and southeast.

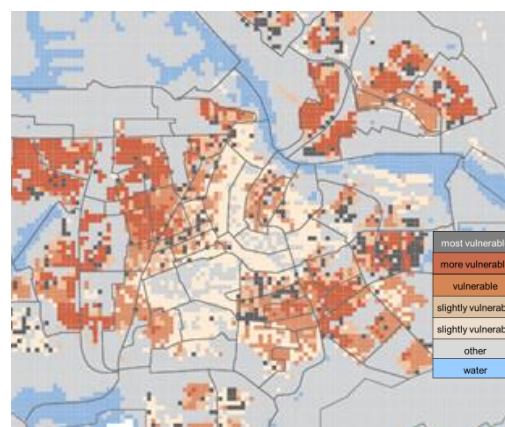


Figure 2 Vulnerability map of inhabitants of Amsterdam with respect to heat stress.

3. Which measures can be taken in order to better adapt cities to a future climate?

At CPC, measurements, computer simulations and street interviews are carried out to gain insight into the effectiveness of individual measures and combinations of measures for different scales. This knowledge will be translated into design guidelines in the last year.

From building to street

In the prevention of indoor overheating a distinction can be made between new and existing housing. Simulations for a terraced house show that newly constructed (well insulated) housing benefits most from blocking out sunlight in the doorways and windows and from creating natural ventilation by opening windows. In older housing extra insulation can have a significant effect, but often in combination with other measures, such as opening windows and increasing the reflection coefficient (albedo). In addition, a building's orientation is an important factor in reducing the number of hours of overheating in the house. In the summer months houses facing east and west experience the largest number of hours of overheating.

From street to neighbourhood

Measures that effectively lower the temperature of the air at street level are increasing the reflection coefficient (albedo) of the roof, higher buildings, and adding vegetation.

In terms of vegetation it is preferable to plant rows of trees rather than install green facades and roofs. Green roofs are mainly effective for buffering rain water. In addition, it turns out that people feel more thermally comfortable in streets with a lot of greenery and also appreciate it from an aesthetic point of view.

In order to make the urban water systems stronger in the face of flooding, many measures are available to increase the storage or transport capacity, both above and below ground level. An application known as 3Di has been developed in CPC, which gives insight into the effects of adaptation measures in water management and spatial development. As such, the instrument helps identify measures that improve how extreme rainfall in a particular urban environment is dealt with.

From neighbourhood to urban region

The climate in a city is partially determined on a scale that supersedes individual buildings, streets and neighbourhoods. Therefore research has been carried out on so-called 'coolspots' near cities. The first results indicate that much of the surface area coolspots is taken up by vegetation and that they are usually in use as meadows or fields (see figure 3). The soil type also seems to be an important aspect of 'coolspots', while the groundwater level does not seem to play an important role

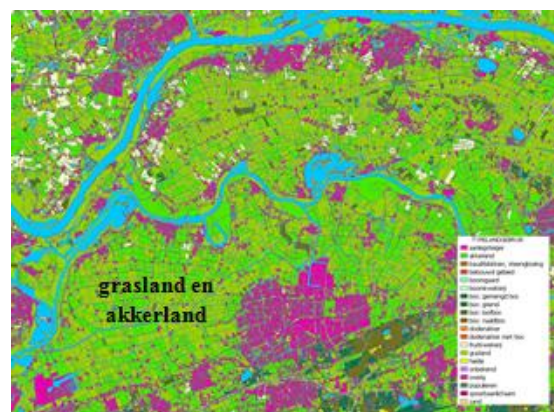
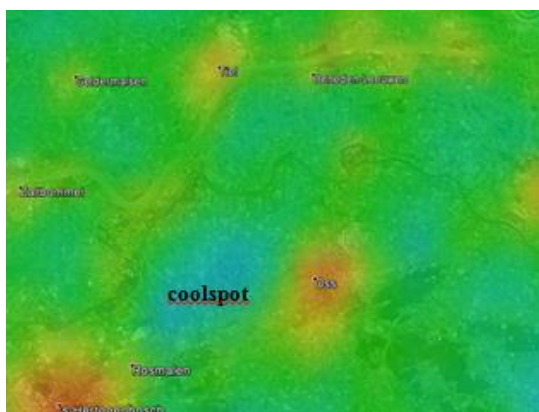


Figure 3 The 'coolspot' near Den Bosch corresponds to the use of the land, as 'meadows and fields' (in Dutch: 'grasland en akkerland').

4. How can these measures be implemented in urban areas?

In order to link the proposed climate proof solutions to the problem of 'climate change', the way in which parties deal with the subject of climate change must be altered ('governance').

Municipalities

The research focusing on municipalities shows so far that there are two approaches: 'mainstreaming' and a 'dedicated approach'. Both have positive and negative consequences. A dedicated approach entails that decisions are made quickly, but there is also a chance of inefficient policy. On the other hand, mainstreaming is often ad hoc and based on well-considered decisions. A combination of both can conceivably lead to more optimal results. In addition, the use of "Tax Increment Finance" in the public domain can potentially ensure an increase in financial capacity by using future property tax income.

Housing associations

Chain cooperation is proposed in order to allow climate change to play a role in the development of housing, whereby housing corporations and the construction industry are responsible for constructing housing.

The construction industry does not limit itself to carrying out the corporation's commission, but has an active role in the initial stages. In this way, the knowledge of the construction companies is used in the process, which makes it easier to realistically integrate climate proof measures in the construction process at an early stage.

Citizens

Aside from this, it has also turned out that citizens can play a role in the realization of the climate proof city. To be able to link the climate interests of public parties to civilian initiatives, the local government should find a new way of working, in which current routines are abandoned. A flexible attitude, where local government policy adapts to local initiatives (co-evolution), can potentially lead to better results.

To allow the implementation of climate measures to be successful, it is especially important that a connection is made between the various parties within the process (figure 4). Government, citizens and private parties must work together on the realization of the climate proof city.

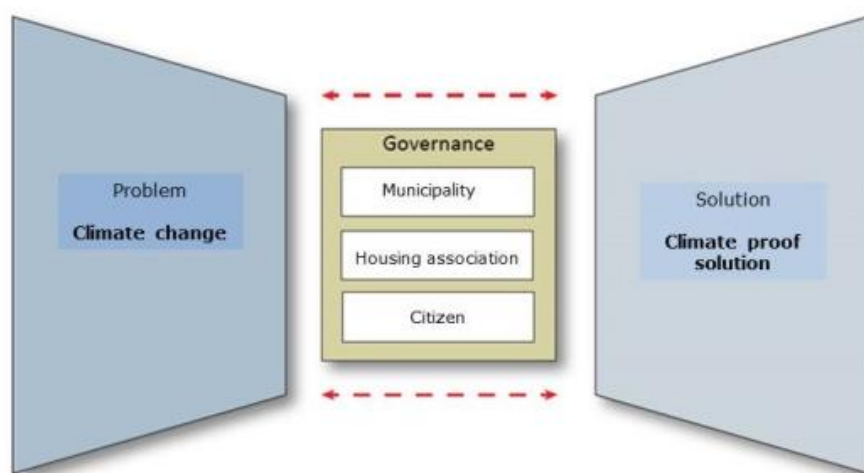


Figure 4 The parties within the governance process ensure a connection between the problem and the solution.

5. What is the final cost-benefit balance of the adaptation measures?

Two related approaches are possible in the implementation of the results of the research programme. There is a classical approach according to causal reasoning from within climate change through effects, vulnerability, adaptation measures and their implementation, and an area-specific approach. The latter assumes an area-specific problem where the plan is to improve a neighbourhood and make it more future-proof. Each approach follows a number of steps that entail specific "tools" for analysis, communication and dialogue; "indicators" in order to show the consequences of climate change for a city; "mapping" of exposure, sensitivity and adaptability in order to discover the vulnerability in detail (possibly combined as a 'stress test'); and "tables and diagrams", as a basis for choosing adaptation measures.

In an area-specific approach, "sketching workshops" have been initiated in Bergpolder Zuid (Rotterdam) as a means of sourcing different types of knowledge (research, sectors, area and policy), to integrate them and translate them into policy recommendations (figure 5). In Dordrecht, research was done on the "linking method" as an instrument supporting dialogue in the restructuring of a neighbourhood.

In general, an all-encompassing cost-benefit analysis is not always important. For an area-specific approach for instance, where the emphasis lies on co-benefits, it is no longer strictly necessary to have a breakdown of the specific costs of climate adaptation and the specific climate benefits. An overview of possible damage due to climate change is seen as motivating in order to draw attention to climate adaptation. However, calculating the costs of the damage in different climate scenarios in a city requires a lot of data, part of which is only available on a national level. Of course, for each policy decision, information is needed about the costs that policy or specific course of action entail. Considering climate adaptation measures in an urban environment are diverse and often



contextually determined, this framework must be built up from within the local situation.

Inhoudsopgave

Voorwoord	iii
Beleidsamenvatting	iv
Management Summary	x
Inhoudsopgave.....	xvi
1. Inleiding.....	1
Referenties Hoofdstuk 1	4
2. Hoe werkt het lokale klimaat in Nederlandse steden en hoe beïnvloedt stedelijke inrichting het lokale klimaat?	5
2.1 Monitoring netwerk.....	6
2.2 Modelleren van lokaal klimaat.....	19
2.3 Conclusies werking stedelijk klimaat	23
Referenties Hoofdstuk 2	25
3. Hoe kwetsbaar zijn Nederlandse steden voor de effecten van klimaatverandering?.....	27
3.1 Kwetsbaarheid voor hitte	29
3.2 Kwetsbaarheid voor wateroverlast.....	41
3.3 Conclusies kwetsbaarheid stedelijk gebied	43
Referenties hoofdstuk 3.....	45
4. Welke maatregelen kunnen genomen worden om steden beter aan te passen aan een toekomstig klimaat?.....	47
4.1 Gebouw tot straat.....	48
4.2 Straat tot wijk.....	51
4.3 Wijk tot stadsregio	58
4.4 Conclusies adaptatiemaatregelen	61
Referenties hoofdstuk 4.....	63

5. Hoe kunnen adaptatiemaatregelen bestuurlijk geïmplementeerd worden?	65
5.1 Gemeente	66
5.2 Woningcorporatie	69
5.3 Burgers	70
5.4 Conclusies klimaatadaptatie implementeren in beleid	72
Referenties hoofdstuk 5	73
6. Wat is de uiteindelijke balans van kosten en baten van adaptatiemaatregelen?	75
6.1 Naar een klimaatadaptatiestrategie	75
6.2 Integriecase in Bergpolder Zuid, Rotterdam	82
6.3 Conclusies	84
Referenties Hoofdstuk 6	85
Bijlagen	86
Bijlage A Lijst van onderzoekers Climate Proof Cities	87
Bijlage B Publicaties Climate Proof Cities 2011-2013	90
Wetenschappelijke publicaties	90
Rapporten en master theses	92
Bijlage C Verklaring van stedelijke kenmerken die van invloed zijn op lucht- en oppervlaktetemperatuur	94
Bijlage D Overzicht van maatregelen tegen wateroverlast	95

1. Inleiding

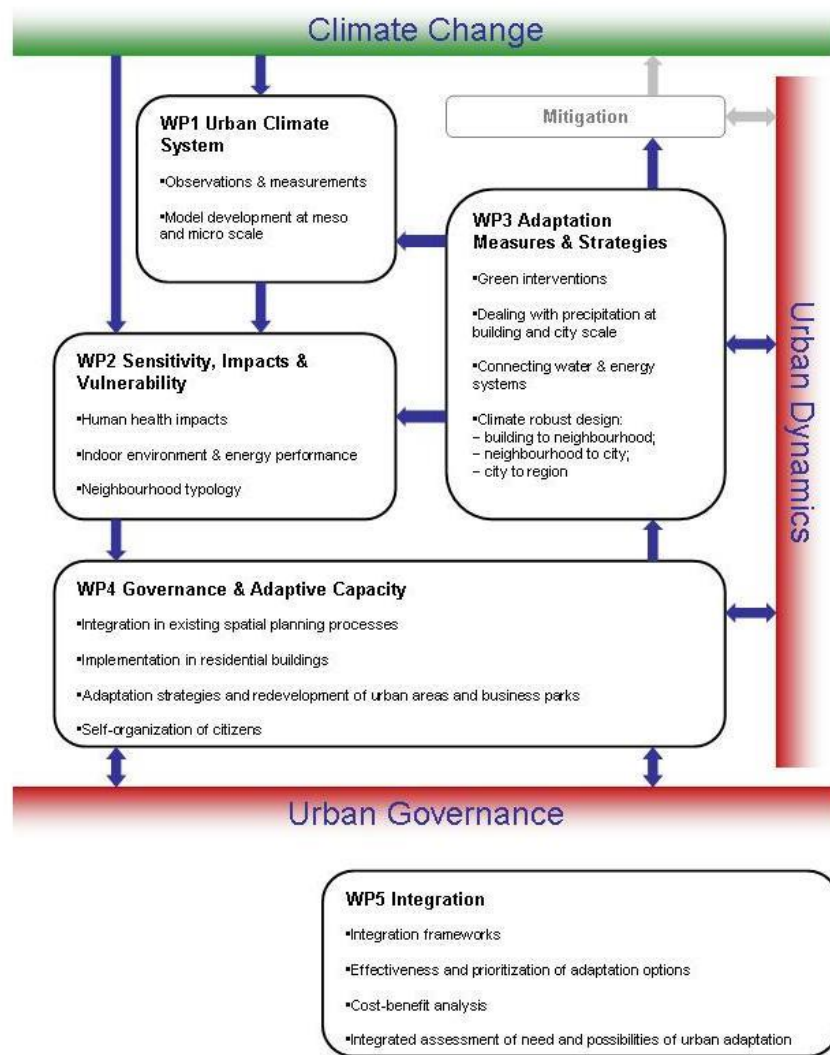
Het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat is bedoeld om de kennis te genereren die nodig is om Nederland klimaatbestendig te maken. Ook bij extreme weersomstandigheden, moeten de veiligheid, de productiviteit en de leefbaarheid in stand blijven. Climate Proof Cities (CPC) is één van de thema's binnen Kennis voor Klimaat. Het CPC onderzoek levert de kennis voor beleid om steden en de gebouwde omgeving duurzaam te laten functioneren in een veranderend klimaat. Steden hebben een hoge dichtheid aan inwoners, goederen en infrastructuur en hebben een belangrijk aandeel in de economie, waardoor extreme weersomstandigheden een grote impact kunnen hebben op steden. Omdat investeringen in de gebouwde omgeving die nu gedaan worden, bijvoorbeeld voor renovatie of nieuwbouw, leiden tot gebouwen en infrastructuren die er over pakweg vijftig jaar nog steeds staan, is het van belang om nu al te overwegen of aanpassingen aan een toekomstig klimaat kunnen worden ingepast (EEA, 2010).

Hiernaast zijn er nu aanpassingen in de gebouwde omgeving mogelijk die de huidige overlast van extreme weersomstandigheden verminderen. Climate Proof Cities beoogt de kennis aan te dragen die weloverwogen besluiten over de noodzaak en de tijdigheid van deze aanpassingen aan klimaatverandering mogelijk maken. Hiertoe werken de onderzoeksprojecten in Climate Proof Cities in 5 werkpakketten aan de volgende onderzoeksvragen (zie ook figuur 1.1):

1. Hoe werkt het lokale klimaat in Nederlandse steden? Hoe beïnvloedt stedelijke inrichting het lokale klimaat?
2. Hoe kwetsbaar zijn Nederlandse steden voor de effecten van klimaatverandering?
3. Welke maatregelen kunnen genomen worden om steden beter aan te passen aan een toekomstig klimaat (met frequentere extremen in temperatuur, neerslag en droogte)?
4. Hoe kunnen deze maatregelen bestuurlijk geïmplementeerd worden?
5. Wat is de uiteindelijke balans van kosten en baten van de aanpassingsmaatregelen?

Het onderzoek is praktisch georganiseerd in een 20-tal deelonderzoeken die in de looptijd van het project informatie opleveren over:

- De gemeten toestand van het klimaat in de stad (uit vaste en mobiele metingen). Deze informatie dient ter ondersteuning van de ontwikkeling van modellen en het bepalen van de effectiviteit van maatregelen.
- Modellen waarmee de effectiviteit van maatregelen kan worden gesimuleerd op gebouw-, straat-, wijk- en stadsniveau
- De effecten van hittegolven op het binnenklimaat en in het bijzonder op de gezondheid van ouderen.
- De gevoeligheid van de verschillende onderdelen (wijken) van een stad voor extreme hitte en extreme neerslag: dit leidt tot een wijktypologie waarmee snel een indruk kan worden verkregen van de kwetsbaarheid van verschillende wijken.
- Kwantitatieve gegevens over de effectiviteit van verschillende aanpassingsmaatregelen op gebouw-, straat-, wijk-, stads- en regio-niveau.
- Kennis en handreikingen voor de bestuurlijke aanpak van klimaatadaptatie in stadsvernieuwing, bij woningcorporaties, en bij herstructurering van bedrijventerreinen, en voor stedelijke ontwikkeling in het algemeen.



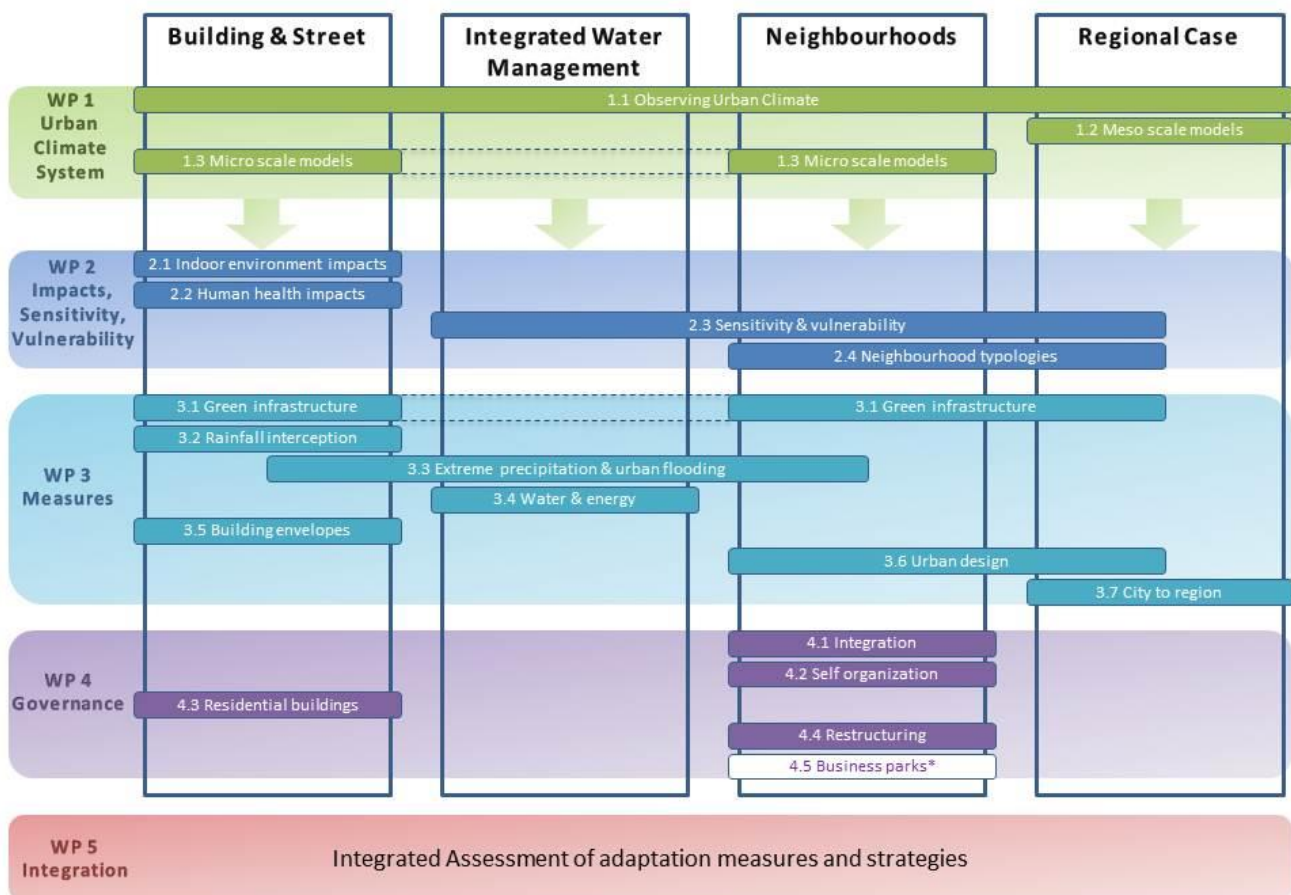
Figuur 1.1 Hoofdstructuur van het Climate Proof Cities onderzoeksprogramma

Het onderzoeksprogramma besteedt vooral aandacht aan hitte in de stad en de toenemende risico's van langdurige warme periodes, en aan overlast door frequentere en intensere regenbuien. Uiteraard heeft klimaatverandering ook positieve kanten en biedt kansen die op het moment dat ze optreden, gegrepen kunnen worden. Voor het vergroten van de duurzaamheid van het stedelijk gebied blijft het echter belangrijk schade, productiviteitsverlies en overlast te beperken, waar mogelijk door weinig kostende aanpassingen van aanstaande lange termijn investeringen.

Steeds meer studies, zowel internationaal (Isoard, 2011; Stern, 2006; Watkiss, 2011) als nationaal (Rekenkamer, 2012; PBL, 2011) tonen aan dat de kosten van adaptatie in vergelijking met de mogelijke schade door klimaatverandering laag zijn en de baten hoog. Het EU-project ClimateCost geeft aan dat de totale kosten van klimaatverandering kunnen oplopen tot 4% van het Europese bruto binnenlands product (bbp) (Watkiss, 2011). Dit percentage ligt niet ver van de schatting van Stern (2006), namelijk 5% van het wereldwijde bbp. Hoe langer adaptatiemaatregelen worden uitgesteld, hoe moeilijker en duurder het wordt. Wanneer adaptatie daarentegen consequent wordt meegenomen in beslissingen, kan het worden geïntegreerd en gekoppeld aan ander beleid en lopende processen, zodat de kosten van adaptatie beperkt blijven (PBL, 2011).

Om de bruikbaarheid van de uitkomsten in de praktijk te vergroten werken de onderzoekers samen in 4 case studies in verschillende Nederlandse stedelijke gebieden, te weten: Rotterdam, Haaglanden, Amsterdam, Arnhem/Nijmegen, Tilburg en Utrecht. Figuur 1.2 geeft een overzicht van de case studies en de daarmee samenhangende projecten. Deze structuur leidt naar verwachting tot een goede onderlinge aansluiting van onderzoek en integratie van uitkomsten, waarbij er een directe lijn ontstaat van metingen → identificatie van kwetsbaarheid → (modellering van) mogelijke maatregelen → stedelijk ontwerp → instrumenten voor implementatie. Ook dit jaarlijkse rapport beoogt de uitkomsten van CPC onderzoek in samenhang te presenteren.

Het CPC onderzoek is formeel gestart medio 2010 (terwijl de meeste onderzoekers eind 2010/begin 2011 zijn begonnen) en loopt tot eind 2014. De resultaten in dit tussenrapport zijn daarom voorlopige resultaten en kunnen in de loop van het programma nog wijzigen. Ook zijn de resultaten divers en leiden nog niet tot volledige antwoorden op de onderzoeksvragen. Het kopiëren van resultaten uit dit rapport is daarom voor eigen verantwoordelijkheid. Resultaten die reeds gepubliceerd zijn, zijn te vinden in Bijlage B.



* Case study embedded in Neighbourhoods

Figuur 1.2 Verdeling van de CPC-projecten over de werkpakketten en case studies

Referenties Hoofdstuk 1

Algemene Rekenkamer (2012). Aanpassing aan klimaatverandering: strategie en beleid. kst-33470-1. ISSN 0921 – 7371. 's-Gravenhage.

EEA (2010). The European Environment – State and Outlook 2010. Adapting to climate change. Copenhagen: European Environment Agency.

Isaord, S. (2011). Perspectives on Adaptation to Climate Change in Europe. In: Ford, J.D., and L. Berrang-Ford (eds), Climate change adaptation in Developed Nations. Springer.

PBL (2011). Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland. Den Haag. Planbureau voor de Leefomgeving.

Stern, N. (2006). The Economics of Climate Change. The Stern Review. Cambridge: Cambridge University Press.

Watkiss, P. (ed) (2011). The ClimateCost Project. Final Report. Volume 1: Europe. Published by the Stockholm Environment Institute, Sweden. ISBN 978-91-86125-35-6.

2. Hoe werkt het lokale klimaat in Nederlandse steden en hoe beïnvloedt stedelijke inrichting het lokale klimaat?

Als gevolg van de mondiale opwarming (Meehl et al., 2007) zullen hete zomers en extreme regenbuien in de toekomst vaker voorkomen in Nederland (Van den Hurk et al., 2007). Afhankelijk van het klimaatscenario kunnen we in 2050 in het midden van het land bijvoorbeeld 7 tot 15 tropische dagen per jaar verwachten ten opzichte van gemiddeld 4 in het huidige klimaat (Van den Hurk et al., 2007). Men verwacht dan ook dat een hittegolf zoals in 2003, die veel levens heeft gekost in Europa, vaker voor zal komen in de toekomst (Beniston, 2004; Kovats en Hajat, 2008). In het meest extreme scenario kan een zomer zoals die in 2003 qua temperatuur representatief zijn voor zomers rond 2040 (Stott et al., 2004). Daarnaast is bekend dat een stad veel warmte vasthoudt, het zogenaamde hitte-eilandeffect (zie het tekstkader). Met klimaatverandering neemt dan ook de kans op onaangenaam hoge temperaturen in de stad toe.

Ook kan bij piekbuien sneller water op straat blijven staan, omdat een stad veel verhard oppervlak heeft. Door toenemende verharding in het stedelijk gebied, het frequenter voorkomen van extremere neerslag en achterstallig onderhoud worden de ontwerpnormen² steeds vaker overschreden. In ruim 90% van de gemeenten treedt nu al wateroverlast op, hoofdzakelijk op een enkele locatie (Luijtelaar, 2008). Als gevolg van klimaatverandering kan (in het natste KNMI-scenario) de hoeveelheid neerslag per uur in zomerse buien met een kwart toenemen (Van den Hurk et al., 2007). Het toenemen van extreme buien kan ervoor zorgen dat stedelijke watersystemen nog vaker gaan falen.

Wateroverlast en hoge temperaturen kunnen ervoor zorgen dat de leefbaarheid van de stad in de toekomst afneemt. Om effectief maatregelen te kunnen nemen, worden binnen het onderzoeksprogramma Climate Proof Cities metingen uitgevoerd naar klimaatparameters binnen de gebouwde omgeving, zoals de oppervlakte- en luchttemperatuur (2.1). Ook worden modellen ontwikkeld om het toekomstige stedelijke klimaat beter te kunnen beschrijven (2.2), zodat de effectiviteit van adaptatiemaatregelen kan worden beoordeeld. De meetresultaten uit 2.1 worden gebruikt voor de verdere parametrisatie en validatie van deze modellen. Paragraaf 2.3 geeft een samenvatting van de voorlopige bevindingen over de werking van het stedelijk klimaat.

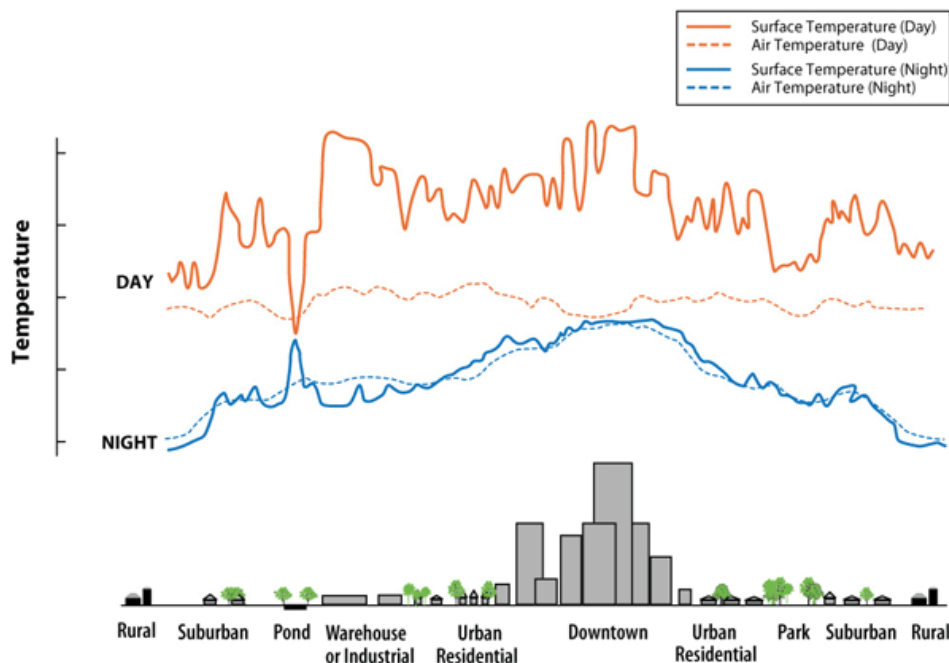
² Van oudsher is de riolering ontworpen op een frequentie van overlopen van 2 jaar. Dat wil zeggen dat één keer per twee jaar een bui mag optreden waardoor het riool overstroomt. Er ontstaat dan water op straat. Voor oppervlaktewater in stedelijk gebied wordt een frequentie van overstromen gehanteerd van 100 jaar.

Het hitte-eilandeffect

Steden zijn over het algemeen warmer dan het buitengebied. Door de dichte bebouwing en de eigenschappen van het stedelijk materiaal wordt warmte beter vastgehouden in steden en treedt het zogenaamde hitte-eilandeffect op (figuur 2.1). Men kan 3 typen van het stedelijk hitte-eilandeffect (Urban Heat Island (UHI)) onderscheiden:

- Het oppervlakte UHI (surface UHI (sUHI)), het verschil in oppervlaktetemperatuur tussen stad en omringende platteland).
- Het atmosferische UHI, het verschil in luchttemperatuur tussen stad en omringende platteland. Het atmosferische UHI kan worden onderverdeeld in:
 - UHI van de atmosferisch grenslaag boven de stad ('Urban Boundary Layer UHI') waarvan de intensiteit afhangt van de geografische ligging van de stad, algemene configuratie en morfologie.
 - UHI op leefniveau ('canopy layer UHI'), waar de aanwezigheid van gebouwen, straatoppervlak, bomen en water een direct, merkbaar effect heeft op het klimaat op leefniveau (microklimaat). In discussies over het stadsklimaat gaat het vooral om dit hitte-eiland effect.

Het oppervlakte UHI treedt vooral overdag op, wanneer de oppervlakken de zonnestraling absorberen. Zodra de zon ondergaat kan de bebouwing de geabsorbeerde hitte uitstralen en daalt de oppervlaktetemperatuur. Door deze uitstraling naar de lucht is het effect van het atmosferische UHI juist het grootst na zonsondergang en afkoeling in de stad treedt pas op aan het einde van de nacht.



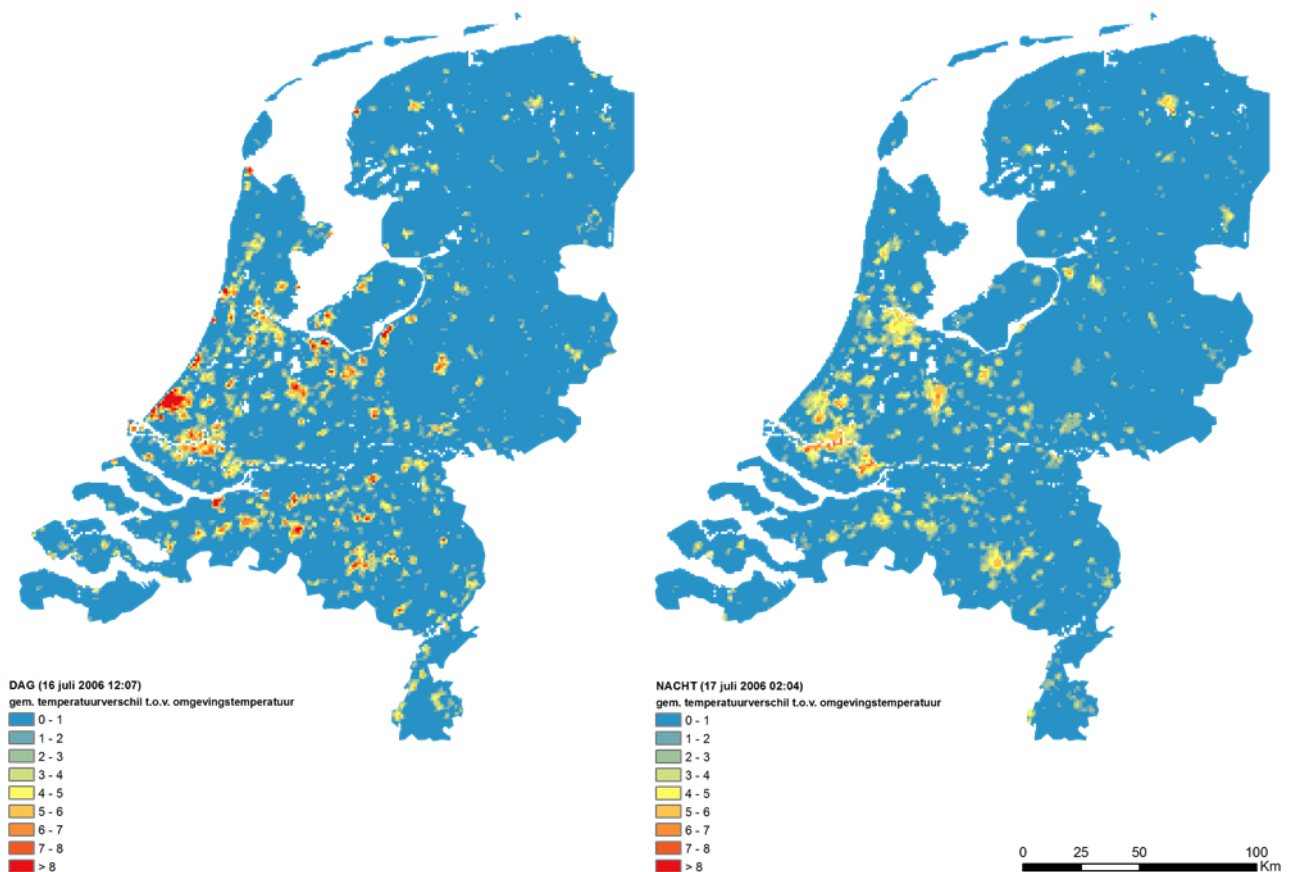
Figuur 2.1. Het stedelijk hitte-eiland effect: verschil in lucht- en oppervlaktetemperatuur tussen stad en buitengebied overdag en 's nachts. Bron: <http://www.epa.gov/heatisland/about/index.htm>, laatst geraadpleegd: november 2012.

2.1 Monitoring netwerk

Tot voor kort lag de nadruk in CPC onderzoek het onderzoek op het in kaart brengen van het lokale klimaat in Nederlandse steden. Daarbij stonden de volgende vragen centraal:

- Hoe groot is het stedelijk hitte-eiland (UHI) effect?
- Is of wordt hitte in de stad een 'issue'?

Bij de laatste vraag denkt men vaak in de eerste plaats aan thermisch comfort en hittestress. Maar de vraag kan ook van belang zijn voor bijvoorbeeld de energiehuishouding van gebouwen. De grootte van het UHI effect is vastgesteld met behulp van satellietbeelden (zie bijvoorbeeld figuur 2.2), gegevens van weeramateurs, gegevens van mobiele metingen en het meteorologisch monitoring netwerk in Rotterdam.



Figuur 2.2. Het oppervlakte hitte-eiland effect van de Nederlandse steden voor de situatie overdag (links) en 's nachts (rechts). De kaarten zijn gebaseerd op twee NOAA-AVHRR satellietbeelden van de oppervlaktetemperatuur opgenomen tijdens de hittegolfperiode van 2006. Het verschil in de oppervlaktetemperatuur tussen stad en het buitengebied is hierbij gedefinieerd als het oppervlakte hitte-eiland effect (Klok et al., 2012).

Uit al deze gegevens blijkt dat het stedelijk hitte-eiland van Nederlandse steden aanzienlijk is en vergelijkbaar met dat van andere Europese steden (Ren et al. 2012, Steeneveld et al. 2011, Van Hove et al., 2011). Thermisch comfort en hittestress zouden ook voor Nederlandse steden belangrijke items kunnen worden, indien de mondiale opwarming in de komende decennia doorzet.

De vragen die zich vervolgens aandienen, zijn:

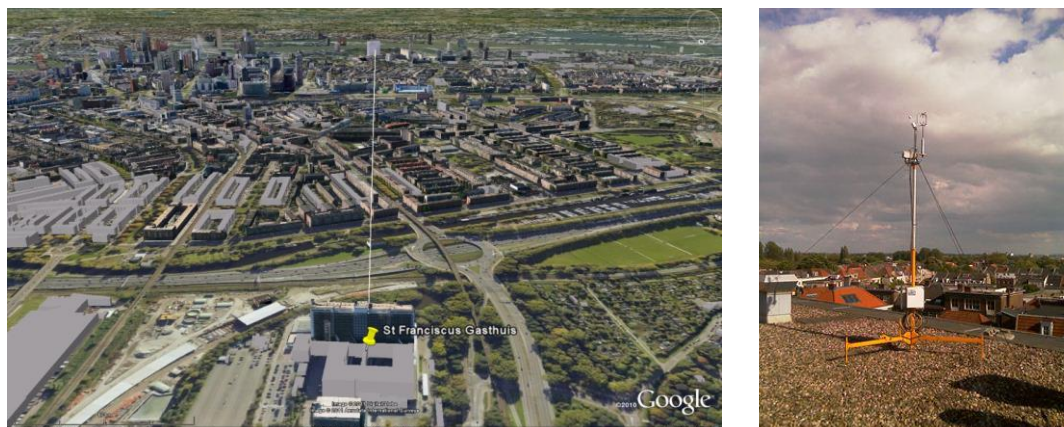
- Hoe beïnvloeden stedelijk landgebruik en stedelijke geometrie het klimaat op wijkniveau?
- Wat is het effect op het thermisch comfort (warmte of kou zoals die door de mens wordt ervaren)?

Voor het beantwoorden van bovenstaande vragen is gebruik gemaakt van de gegevens van het meteorologisch monitoring netwerk in Rotterdam dat sinds 2009 operationeel is. Behalve de luchttemperatuur worden ook luchtvochtigheid, windrichting en –snelheid, zwarte bol temperatuur en straling gemeten op de weerstations. Het netwerk maakt het mogelijk om een beeld te krijgen van de variatie in ruimte en tijd van het lokale klimaat. Vervolgens kan dit worden gerelateerd aan wijkkeigenschappen.

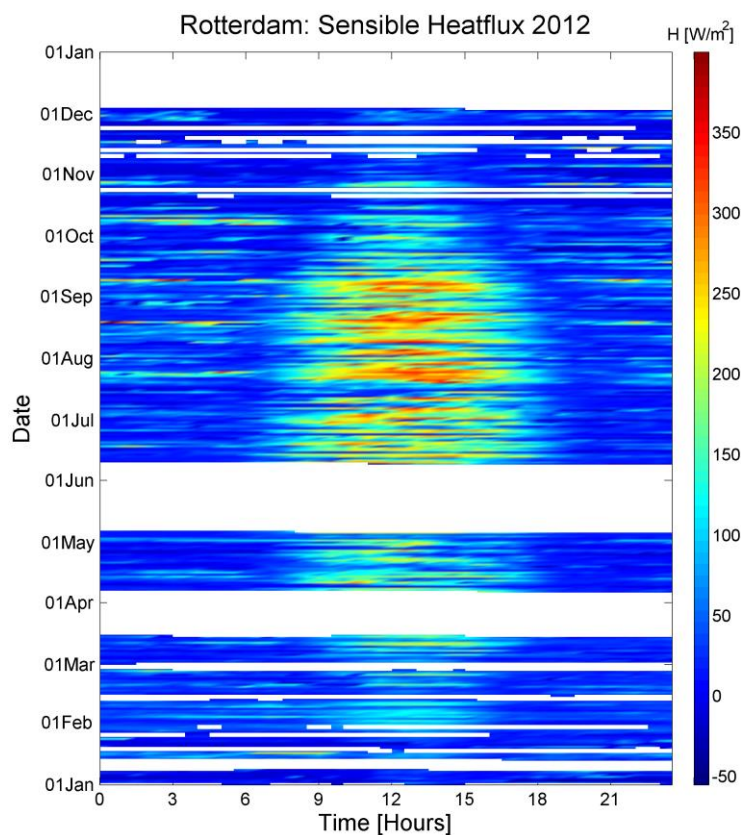
Weinig is bekend over verdamping van water in de stad. Verdamping beïnvloedt niet alleen de waterbalans van een stad, maar kan ook helpen de hitte te matigen. Gegevens over verdamping en warmteuitwisseling zijn van belang voor sluitend krijgen van zowel de energie- als waterbalans van de stad. Zo kan inzicht in de verdamping bijdragen tot een beter stedelijke waterbeheer, , vooral tijdens warme en droge perioden. Vanaf eind mei 2011 meet een ‘Large Aperture Scintillometer’ (LAS)³ continu de warmteuitwisseling van het stedelijk gebied van Rotterdam met de atmosferische grenslaag (UBL) tussen het Sint Franciscus Gasthuis en het Erasmus MC (figuur 2.3).

Figuur 2.4 geeft een seizoenoverzicht van de scintillometer warmteflux over jaar 2012. Op de x-as is de dagelijkse gang weergegeven, op de y-as de dagen. De kleurcodes geven de warmteflux weer. Een positieve warmteflux is gedefinieerd als een warmteflux van het oppervlak naar de atmosfeer. Te zien valt dat in de winter de fluxen overdag laag zijn (50-100 W m⁻²). In de zomer zijn de warmste periodes eenvoudig te herkennen als die met de hoogste lokaal gegenereerde warmteflux. Verder valt op dat de fluxen ook ‘s nachts vaak positief blijven. Dit is een gevolg van de overdag opgeslagen warmte in steenmassa die ‘s nachts weer vrij komt in combinatie met de relatief korte nachten die we kennen op onze breedtegraad.

³ Het trillen van de lucht boven een hete asfaltweg is een voorbeeld van een fenomeen dat scintillatie heet. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door dichtheidsverschillen in de lucht ten gevolge van het turbulente transport (transport door wervels) van warmte en vocht. Een scintillometer is een meetinstrument bestaande uit een zender en een ontvanger dat de intensiteit van deze luchtrillingen registreert om hieruit, indirect, oppervlaktefluxen te kunnen bepalen over afstanden van 100 m tot 10 km.



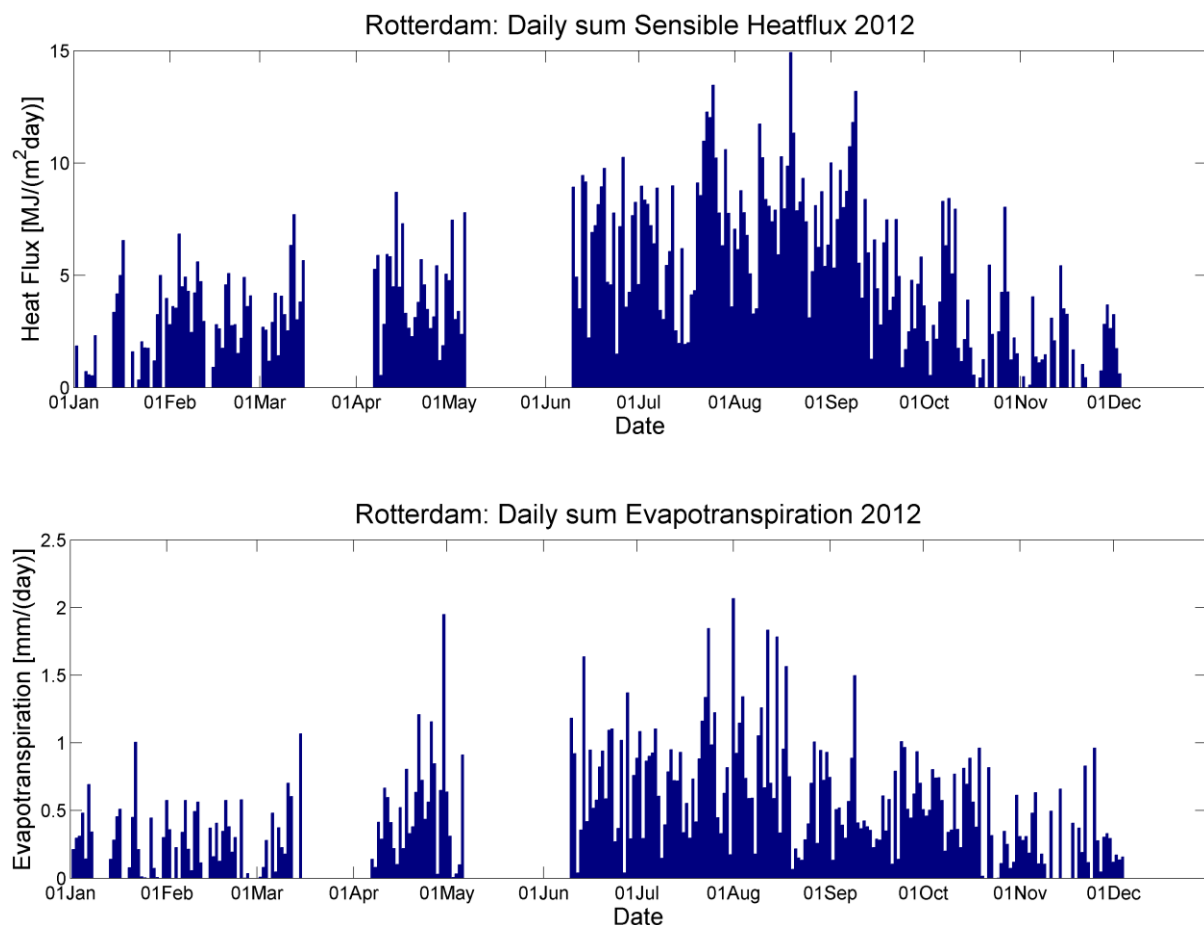
Figuur 2.3: Links: Scintillometerpad tussen het Sint Franciscus Gasthuis (Lat/Lon 51.56478/4.27747, hoogte 51 m) en het Erasmus MC (Lat/Lon 51.54632/4.28128, hoogte 77 m) in Rotterdam. De afstand tussen zender en ontvanger is 3451 m, oriëntatie $\sim 180^\circ$. Rechts: opstelling voor verdampingsmetingen boven op een appartementencomplex aan de Ingenieur J.P. van Muijlwijkstraat in Arnhem ($51^\circ 59' 4.97'' N$, $5^\circ 55' 5.73'' E$) <http://www.climatexchange.nl/sites/arnhem/index.htm>. Het meetsysteem bestaat uit 3D ultrasonische anemometer (Gill R3-50) in combinatie met een snelle open-pad infrarood gas analyzer (Li-Cor LI-7500) bevestigd aan de top van een 4 m hoge mast.



Figuur 2.4: Seizoen overzicht de scintillometer warmteflux voor Rotterdam over het jaar 2012. In 2012 zijn er gedurende 2 periodes problemen geweest met het modem waardoor er een aantal weken data verloren is gegaan in de maanden april en mei.

Uit de meetgegevens van LAS kan ook indirect de verdamping worden berekend⁴. Daarnaast worden in Arnhem sinds het voorjaar van 2012 directe verdampingsmetingen uitgevoerd op basis van de “Eddy Covariantie” techniek (zie figuur 2.3). De eerste resultaten uit beide onderzoeken worden hieronder gepresenteerd.

Eerste resultaten van de scintillometer-metingen in Rotterdam laten een patroon zien waar de zonnigste dagen van het jaar de grote pieken in verdamping veroorzaken (figuur 2.5). Een voordeel van de over de dag gesommeerde warmteflux is dat zowel de afgegeven warmte overdag als die van de nacht worden meegenomen. Meer onderzoek is nodig om te kijken hoe deze warmtemaat (het is geen index) zich verhoudt tot andere warmte-indicatoren zoals het UHI- en de ‘Human Thermal Comfort’ indices, en zo te leren wat de toegevoegde waarde van de warmte-indicator is.

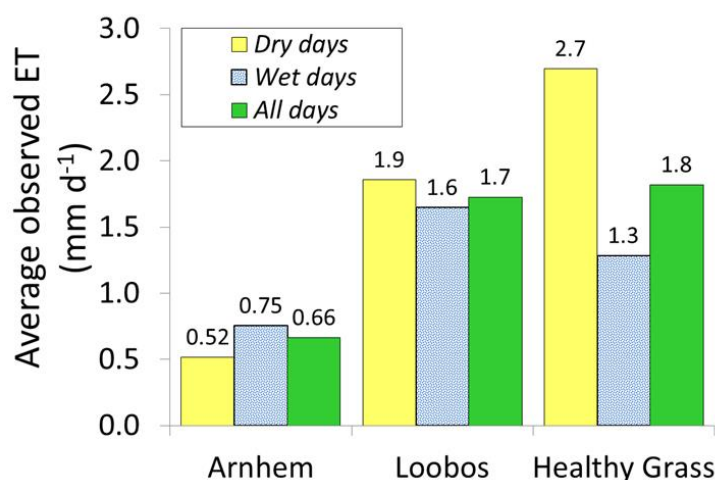


Figuur 2.5: Dagelijkse warmteflux som en verdampingssom⁵ voor Rotterdam over het jaar 2012

⁴ Recentelijk is er door WUR-MAQ in het kader van een STW project een zogenaamde ‘microwave’ scintillometer ontwikkeld (Hartogensis et al, 2012). Hiermee kan, tezamen met een optische scintillometer zowel de gebiedsgemiddelde voelbare warmteflux en verdamping worden bepaald. Deze ontwikkeling biedt nieuwe mogelijkheden (i.e. routine matige stadsgemiddelde verdampings-schattingen) voor het waterbeheer in de stad.

⁵ We benadrukken dat dit een eerste, zeer grof resultaat is. Toch laten we dit resultaat graag zien als “*proof of principle*” voor verdampingsmetingen met behulp van de scintillometer. In een verdere analyse zullen aannames vervangen worden door locatie-specifieke schattingen.

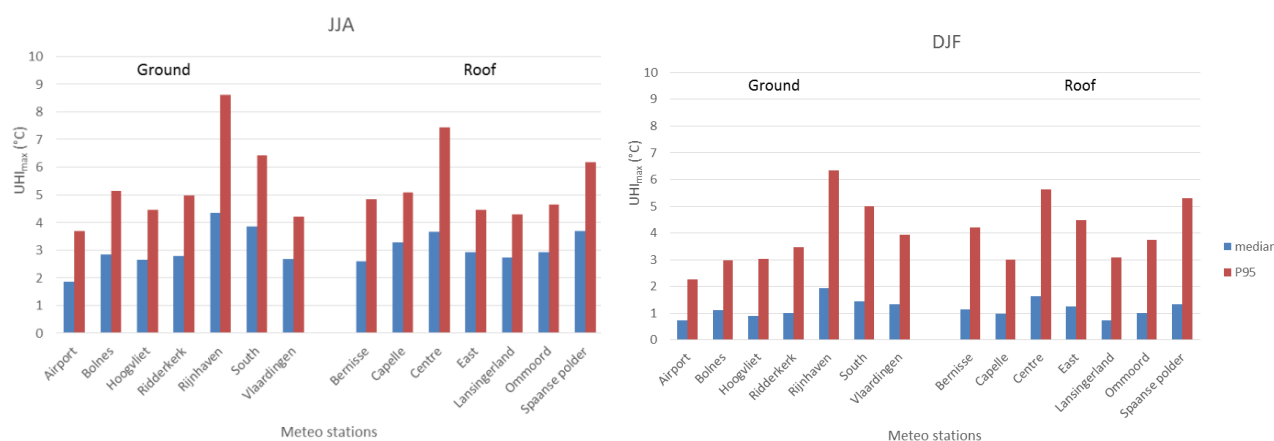
Uit de verdampingsmetingen in Arnhem (figuur 2.6) blijkt dat, in de geanalyseerde periode, de verdamping in de stad ongeveer 35% van de referentieverdamping (op een goed van water voorzien grasland) is. Tijdens droge dagen (minder dan 0.1 mm neerslag) nam de referentieverdamping sterk toe. Ook de verdamping van het bos nam toe. Daarentegen nam de verdamping in de stad juist af (van 0.75 naar 0.52). De verdamping in de stad vertoont volgens deze metingen dus een afwijkend gedrag. In een vervolganalyse zullen we de verdamping na buien nader onderzoeken.



Figuur 2.6. Vergelijking tussen verdamping in de stad ($ET = \text{'EvapoTranspiration'}$), van het Loobos (bosgebied 16 km ten westen van Apeldoorn) en referentieverdamping ('een goed van water voorzien, gezond en actief groeiend grasland), voor de periode 1 juni 2012-31 december 2012. ET is gemeten volgens de Eddy-covariantie techniek.

2.1.1 De variatie in lokale klimaat en thermisch comfort

Ondanks de nabijheid van de zee, heeft het stedelijk gebied van Rotterdam een aanzienlijk hitte-eiland effect. Maximum temperatuurverschillen (UHI_{max}) tussen de stad en het omringende platteland van 5 graden en meer zijn geen uitzondering (Figuur 2.7). Zulke hoge waarden zijn ook in andere steden in de Randstad waargenomen. De maximale verschillen treden gewoonlijk net na zonsondergang op. De waarden voor de UHI intensiteit zijn het grootst in het voorjaar (MAM) en in de zomer (JJA). Het UHI bereikt de hoogste intensiteit tijdens heldere, warme dagen, met een oostelijke wind en lage windsnelheid ($< 2 \text{ m s}^{-1}$). In de wintermaanden (DJF) zijn de intensiteiten gemiddeld veel kleiner. Desondanks kan op sommige winterdagen het UHI effect aanzienlijk zijn. Het effect is meestal kortdurend (minder dan 1 dag) en het treedt op als de wind naar het oosten draait en daarbij koude lucht aanvoert. Er treedt dan een scherpe daling van de temperatuur in het rurale gebied op, terwijl de temperatuur in de stad nog enige tijd onveranderd blijft.



Figuur 2.7. Mediaan- en 95-percentielwaarden voor UHI_{max} op de meetlocaties in de Rotterdam-agglomeratie. UHI_{max} is gedefinieerd als het maximale verschil in luchttemperatuur tussen stad en buitengebied gedurende een etmaal. De waarden zijn berekend voor de maanden juni, juli en augustus (JJA) van 2010, 2011 en 2012 en voor de maanden december, januari en februari (DJF) van 2009/2010, 2010/2011 en 2011/2012. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen dak- en grondstations.

De dichtbebouwde locaties ‘Centrum’, ‘Rijnhaven’, ‘Zuid’, en ‘Spaanse polder’ laten de hoogste UHI intensiteiten zien. Dit geldt voor alle onderzochte jaren (2010-2012) en seizoenen. Verder valt op dat de temperaturen gemeten door het WMO⁶ station op het vliegveld Rotterdam-Haaglanden gemiddeld hoger zijn dan op de referentielocatie in het buitengebied ten noorden van Rotterdam. Een mogelijke oorzaak is het ‘pluimeffect’ van de stad: dit is het effect van de stad op de atmosfeer van de benedenwindse rurale omgeving.

Wat betekent de variatie in lokale klimaat voor de variatie in thermisch comfort in de stad? Behalve de luchttemperatuur bepalen o.a. luchtvochtigheid, windsnelheid en zonne- en warmtestraling het thermisch comfort in de stad.

De relatieve luchtvochtigheid⁷ (%) in de stad is zowel overdag als ’s nachts lager (9 – 15%) in vergelijking met de referentielocatie. Een lagere luchtvochtigheid is in principe gunstig voor thermisch comfort tijdens warme zomerdagen. Maar het verschil in relatieve luchtvochtigheid is grotendeels een gevolg van de hogere temperaturen. De verschillen in (absolute) luchtvochtigheid tussen stad en platteland en tussen de stadslocaties onderling zijn gering (<5%). Het kleine verschil is voornamelijk overdag door een hogere absolute luchtvochtigheid in het rurale gebied. Het effect van het verschil in luchtvochtigheid tussen stad en platteland op thermisch comfort is daarom waarschijnlijk gering. Echter, we moeten hierbij een kanttekening plaatsen. Tot nu toe weten we nog niet precies of de absolute luchtvochtigheid of de relatieve luchtvochtigheid de bepalende factor is voor thermisch comfort. Beide komen in de thermische indices voor.

⁶ World Meteorological Organization

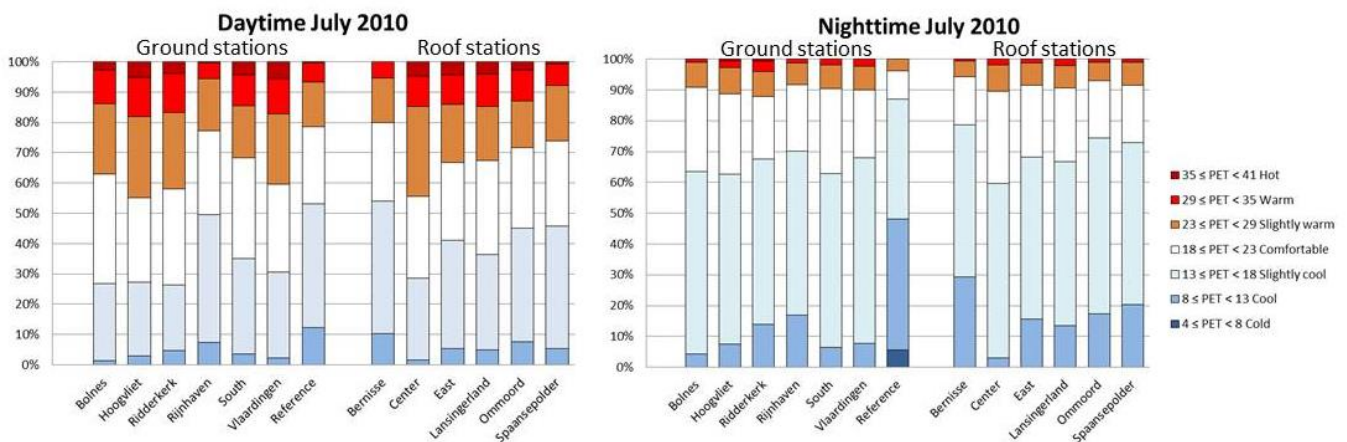
⁷ De hoeveelheid waterdamp die zich in de lucht bevindt ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp (afhankelijk van de temperatuur en luchtdruk). Lucht met een hogere temperatuur kan meer waterdamp bevatten.

Ook de gemiddelde globale straling (d.i. de hoeveelheid zonnestraling per oppervlakte-eenheid) in de stad is lager (12 – 24%) in vergelijking met de referentielocatie. Dit is voornamelijk een gevolg van schaduwwerking door gebouwen en andere obstakels (bijvoorbeeld bomen) in de buurt van de meetstations. Bij hitte verbetert het thermisch comfort hierdoor.

De gemeten windsnelheid in de stad is aanzienlijk lager dan in het rurale gebied. Dit geldt voor zowel de dakstations (-40%) als de grondstations (-65%). Vooral tijdens zomerse dagen is het ontbreken van luchtstroming ongunstig voor het thermisch comfort.

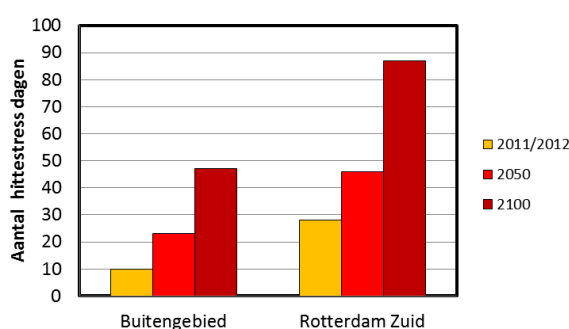
Een maat voor thermisch comfort is de 'Physiologically Equivalent Temperature' (PET) die is gebaseerd op de warmtebalans van het menselijk lichaam. Met de bovenstaande gegevens over het lokale klimaat zijn de PET waarden voor de locaties berekend. Figuur 2.8 toont de frequentieverdeling van de verschillende thermisch comfortklassen voor juli 2010. Vergelijkbare resultaten zijn voor juli 2011 gevonden. In deze periode was het atmosferisch UHI-effect overdag gering of zelfs negatief (b.v. 'Rijnhaven'), maar het thermisch comfort was vooral overdag minder, wat te wijten is aan de hogere globale straling en luchttemperatuur. Het aantal uren dat kan worden geclassificeerd als uren met matige tot sterke hittestress is groter op de stadslocaties dan op de referentielocatie in het buitengebied. Echter, de figuur laat ook zien dat het aantal comfortabele uren in de stad groter is.

Verder valt op dat voor de locatie Rijnhaven het aantal uren met verminderd thermisch comfort relatief klein is, wat in tegenspraak lijkt met de hoge UHI intensiteit die voor deze locatie is gevonden. Ook het relatief grote aantal uren met verminderd thermisch comfort voor de 'groene' locatie Ridderkerk is opvallend. Waarschijnlijk is het verminderd thermisch comfort overdag op de stadslocaties vooral een gevolg van de lagere windsnelheden. De verschillen in windsnelheid overdag tussen de locaties zouden ook deels de verschillen in thermisch comfort kunnen verklaren. Zo is de windsnelheid op de 'Rijnhaven' locatie relatief hoog (ca. 80% van referentie) door de aanwezigheid van een groot wateroppervlak terwijl de windsnelheid op de locatie 'Ridderkerk' relatief laag is (ca. 30% van de referentie). Na zonsondergang speelt het UHI effect een grote rol in het thermisch comfort.



Figuur 2.8. Frequentieverdeling van de verschillende thermisch comfortklassen voor overdag en gedurende de nacht voor juli 2010 (Bron: van Driel 2013)

Om een indicatie te krijgen van de urgentie van het hitteprobleem, zijn de temperatuurreeksen van de stadslocatie Zuid en de referentielocatie getransformeerd naar temperatuurreeksen voor 2050 en 2100 (www.knmi.nl). Dit gebeurde voor het (W+) KNMI'06 klimaatscenario, dat met het oog op de hitteproblematiek als een realistisch "worst case" scenario beschouwd kan worden. Vervolgens is de Effectieve Temperatuur (ET) berekend; deze index is een maat voor thermisch comfort die wordt berekend uit luchttemperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid. De mens ervaart meer warmtestress bij een ET-waarde groter dan 21 °C. De resultaten in figuur 29 laten zien dat we onder dit scenario zowel in het buitengebied als in de stad een aanzienlijke toename van het aantal dagen met verminderd thermisch comfort moeten verwachten. We benadrukken dat dit een eerste grof resultaat is, waarbij alleen is gekeken naar de verandering in temperatuur. Voor een complete analyse dienen ook andere meteorologische variabelen zoals luchtvochtigheid en windsnelheid te worden meegenomen.



Figuur 2.9. Het aantal dagen met matige tot sterke hittestress voor de locaties buitengebied en 'Rotterdam Zuid', berekend voor de huidige situatie en halverwege en aan het eind van deze eeuw onder het (W+) KNMI'06 scenario.

2.1.2 De invloed van wijkeigenschappen op oppervlaktetemperatuur, UHI en thermisch comfort

In een eerdere studie hebben Klok et al. (2012) de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van Rotterdam voor zomerse dagen gerelateerd aan factoren voor het stedelijk landgebruik en stedelijke geometrie (tabel 2.1). De resultaten voor de oppervlaktetemperatuur zijn echter lastig te 'vertalen' naar luchttemperatuur. Weliswaar zijn beide temperaturen gekoppeld door de verschillende processen die deel uitmaken van de energiebalans, maar er bestaat geen eenvoudige relatie tussen luchttemperatuur en oppervlaktetemperatuur. Hiervoor zijn extra gegevens over de stralings-, verdampings- en warmteflux nodig. Dit maakt het ook lastig om oppervlaktetemperatuur direct te relateren aan atmosferisch UHI. Vandaar dat een soortgelijke studie is uitgevoerd naar de ruimtelijke verdeling van de UHI intensiteit met behulp van de metingen aan de luchttemperatuur. Hiervoor zijn rondom elk meetstation, binnen een straal van 250 m, de gebiedskenmerken gekwantificeerd met behulp van GIS gegevens en luchtfoto's (zie Bijlage C voor een verklaring van de gebiedskenmerken). Tabel 2.2 geeft een samenvatting van de belangrijkste resultaten.

Significante⁸ correlaties ($p < 0.05$) worden gevonden tussen UHI intensiteit en de fractie bebouwd oppervlak, de fractie verhard oppervlak en de fractie stedelijk groen. Daarentegen is er geen significante relatie tussen UHI intensiteit en de fractie water. Deze resultaten zijn in overeenstemming met de resultaten van Klok et al. (2012) en Van der Hoeven & Wandl (2013) voor de oppervlaktetemperatuur.

De fracties bebouwd oppervlak en totaal verhard oppervlak blijken voor de UHI intensiteit sterk bepalende factoren te zijn. Bij iedere stap van 10% toename van de bebouwde fractie stijgen de mediaan en 95 percentielwaarden van UHI_{max} met respectievelijk 0.4 °C en 0.7 °C. Bij de fractie totaal verhard oppervlak is dit respectievelijk 0.2 °C en 0.5 °C. Deze fractie heeft ook een duidelijke invloed op thermisch comfort. Figuur 2.10 toont het aantal dagen met verminderd comfort ($ET > 21$ °C) uitgezet tegen de fractie verhard oppervlak. Het betreft een voorlopige analyse⁹, waarbij nog geen onderscheid is gemaakt tussen dag en nacht. Evenals voor de UHI vinden we een significante relatie. Een locatie in een wijk met een groter verhard oppervlak heeft een groter aantal dagen met verminderd thermisch comfort.

De fractie groen is vaak omgekeerd evenredig met de fractie totaal verhard of de fractie bebouwd. Immers, een stijging van de groenfractie gaat in veel gevallen ten koste van het verharde of bebouwde oppervlak¹⁰. Wanneer 10% van het verharde en bebouwde oppervlak plaats maakt voor groen, daalt de mediaanwaarde voor het UHI_{max} met 0.2 °C en de 95 percentielwaarde met 0.4 °C. Vergelijkbare resultaten zijn verkregen voor de relatie tussen UHI_{max} en fractie groen in wijken van verschillende Nederlandse steden (Steenefeld et al. 2011). Voor de oppervlaktetemperatuur vonden Klok et al. (2012) dat de fractie groen zelfs de meest bepalende factor is en dat die temperatuur daalt met ongeveer 1 °C bij een toename van het groenoppervlak met 10%.

Ook de gemiddelde hoogte van gebouwen en andere obstakels in een wijk lijkt een sterk bepalende factor te zijn ($r^2 = 0.69-0.80$). Bij een toename van de gemiddelde hoogte met 1 m stijgen de mediaan- en 95-percentielwaarde van UHI_{max} met respectievelijk 0.2 °C en 0.1 °C.

⁸ Met de p-waarde wordt beoordeeld of het verband 'significant' is. Bij een p-waarde die kleiner is dan 0.05 (d.i. 5% kans dat de relatie op toeval berust), is een verband statistisch significant.

⁹ De analyse van de invloed van andere stadseigenschappen is nog niet afgerond

¹⁰ Groene daken en gevels kunnen dit patroon doorbreken. Ander probleem is bomen boven een straat: dat levert zowel verhard als groen oppervlak op.

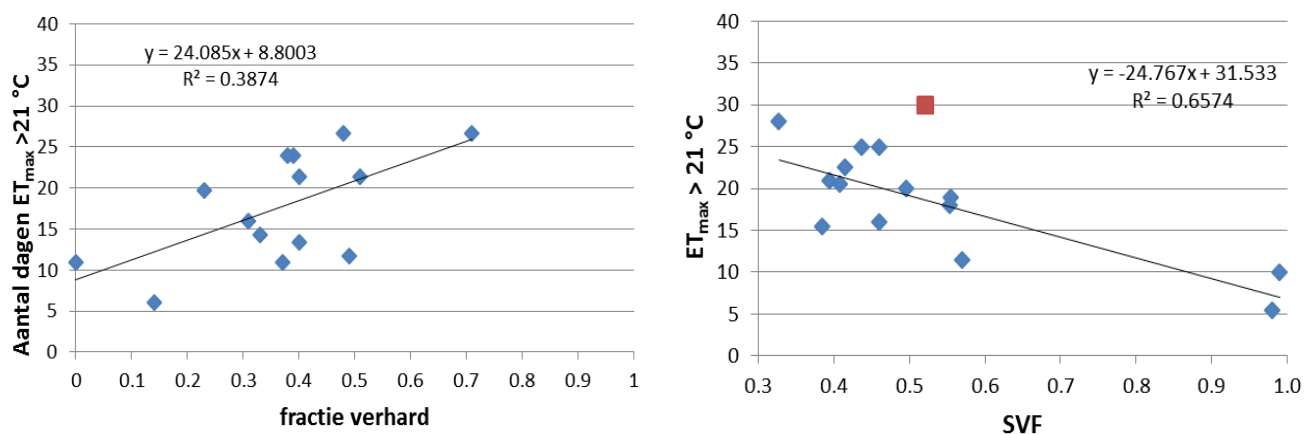
Tabel 2.1. De invloed van factoren voor het stedelijk landgebruik en geometrie op de **oppervlaktetemperatuur** voor wijken in Rotterdam. De relaties zijn significant op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval (bron: Klok et al. 2012).

Hittefactor	Range van waarden	Toename/afname in oppervlaktetemperatuur (°C) bij toename van 0.1 (10%)		Pearson correlatie - r	Opmerkingen
Stedelijk landgebruik					
Bebouwde fractie	0.00 – 0.39		1.4	0.54	
Totaal verharde fractie	0.00 – 0.96		0.7	0.62	
Groen fractie	0.02 – 0.66		-1.3	-0.83	
Water fractie	0.00 – 0.63		0.2	0.13	geen significante relatie
Stedelijke geometrie					
Sky View Factor (SVF)	0.52-1.00		-1.4	-0.61	
Gebouwhoogte	3 -38 m		0.3	0.52	bij toename van 1 m
Albedo	0.06 – 0.16		-0.8	-0.64	bij toename van 0.01
Emissiviteit	0.92 – 1.00		-1.7	-0.90	bij toename van 0.01

Tabel 2.2. De invloed van factoren voor het stedelijk landgebruik en geometrie op de UHI_{max} waarden (gebaseerd op de **luchttemperatuur**) voor de meetlocaties in Rotterdam. De relaties zijn significant op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval ($p < 0.05$).

Hittefactor	Range van waarden*	Toename/afname in UHI_{max} (in °C) bij toename van 0.1 (10%)				Opmerkingen
		mediaan	r^2	P95	r^2	
Stedelijk landgebruik						
Bebouwde fractie	0.03-0.44	0.4	0.75	0.7	0.57	
Totaal verharde fractie	0.14-0.71	0.2	0.72	0.5	0.74	
Groen fractie	0.01-0.64	-0.2	0.61	-0.4	0.44	
Water fractie	0.00-0.39	Geen significante relatie				zowel toename als afname
Stedelijke geometrie						
Sky View Factor (SVF)	0.44-0.78	Geen significante relatie				grond stations
Aspect ratio	0.10-1.11	0.2	0.71	0.4	0.78	grond stations
Gebouwhoogte	2.3 - 26.6 m	0.1	0.69	0.2	0.80	bij toename van 1 m
Albedo	0.08-0.17	Geen significante relatie				
*excl. Zestienhoven (WMO) en Referentie						16

Klok et al. (2012) vinden ook significante lineaire relaties tussen oppervlakte UHI en de 'Sky View Factor' (SVF) en albedo, maar dit komt niet naar voren uit de analyses van de luchttemperatuur. Er is wel een significante lineaire relatie tussen de SVF en de comforttemperatuur. Figuur 2.10 toont het aantal dagen met verminderd comfort ($ET > 21\text{ }^{\circ}\text{C}$) uitgezet tegen de fractie verhard oppervlak en 'Sky View Factor' (SVF). Een locatie in een wijk met een groter verhard oppervlak heeft een groter aantal dagen met verminderd thermisch comfort, terwijl een locatie met een grotere SVF (meer open zicht) een kleiner aantal dagen met verminderd thermisch comfort laat zien.

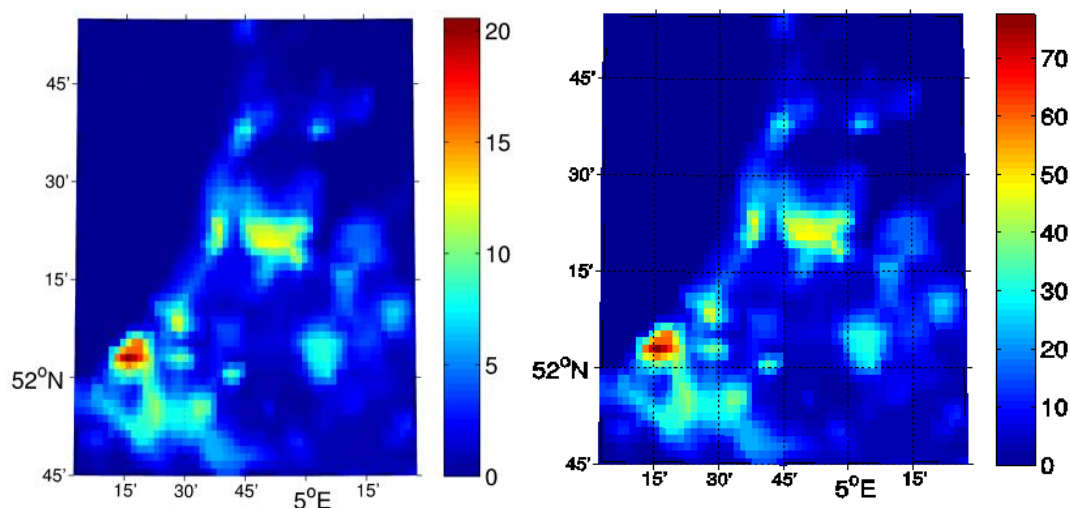


Figuur 2.10. Aantal dagen met verminderd thermisch comfort ($ET > 21\text{ }^{\circ}\text{C}$) uitgezet tegen de fractie verhard oppervlak ('impervious') en tegen de 'Sky View Factor' (SVF) voor de verschillende meetlocaties in Rotterdam.

Over het algemeen wordt aangenomen dat open water in de stad een verkoelend effect op de aangrenzende omgeving heeft. Dit is echter niet zonder meer het geval. De verkoelende werking van open water in de zomer hangt namelijk sterk af van de watertemperatuur. Gedurende de zomer warmt het water op waardoor het verkoelend vermogen afneemt. Tijdens zomerse dagen kan dan de watertemperatuur na zonsondergang zelfs hoger zijn dan de temperatuur in de aangrenzende gebouwde omgeving waardoor deze minder snel afkoelt. Hiermee kunnen we ook de hoge UHI-intensiteit van Rijnhaven verklaren. Daarentegen is er boven open water in de stad meer ruimte voor natuurlijke ventilatie door de wind. Op warme dagen is dit gunstig voor het thermisch comfort. Het uiteindelijke effect van open water hangt sterk af van de dimensionering (oppervlakte, diepte), de ligging ten opzichte van de windrichting en de ligging ten opzichte van gebouwen en andere structuren in de omgeving. Ook aanvoer van koeler of warmer water van elders kan een rol spelen, zoals bij een rivier. Dit 'complexe karakter' van water is waarschijnlijk een verklaring voor de afwezigheid van een duidelijke relatie tussen UHI intensiteit en de fractie water.

Bovenstaande analyses zeggen alleen iets over de invloed van 'gebiedsgemiddelde' eigenschappen. Plaatselijk (d.w.z. op de microschaal) kunnen de verschillen groot zijn. De resultaten van metingen uitgevoerd in een klein park in Rotterdam illustreren dit. Ze tonen aan dat op zomerse dagen (dagen met een maximum temperatuur tussen 25°C en 30°C) de gemiddelde luchttemperatuur in een park overdag wel tot 3 °C lager kan zijn dan buiten het park (Slingerland, 2012). De luchttemperatuur is daarmee gelijk aan de temperatuur buiten de stad. Echter, de metingen laten ook zien dat dit 'Park Cool Island' effect slechts een beperkte invloed heeft op de luchttemperatuur in de aangrenzende bebouwde omgeving. Vergelijkbare resultaten zijn gevonden met de mobiele metingen (zie paragraaf 4.2.1 en Heusinkveld et al., 2010).

Een andere factor van belang voor het UHI-effect is de emissie van warmte door menselijke activiteiten. Uit voorlopige berekeningen met behulp van het meso-schaal model WRF blijken op een warme dag in Nederland de lokale verschillen in geëmitteerde antropogene warmte vrij groot te zijn (zie figuur 2.11): in de verstedelijkte gebieden rond Den Haag en Rotterdam loopt de emissie van antropogene warmte op tot ongeveer 20 W m⁻² gedurende de nacht en ongeveer 70 W m⁻² gedurende de dag, terwijl op het omliggende platteland de emissie van warmte veel lager ligt. Deze simulaties suggereren dat antropogene emissies in de Randstad lokaal verantwoordelijk zijn voor 10% extra UHI effect.



Figuur 2.11 Antropogene emissies van warmte (in W m⁻²) voor de randstad voor 2 uur s' nachts lokale tijd (links) en 12 uur 's middags lokale tijd (rechts) zoals geschat met behulp van versie 3.1 van het LUCY model.

2.2 Modelling van lokaal klimaat

2.2.1 Modelling op meso-schaal

De meso-schaal is in de orde van enkele honderden meters tot enkele kilometer en modellen voor de mesoschaal zijn dus met name geschikt om het klimaat van de stad op wijk en/of stadsdeelniveau in kaart te brengen. In het afgelopen jaar is er voortgebouwd op eerder studies met het meso-schaal model Weather and Research Forecasting (WRF). Zo is WRF dit jaar gebruikt om het klimaat van de wijk Bergpolder Zuid van Rotterdam in kaart te brengen. De focus op een specifieke locatie biedt de mogelijkheid om het model te valideren wat nodig is aangezien het meso-schaal model nog niet zo vaak voor een Nederlandse stad is gevalideerd. Bovendien is de focus op een wijk een belangrijke voorwaarde voor een effectieve (offline) koppeling van WRF-model met een CFD-model voor de microschaal (zie 2.2.3).

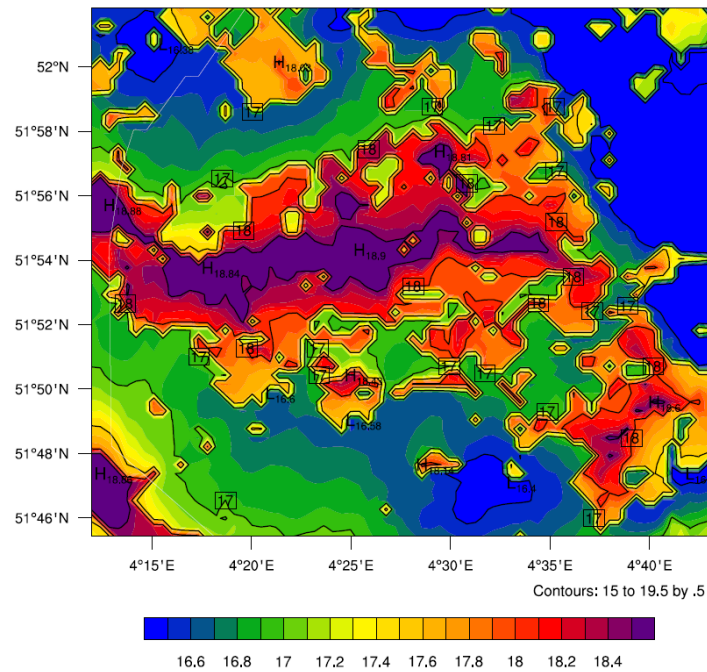
Bepalen van thermo-fysische eigenschappen Bergpolder Zuid

Om nuttige data te krijgen is het belangrijk om de locatie-specifieke thermo-fysische eigenschappen en bebouwingskarakteristieken van de voorbeeldwijk Bergpolder Zuid zo precies mogelijk in kaart te brengen en in het meso-schaal model WRF te implementeren. Daarom zijn de belangrijkste eigenschappen van de wijk Bergpolder Zuid berekend. De wijk Bergpolder Zuid wordt gekarakteriseerd door huizen en andere gebouwen uit de 19^e en het begin van de 20^e eeuw. Uit de berekeningen blijkt dat de berekende diktes van de muren (veel) hoger zijn dan de 0.05 meter die standaard wordt voorgeschreven in WRF. Dit zou kunnen leiden tot meer buffering van warmte in muren. Voor straten is de standaard geleidingscoëfficiënt en wegdikte genomen uit van Kusaka et al (2001). De wegen bestaan een kwart uit asfaltwegen en driekwart uit klinkers. Hier is een gemiddeld albedo uit berekend.

Validatie van het WRF-model

De meest opvallende uitkomst is dat de temperaturen boven het water hoger zijn dan de temperaturen in de stad (figuur 2.12). Deze verhoogde watertemperaturen leiden nog tot een extra opwarming aan de stad bovenop het eigenlijk Urban Heat Island effect. Ook is te zien dat er een horizontale aanstroom is van warmte ten noorden van Rotterdam. Hier ligt ook KNMI SYNOP-weerstation Rotterdam. Rotterdam heeft een gemiddelde temperatuur van 18.93 °C. Het model simuleert een temperatuur van 17.02 °C, wat dus een bias betekent van bijna 2 °C.

De wijk Bergpolder Zuid is een fractie koeler dan de rest van Rotterdam. Dit zou samen kunnen hangen met dat er in Bergpolder Zuid iets meer groen (38 %) is dan in de rest van Rotterdam (32 %). Om dit te checken is een additionele run uitgevoerd waarbij de andere delen van Rotterdam zijn gesimuleerd met dezelfde eigenschappen die ook voor Bergpolder Zuid zijn toegepast. In deze additionele run blijkt Bergpolder Zuid maar 0.04 °C warmer te worden, terwijl de “aangepaste” wijken ~0.25 °C opwarmen. Dit suggereert dat advection vanuit de warmere omgeving naar koelere omgevingen waarschijnlijk minder belangrijk is voor het lokale klimaat dan de lokale omstandigheden. Wat daarnaast opmerkelijk is dat het havengebied veel langzamer afkoelt in de avond dan de woonwijken van Rotterdam. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door de lagere fractie vegetatie in het havengebied. Daarentegen is de skyview factor in het havengebied wel duidelijk lager dan in de omliggende woongebieden.



Figuur 2.12 Gemiddelde temperatuur voor 8 en 9 december 2012 voor het meest gedetailleerde deel van het WRF model

Het WRF model is gevalideerd voor de waarnemingen die zijn gedaan op meetstation Rotterdam-Zuid in het kader van deelproject 1.1 van het CPC project. De bias die we vonden voor vliegveld Rotterdam, zien we ook voor Rotterdam-Zuid. Het verschil in de stad is zelfs nog iets groter met een bias van -2.81 °C. Vergelijken met de observaties is WRF ook iets te droog. Daarnaast simuleert het WRF model veel wind in de canyon, op een hoogte van 2.8 m. De zuidoostenwind wordt dus iets overschat door WRF. Dit betekent dat het model teveel horizontale aanstroom geeft van lucht van het omliggende platteland naar de stad. Mogelijk verklaart dit (deels) waarom het model de temperatuur in de stad onderschat. Uit de eerste validatieresultaten blijkt dat het model, ondanks de verbeteringen, nog te koud is en te droog is. Verdere validatie van het model zal dus een voorname focus zijn voor het komend jaar.

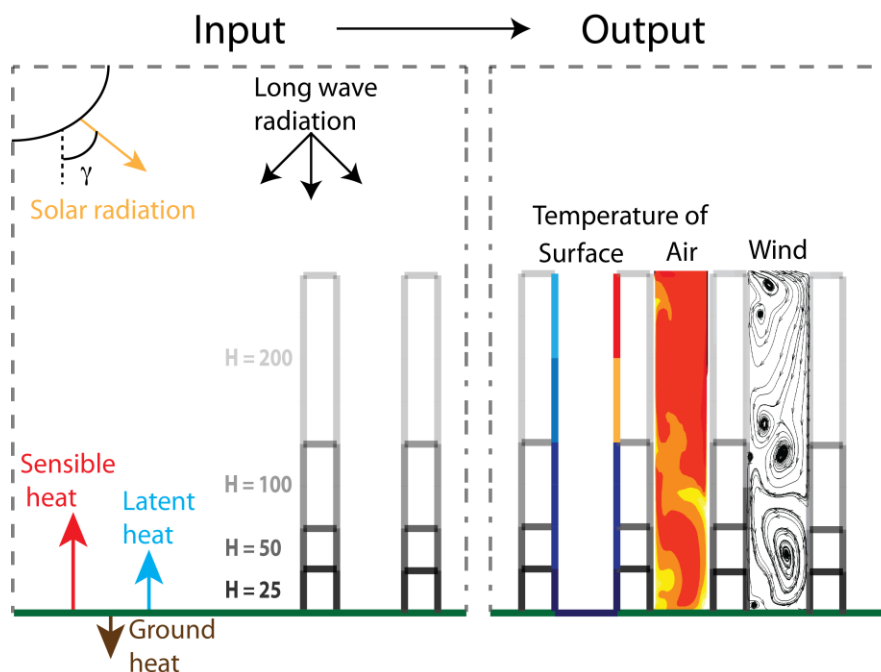
2.2.2 Modelling op micro-schaal

Met de ontwikkeling van het micro-schaalmodel kan het klimaat op straat en gebouwniveau worden benaderd. Bestaande micro-schaal modellen zijn over het algemeen in twee categorieën te verdelen. Veel gebruikte modellen berekenen de straling (kortgolvig en langgolvig) in een stedelijke omgeving (bijvoorbeeld Solweig, RayMan). Op basis van deze straling en aannames over de wind, verdamping en energie in de grond wordt een oppervlakte temperatuur of mean radiant temperature (soort gevoelstemperatuur) berekend. In een CFD (computational fluid dynamics) model wordt een oppervlakte temperatuur aangenomen waarna vervolgens berekend wordt hoe deze oppervlakken de lucht verwarmen en hoe deze warme lucht verplaatst door een stedelijke omgeving (lokale hotspots van warme lucht). Hierbij is het van belang om nauwkeurig de oppervlakte temperatuur te weten, dit bepaalt immers hoe goed de resultaten overeenkomen met de werkelijkheid.

Binnen CPC is een nieuw micro-schaal model ontwikkeld dat deze twee type modellen combineert (figuur 2.13). Dit heeft als voordeel dat dit micro-schaal model nauwkeurige informatie geeft over oppervlakte temperatuur en lokale hot-spots, maar heeft als nadeel dat het model veel rekentijd vergt. Met het model kan dan ook de effectiviteit van generieke maatregelen worden doorgerekend en kan in detail gekeken worden naar de effecten van adaptatie-maatregelen. Ook is het zeer geschikt voor algemene kennis over de oorzaken en werking van het urban heat island, maar door de lange rekentijd minder geschikt voor specifieke locatie-gerichte oplossingen.

Een voorbeeld van deze algemene kennis is de oorzaak en het ontstaan van het urban heat island effect gedurende de dag voor een geïdealiseerde 2D stad. Hiervoor is een studie gedaan naar de effecten van verschillende processen (bijvoorbeeld opwarmen van de lucht door gebouwen, warmte-opslag in de muren) voor een range van hoogte-breedte verhoudingen van gebouwen op de oppervlakte- en luchttemperatuur. Deze studie laat zien dat bij hogere gebouwen de absorptie van zonnestraling door reflectie tussen de gebouwen toeneemt. Dit effect is de drijvende kracht achter het urban heat island effect. Het gedeelte van de kortgolvlige zonnestraling dat namelijk wordt gereflecteerd door het ene gebouw, heeft meer kans alsnog te worden geabsorbeerd door omliggende gebouwen als deze hoog zijn. Doordat er meer kortgolvlige straling opgenomen wordt, worden de muren warmer, waardoor ook nog meer langgolvlige straling uitgezonden en weer opgevangen wordt (long-wave trapping).

Daarnaast wordt bij hogere gebouwen het effect van ventilatie steeds kleiner, waarbij voor de meest extreme gevallen (zeer hoge gebouwen) er bijna geen opwarming van de lucht door het oppervlak meer is door het gebrek aan wind. Door het gebrek aan ventilatie, kan het warme oppervlak zijn energie maar voor een deel kwijt aan de warme lucht. In deze situatie wordt de opgenomen straling compleet omgezet in opwarming van de muren.



Figuur 2.13 Overzichtsfiguur van het micro-schaal model. Aan de linkerkant de input, met onder meer gebouwen en bijbehorende parameters. De fysische processen kunnen afzonderlijk aan- en uit gezet worden. Aan de rechterzijde de output, met oppervlakte temperatuur, lucht temperatuur en lucht stroming.

2.2.3 Koppeling van het meso- en microschaalmodel

Naast de separate ontwikkeling van het WRF model (meso-schaal model) en het CFD model (micro-schaal model) wordt er ook gewerkt aan een vergelijkend onderzoek tussen beide. In een later stadium wordt hier ook het Envi-MET (het meest gebruikte micro-schaal model) aan toegevoegd. De micro-schaal modellen gebruiken een resolutie van ongeveer 1x1 meter, terwijl het meso-schaal model een resolutie gebruikt van 500x500 meter. Het doel is om deze modellen te koppelen: WRF kan data aanleveren aan het micro-schaal model, waarna deze gedetailleerde informatie terug gekoppeld kan worden naar WRF. Hierdoor worden beide modellen verbeterd.

Voorlopige resultaten tonen aan dat de netto opgenomen straling in een stedelijke omgeving in beide modellen bijna gelijk is, ondanks dat er grote verschillen zijn in de verschillende stralingscomponenten. Ook de energie die gebruikt wordt voor de opwarming van de lucht is gelijk. Toch geeft het micro-schaal model een gemiddelde oppervlakte temperatuur die 11 Kelvin koeler is dan het WRF model. Schaduw gebieden zijn zelfs 15 Kelvin koeler. Ondanks deze verschillen in oppervlakte temperatuur zijn de verschillen in lucht temperatuur minimaal: 0.1 Kelvin op 12 meter hoogte (het laagste data punt uit WRF). Dit koppelingsonderzoek wordt het komende jaar nog uitgebreid met andere modellen en vergelijkingen.

2.3 Conclusies werking stedelijk klimaat

Hoe is het lokale klimaat in Nederlandse steden?

Stedelijk hitte-eiland effect

- Elke stad of stadsdeel in Nederland heeft te maken met een stedelijk hitte-eiland effect (UHI);
- 1. De UHI intensiteit van Nederlandse steden is aanzienlijk en vergelijkbaar met dat van andere Europese steden;
- 2. De UHI intensiteit is vooral na zonsondergang groot doordat het platteland veel sneller afkoelt dan de stad waar afkoeling pas aan het einde van de nacht plaatsvindt;
- 3. De UHI intensiteit is in de zomermaanden en in het voorjaar het grootst en veel kleiner in de winter. Echter, ook op sommige winterdagen kunnen de nachtelijke verschillen in temperatuur tussen stad en platteland groot zijn. Dit laatste is veelal een kortdurend effect (< 1 dag);
- 4. Het temperatuurverschil tussen stad en platteland is vooral op leefniveau groot; het UHI op grotere hoogte in de grenslaag boven de stad is gering. Ook kunnen er grote verschillen in UHI op leefniveau binnen de stad voorkomen ('intra-urban variability');
- 5. De ontwikkelingen aan het micro-schaalmodel geven aan dat de toegenomen absorptie van kortgolvlige zonnestraling door reflectie tussen hoge gebouwen de drijvende kracht is achter het UHI-effect.
- 6. De warmteproductie door menselijke activiteiten levert een bijdrage aan het UHI. In en rond de grote steden Den Haag en Rotterdam zijn de antropogene emissies van warmte maximaal 20 W m^{-2} gedurende de nacht en ongeveer 70 W m^{-2} gedurende de dag.

Thermisch comfort

- Over het algemeen is het aantal dagen met hittestress in stedelijke gebieden groter dan op het platteland. In de komende decennia kunnen thermisch discomfort en hittestress een belangrijk 'issue' voor veel steden worden;

Wat is de invloed van stedelijke inrichting?

- De relatie tussen UHI en het inwoneraantal van een stad (als proxy voor de grootte van de stad) zoals gerapporteerd door Oke (1973), wordt niet bevestigd in ons onderzoek; andere factoren zoals populatiedichtheid en stad-/wijkeigenschappen, zijn waarschijnlijk meer bepalend zijn voor het UHI;
- De eigenschappen van een stad of wijk lijken ook meer bepalend voor de UHI te zijn dan geografische ligging;
- Hoe langer de warmteperiode duurt, hoe minder snel een dichtbebouwde wijk 's nachts afkoelt. In een groene wijk treedt dit accumulerend effect minder op.
- Zowel de oppervlaktetemperatuur overdag als maximum UHI intensiteit gedurende de nacht vertonen significante (lineaire) relaties met factoren voor het stedelijk landgebruik zoals de

fractie bebouwd oppervlak, de fractie verhard oppervlak en de fractie groenoppervlak. Vermindering van het verharde oppervlak en uitbreiding van het aandeel 'groen' met bijvoorbeeld 10% verlaagt de gemiddelde oppervlaktetemperatuur en maximum UHI intensiteit met respectievelijk ca. 1 °C en 0.2 – 0.7 °C.

- Op zomerse dagen kan het in een klein park 3 °C koeler zijn dan in het aangrenzende bebouwde gebied. Echter, de invloed van het 'Park Cool Island' effect op de aangrenzende bebouwde omgeving is gering.
- Door de grote warmtecapaciteit van water, kan oppervlaktewater in de stad zowel een verkoelend als een verwarmend effect op de omgeving hebben. Zo neemt het verkoelend vermogen van oppervlaktewater in de zomermaanden af door een stijging van de watertemperatuur. Het uiteindelijke effect van open water hangt dan ook sterk af van de dimensionering (oppervlakte, diepte), de ligging ten opzichte van de windrichting en de ligging ten opzichte van gebouwen en andere structuren in de omgeving.
- De eerste resultaten van de verdampingsmetingen in Arnhem laten zien dat in de stad de verdamping een derde is van die in het buitengebied.

Tabel 2.3 Overzicht van de invloed van wijk eigenschappen op het UHI_{max} (luchttemperatuur). Omdat dit tussenresultaten zijn, kunnen de cijfers nog aangepast worden gedurende het onderzoek.

Factor	Effect op gem. UHI _{max} zomermaanden
Antropogene warmte	+0.5 °C gemiddeld over Rotterdam (38 W/m ²) +2.0 °C industriegebied (200 W/m ²)
Populatie dichtheid (inw/km ²)	+0.1 °C tot +0.3 °C per 1000 inw toename/km ²
Bebouwd oppervlak	+0.3 °C tot +0.7 °C per 10% toename
Verhard oppervlak	+0.3 °C per 10% toename
Stadsgroen	-0.3 °C tot -0.6 °C per 10% toename
Open water	Geen significante correlatie
Sky View Factor	Geen significante correlatie
Aspect ratio (=H/W)	0.2-0.3 per H/W toename van 0.1
Albedo	Geen significante correlatie
Gebouwhoogte	+0.15 °C per toename van 1 m

Referenties Hoofdstuk 2

- Beniston, M.** (2004). The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, Vol.31 (doi:10.1029/2003GL018857).
- Driel, B. van** (2013). Intra-urban variability of heat and air quality in Rotterdam agglomeration. Master thesis Wageningen University. 281 pp. Supervisors: Bert van Hove, Bert Heusinkveld.
- Hartogensis, O.K., Evans, J.G., Van Kesteren, B. and F. Beyrich** (2012). Evapotranspiration at Kilometre Scale using a Bi-Chromatic Scintillometer System. At the 30th AMS Conference on Agricultural and Forest Meteorology 29 May - 1 June 2012, Boston, MA, USA
- Heusinkveld, B.G., L.W.A. van Hove, C.M.J. Jacobs, G.J. Steeneveld, J.A. Elbers, E.J. Moors, and A.A.M. Holtslag** (2010). Use of a mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam. Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, 12-14 April 2010. 433-438.
- Hoeven, F. D. van der, Wandl, A.** (2013). Amsterwarm. Gebiedstypologie warmte-eiland Amsterdam. Delft, Nederland: TU Delft.
- Hove, L.W.A. van, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A. Elbers, G.J. Steeneveld, S. Koopmans, E.J. Moors and A.A.M. Holtslag** (2011). *Exploring The Urban Heat Island Intensity Of Dutch Cities. In: City Weathers, meteorology and urban design 1950-2010*. Edited by Michael Hebbert, Vladimir Jankovic & Brian Webb. Published 2011 by Manchester Architecture Research Centre, University of Manchester. ISBN: 978-1-907120-98-5 <http://www.sed.manchester.ac.uk/research/marc>
<http://www.meteo.uni-freiburg.de/forschung/publikatione/berichte/index.html>
- Hurk, B. van den, Klein Tank, A.K., Lenderink, G., Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J. van, Katsman, C., Brink, H. van den, Keller, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W., Drijfhout, S.** (2007). New climate change scenarios for the Netherlands. *Water Science & Technology*, Vol. 56(4): 27-33.
- Klok, L., Zwart, S., Verhagen, H., Mauri, E.** (2012). The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, Conservation and Recycling* 64, 23-29.
- Kovats, R.S., Hajat, S.** (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annual Review of Public Health*, Vol.29: 41-55.
- Luijtelaar, H. van** (2008). Regenwateroverlast in de bebouwde omgeving Inventariserend onderzoek onder gemeenten. In opdracht van Stichting RIONED.
- Kusaka, H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura** (2001). A simple singlelayer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models. *Bound.-Layer Meteorol.*, 101,329-358.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao (2007). Global Climate Projections. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Ren, Ch., T. Spit, S. Lenzholzer, H. L. S. Yim, B. Heusinkveld, B. van Hove, L. Chen, S.Kupski, R. Burghard, L. Katzschner (2012). Urban Climate Map System for Dutch spatial planning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 207–221.

Slingerland, J. (2012). Mitigation of the urban heat island effect by using water and vegetation. MSc thesis TUDelft. 87 pp.

Steenefeld, G.J., S. Koopmans, B.G. Heusinkveld, L.W.A. van Hove, A.A.M. Holtslag (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *J. Geophys. Res.*116, D20129, 14pp., doi: 10.1029/2011 JDO15988.

Stott, P., Stone, D., & Allen, M. (2004). Human contribution to the European Heat wave of 2003. *Nature*, Vol.432: 610-614.

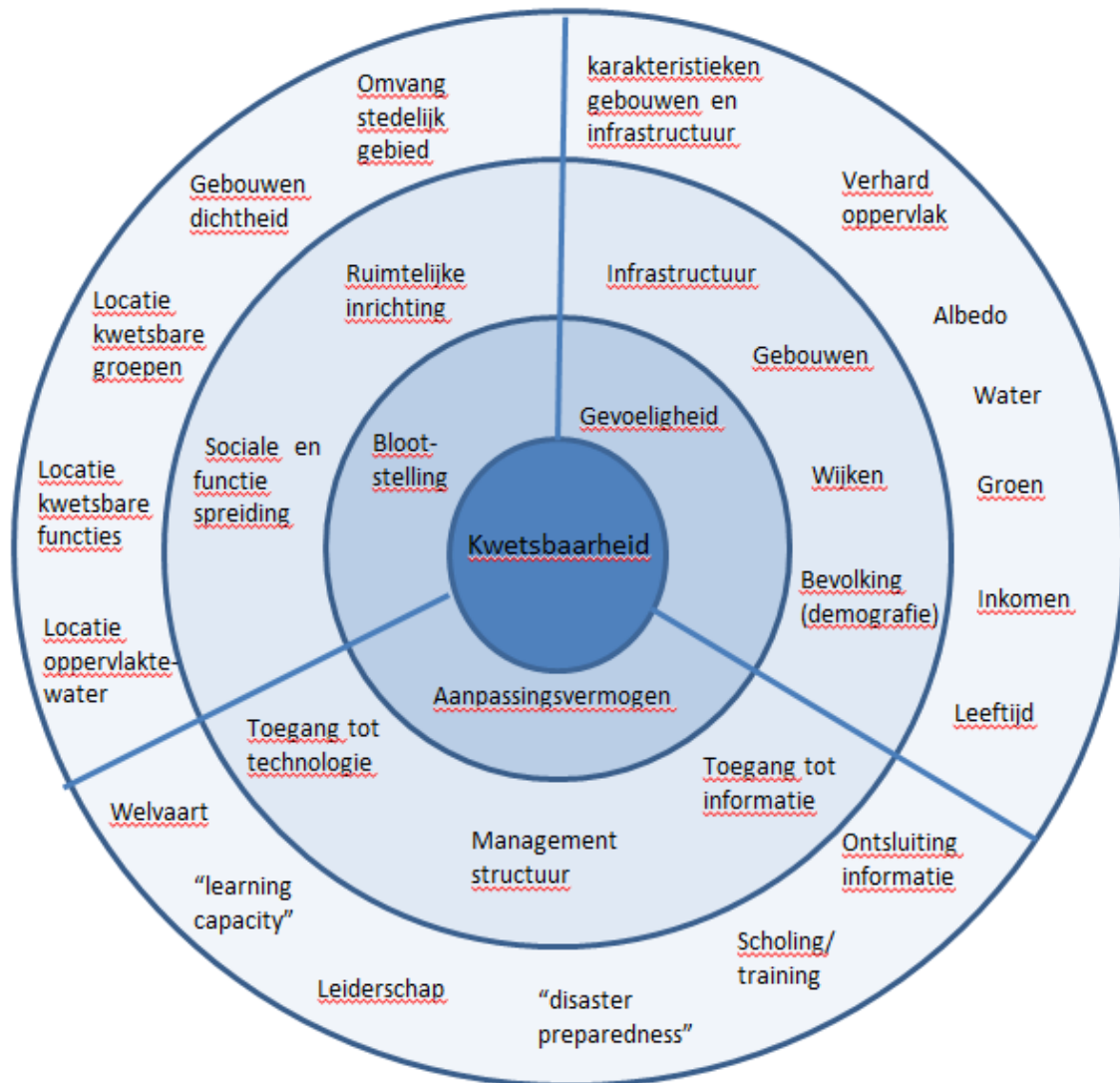
3. Hoe kwetsbaar zijn Nederlandse steden voor de effecten van klimaatverandering?

Kwetsbaarheid van steden voor klimaatverandering wordt gedefinieerd als de mate waarin het stedelijk systeem ontvankelijk is voor en niet in staat is de negatieve gevolgen op te vangen van de verandering in klimaatparameters. Bij dat laatste gaat het dan om de variabiliteit en de extremen in temperatuur, neerslag, en wind. Deze extremen kunnen een (be)dreiging vormen voor de stad en haar inwoners. Maar een klimaatdreiging alleen hoeft nog niet tot schade te leiden. De kwetsbaarheid van een stad wordt bepaald door drie factoren: de gevoeligheid voor de klimaatdreiging, de mate van blootstelling en het aanpassingsvermogen (IPCC, 2007). Deze kwetsbaarheid bepaalt samen met de waarschijnlijkheid van een extreme gebeurtenis van een bepaalde intensiteit het risico voor een stedelijk systeem.

De blootstelling aan klimaatverschijnselen heeft simpelweg te maken met het in contact komen met die dreiging. De geografie van een gebied is hiervoor bepalend: Steden in hoog-Nederland zijn niet blootgesteld aan overstromingen vanuit de zee. Wel kan iedere plek in Nederland worden blootgesteld aan een hittegolf. In het centrum van stedelijke gebieden is de blootstelling aan extreem hoge temperaturen groter dan in het buitengebied, vanwege het stedelijk hitte eiland effect (zie hoofdstuk 2).

De gevoeligheid voor een klimaatdreiging wordt bepaald door de kenmerken van een gebied. Deze kunnen fysisch/ecologisch van aard zijn, bijvoorbeeld de hoeveelheid groen die bepaalt of een effect gemakkelijk kan worden opgevangen, of sociaal-economisch, zoals het aandeel kwetsbare groepen in de samenleving of de hoeveelheid kapitaalgoederen. Een stadsdeel met veel kelders waarin kleine bedrijven gevestigd zijn is gevoeliger voor overstromingen dan een vergelijkbare buurt zonder kelders.

Het aanpassingsvermogen maakt dat kwetsbaarheid voor klimaatdreigingen verminderd kan worden. Het aanpassingsvermogen wordt bepaald door de mate waarin een stad kan omgaan met de effecten van klimaatverandering, mogelijke aanpassingen kan verwezenlijken en de schade kan beperken (Smit et al., 2001). Door voorbereid te zijn op extreme omstandigheden ("disaster preparedness") kan de gevoeligheid en de blootstelling worden verminderd. Figuur 3.1 geeft een overzicht van kernbegrippen rond kwetsbaarheid en een op indicatoren gebaseerd analysekader.



Figuur 3.1: Dimensies van kwetsbaarheid (1^e schil) uitgesplitst in componenten (2^e schil) en selectie van indicatoren (3^e schil) van stedelijke gebieden voor hitte. Naar het Vulnerability Scoping Diagram van Polsky et al. (2007).

In dit hoofdstuk gaan we vooral in op de gevoeligheid van steden voor de gevolgen van hitte. Hierbij beginnen we met de bevolking (3.1.1), vervolgens kijken we naar de kwaliteiten van gebouwen waarin de bevolking een groot deel van de dag doorbrengt (3.1.2) en tenslotte brengen we dit samen met de kenmerken van wijken (3.1.3). Ook is er een kwetsbaarheidstypologie van wijken ontwikkeld voor hitte (3.1.4). Met zo'n typologie kunnen steden snel een beeld vormen van de mate van kwetsbaarheid van verschillende stadsdelen en van de belangrijkste factoren die de kwetsbaarheid van een wijk bepalen. In deze wijktypologie is het aanpassingsvermogen nog niet meegenomen. Het is ook de vraag in hoeverre de dimensie aanpassingsvermogen van toepassing is op wijkniveau. 'Toegang tot technologie' is bijvoorbeeld vaak niet op wijkniveau georganiseerd.

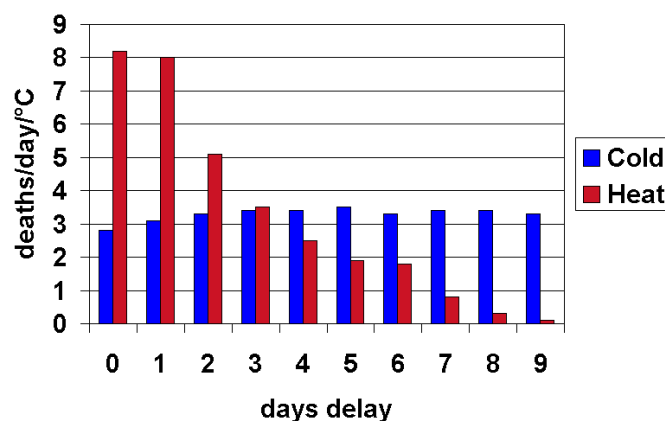
Tenslotte wordt in hoofdstuk 3.2 de gevoeligheid van het stedelijk gebied voor wateroverlast bekeken.

3.1 Kwetsbaarheid voor hitte

3.1.1 Gevoeligheid van de bevolking voor hitte

Boven een zekere grens leiden hoge temperaturen tot hittestress. Deze hittestress kan leiden tot een verminderd thermisch comfort, slaapverstoring, gedragsverandering (grotere agressie) en verminderde arbeidsproductiviteit. Hittestress kan echter ook tot serieuze hitte gerelateerde ziekten leiden zoals: huiduitslag, krampen, oververmoeidheid, beroertes, nierfalen en ademhalingsproblemen. Soms kan hittestress zelfs sterfte tot gevolg hebben (Howe en Boden, 2007; Daanen et al., 2010).

Tijdens hittegolven nemen zowel het bezoek aan ziekenhuizen (voor noodgevallen) en sterfte beduidend toe (Kovats en Hajat, 2008) (Wang et al., 2009). In Nederland stijgt tijdens hittegolven de sterfte met 12% (ongeveer 40 doden per dag extra) (Huynen et al., 2001). Binnen CPC is een database gemaakt van klimaatgegevens (KNMI) en sterftegegevens (CBS). Hiermee is in kaart gebracht hoe groot de oversterfte is in hitte en koude (Daanen en Bröde, in bewerking). Figuur 3.2 geeft aan dat in de hitte de oversterfte 8 mensen extra bedraagt voor elke graad warmer dan 20°C. Dat is meer dan eerder gedacht. Verder blijkt dat de combinatie van temperatuur en vochtigheid, waarvoor gecombineerde indices bestaan zoals de hitte index en de humidex, een iets betere voorspeller is voor mortaliteit dan temperatuur alleen (Daanen en Bröde, 2013).



Figuur 3.2 Oversterfte per dag per °C voor hitte en koude gerelateerd aan het aantal dagen na de warme of koude dag.

Met deze relaties kan een indicatie worden gegeven van het effect van verschillende klimaatscenario's in 2050 op de gezondheid (tabel 3.1). Aangezien in Nederland meer mensen sterven van de kou dan van de hitte, leidt ieder van de KNMI06 scenario's tot een vermindering van het aantal sterfgevallen per jaar. Voor de "warmere" scenario's neemt echter (zonder adaptatie) het aantal hitte- sterfgevallen toe met hogere gemiddelde temperaturen. Dezelfde relatie geldt voor het temperatuur gerelateerde ziekenhuisbezoek: netto over het jaar neemt dit af, maar in de zomerperiode neemt dit toe. Waar klimaatverandering leidt tot minder schade, uitgedrukt in Euro's, vanwege sterfte en ziekenhuisbezoek, ontstaat meer schade door verminderde arbeidsproductiviteit. De omvang van de (in Euro's uitgedrukte) schade hangt uiteraard sterk af van de waarderingsmethode, maar ligt in de orde van tientallen tot honderden miljoenen Euro's per jaar (dat geldt zowel voor de winst vanwege verminderde sterfte en ziekte, als door het verlies aan arbeidsproductiviteit (Stone et al., 2013).

Tabel 3.1 Financiële schade door hittestress in MEuro/jaar (Stone et al., 2013)

KNMI06 scenario	G	G+	W	W+
Mortality	-12	-16	-23	-25
of which in July and August	1.3	2.7	3.7	8.7
morbidity (hospital admissions)	-103	-137	-193	-249
of which in July and August	-5	-1	2	14
losses in occupational productivity	0	0	6	391

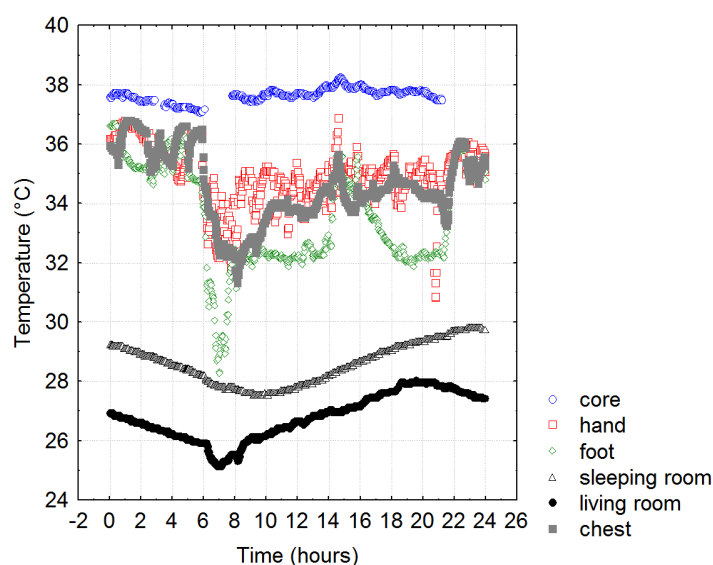
De kwetsbaarste groep voor hittestress zijn ouderen boven de 75 jaar oud (Kovats en Hajat, 2008). Tot de leeftijd van 65 jaar wordt hitte tolerantie niet zozeer beïnvloed door leeftijd, maar door de conditie. In het bijzonder personen met overgewicht, problemen met hart en bloeddruk, en mensen die bepaalde medicijnen gebruiken blijken gevoeliger voor hitte. Fysieke inspanning terwijl men onder invloed van alcohol of drugs is maakt iemand ook gevoeliger. Kinderen en baby's blijken niet gevoeliger voor hitte dan volwassenen (Rowland, 2008).

Ouderen zijn het meest gevoelig voor hoge temperaturen, omdat deze:

- temperatuur minder waarnemen,
- meer te leiden hebben van ziektes en andere conditie verminderende factoren,
- minder zweten en daarmee warmte verliezen,
- vaker medicijnen gebruiken die uitdrogen bevorderen,
- een verminderde aandrang hebben om te drinken.

In het algemeen vergroot uitdroging de gevoeligheid voor hittestress (Pandolf, 1997).

Om een beeld te krijgen van de hittebelasting van ouderen tijdens hittegolven, zijn in 2010 in een hete periode uitgebreide metingen gedaan thuis bij ouderen in Tilburg. De buitentemperatuur, de binnentemperatuur in de huiskamer en de slaapkamer, de huidtemperatuur en de lichaamstemperatuur van ouderen zijn gedurende deze periode voortdurend geregistreerd. De huidtemperatuur en de lichaamstemperatuur liepen op tot zeer hoge waarden. In rust kon de lichaamstemperatuuroplopen tot boven de 38°C, Zie figuur 3.3 (Daanen et al., 2011).



Figuur 3.3 Typisch temperatuurverloop in huiskamer, slaapkamer, op de huid en in het lichaam van een oudere vrouw tijdens de hittegolf van 2010. (Daanen et al., 2011)

Behalve de hier bovengenoemde factoren, vertonen ouderen vaak een suboptimaal gedrag tijdens hittegolven. Ouderen zijn vaak bang voor tocht, en dat betekent dat ze de ramen dicht houden in de ochtend, terwijl dat een goed moment zou zijn om te ventileren. Ook zullen ze niet snel een airconditioning aanzetten waardoor de temperatuur in huis onnodig hoog oploopt. Door hun verminderde waarneming van temperatuur neigen ze ernaar teveel kleding te dragen.

Gebaseerd op het onderzoek met ouderen in Tilburg, zijn de belangrijkste gedragsfactoren die hittegevoeligheid vergroten:

- Onvoldoende drinken
- Verhinderen ventilatie door het dichthouden van ramen
- Dragen van ongeschikte kleding
- Te veel bewegen
- Te weinig op zoek gaan naar koele plekken

Binnen CPC is ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van acclimatisatie van ouderen, hetgeen neerkomt op het vergroten van het aanpassingsvermogen van de mensen zelf. Aangezien meteorologische diensten als het KNMI een hittegolf een aantal dagen van te voren kunnen zien aankomen, zou deze periode gebruikt kunnen worden om ouderen fysiek voor te bereiden op de naderende hitteperiode.

Gezonde jonge mensen kunnen zich goed aanpassen aan hitte (Strydom et al., 1966). Er zijn onderzoeken geweest waarin de zweetproductie zich in zeven dagen verdubbelde, waardoor het koelvermogen van deze personen toenam. Bij ouderen was het vermogen tot acclimatisatie nog nooit onderzocht. Aan het CPC experiment namen acht vrouwen van boven de 75 jaar deel en acht vrouwen in de leeftijdscategorie 20-30 jaar. Onder gecontroleerde omstandigheden hebben ze een aantal dagen lang lichte oefeningen gedaan onder hoge temperaturen, om te kijken of er aanpassingen aan de hitte optraden. De oudere vrouwen hadden een beduidend lagere zweetproductie dan de jongere vrouwen, maar bij geen van beide groepen konden tekenen van acclimatisatie gemeten worden. Mogelijk is een periode van drie dagen tekort voor acclimatisatie (Daanen en Herweijer, ingediend).

Bovenstaande inzichten zijn inmiddels ingebracht in het nationale hitteplan (Ministerie VWS, 2007), dat ouderen, familie van ouderen, verzorgenden en zorginstellingen richtlijnen biedt voor hittegolven. Behalve richtlijnen afgeleid van bovengenoemde kwetsbaarheidsfactoren (zoals voldoende drinken, ventileren, of het nemen van een bad of douche om af te koelen) en zorgen dat informatie hierover beschikbaar is, is een belangrijke richtlijn dat hulp aangeboden wordt. Veel bejaarden zijn niet in staat om de genoemde acties zelfstandig uit te voeren.

3.1.2 Blootstelling aan hittestress - Gebouwkenmerken

In het onderzoek naar de kwetsbaarheid van gebouwen wordt onderzocht welk gebouwtype het meest kwetsbaar is voor een hete zomer en hittegolf zoals in 2003. Uit deze kwetsbaarheidsanalyse zal eveneens naar voren komen welk gebouwtype als eerste in aanmerking komt voor adaptatie maatregelen.

De kwetsbaarheid wordt onderzocht door middel van gebouwsimulaties, zoals dit eveneens is uitgevoerd door e.g. Coley en Kershaw (2010), Chow en Levermore (2010) en de Wilde en Tian (2010). In tegenstelling tot deze eerder studies hebben de resultaten in dit project geen betrekking op één bepaald gebouw, maar op gebouwtypen. Dit wordt bewerkstelligd door de toepassing van Monte Carlo analyses waarbij honderden variaties op een gebouw worden gesimuleerd. Uiteindelijk is het hierdoor mogelijk om de kwetsbaarheid voor een gehele gebouwvoorraad te simuleren (Crawley, 2008), hetgeen nog niet eerder is uitgevoerd (de Wilde en Tian, 2011).

Om de gevoeligheid van gebouwen voor extreme weersomstandigheden beter te begrijpen, kan gebruik gemaakt worden van “Building Energy Simulation” (BES). Met een BES model kan het effect van hittegolven op de binnentemperatuur van verschillende woning typen worden gesimuleerd. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van gegevens over hittegolven in het verleden of van de klimaatprojecties aan de hand van de klimaat scenario's van het KNMI.

Tot nu toe zijn vier hoofdtypen van woningen in Nederland geëvalueerd: rijtjes(tussen)woningen, rijtjes(hoek)woningen, vrijstaande woningen en twee-onder-een-kap woningen. Voor de maatvoering is uitgegaan van de Nederlandse referentiegebouwen (SenterNovem, 2006). De overige parameters zoals oriëntatie, volume, mate van isolatie, en het weer in een bepaald jaar zijn gevarieerd met de waarden zoals aangegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Range van de variabelen in Latin hypercube sample.

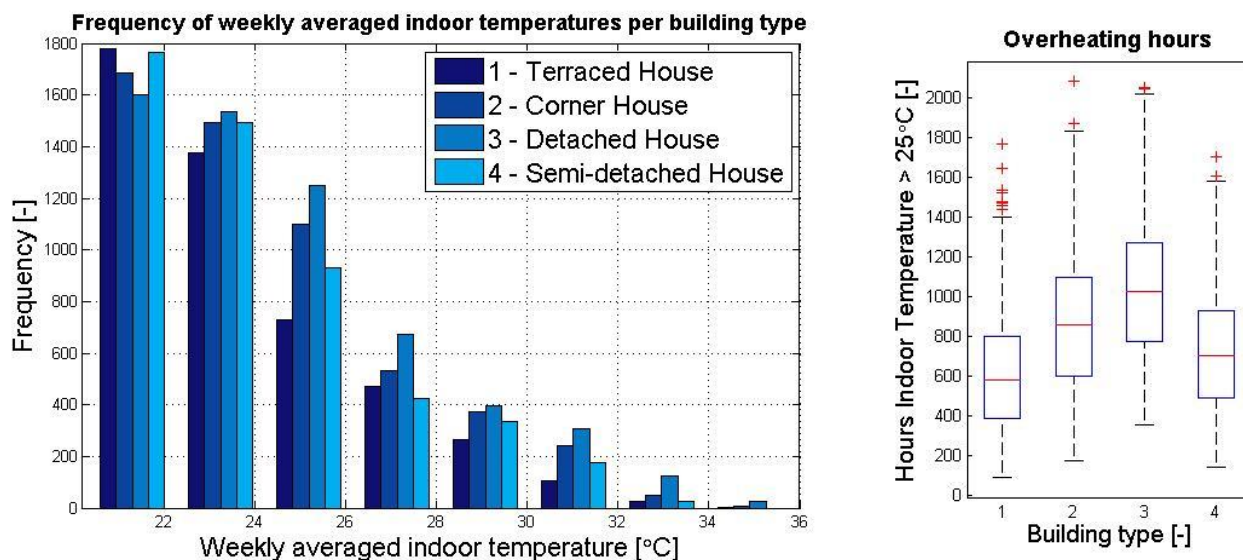
Variabele	Range
Oriëntatie [°]	45° / 90° / 135° / 180° / 225° / 270° / 315° / 360°
Raamopening [m ²]	-20% / -10% / 0% / +10% / +20%
Volume van het gebouw [m ³]	-20% / -10% / 0% / +10% / +20%
Rc ¹ -waarde muren [m ² K/W]	1.30 / 2.53 / 3.0
Rc ¹ -waarde dak [m ² K/W]	1.30 / 2.53 / 4.0
Rc ¹ -waarde vloer [m ² K/W]	1.30 / 2.53 / 3.0
Vloer dikte [m]	-20% / 0% / +20%
Type glas [-]	Single / Double layers
Ventilatie ² [m ³ /m ³ h]	-20% / -10% / 0% / +10% / +20%
Klimaatjaar year [-]	1975 / 1976 / 1990 / 2003 / 2006

¹) De Rc-waarde is een waarde voor de warmteweerstand. Hoe hoger deze waarde, hoe beter de isolatie.

²) Vergeleken met de minimaal vereiste ventilatie in het Bouwbesluit, 1 dm³s⁻¹m⁻² voor woonkamer, slaapkamer en opbergruimtes (NEN 1087, 2001).

Om de variatie in de parameters correct te representeren, zijn voor ieder gebouwtype 400 verschillende varianten gegenereerd (door een willekeurige steekproef met “Latin Hypercube sampling”). Vervolgens zijn 4 x 400 simulaties doorgerekend met een BES model. Voor iedere simulatie is het aantal oververhittingsuren (dat wil zeggen uren met een binnentemperatuur van meer dan 25°C) geteld. Deze maat is gebaseerd op de temperatuur waarbij bewoners het ‘warm’ krijgen (CISBE, 2005).

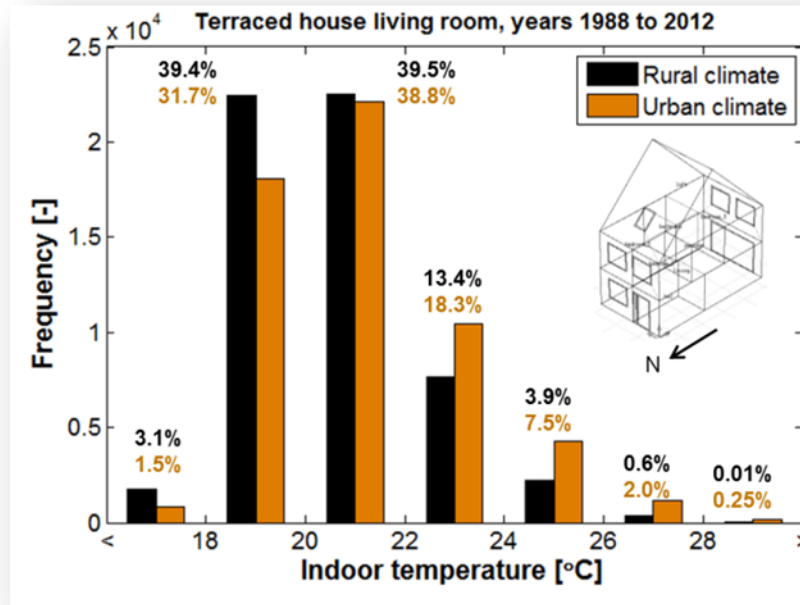
In tussenwoningen en twee-onder-een-kap woningen blijken minder vaak hoge temperaturen voor te komen en is er sprake van minder uren oververhitting dan bij de hoekwoningen en vrijstaande woningen (figuur 3.4). Uit deze simulaties blijken vrijstaande woningen en hoekwoningen dus gevoeliger te zijn voor hitte dan tussenwoningen en twee-onder-een-kap woningen. De analyse houdt geen rekening met bewonersgedrag of interne warmtebronnen. De ramen blijven gesloten en gordijnen, zonweringen of andere maatregelen om de zon buiten te houden zijn ook niet meegenomen. Het effect van deze variabelen op de kwetsbaarheidsclassificatie moet nog bepaald worden.



Figuur 3.4 Frequentie van gemiddelde week binnentemperatuur (links) en de oververhittingsuren (rechts) voor vier verschillende woningtypen.

In 2013 zijn de gebouwsimulaties gekoppeld aan het voorspellend data gedreven model¹¹, zodat met de KNMI gegevens van de temperatuur in het landelijk gebied een goede inschatting kan worden gemaakt van de binnentemperatuur in het stedelijk gebied, dus met inbegrip van het stedelijk hitte-eilandeffect (UHI). Vervolgens zijn alle simulaties opnieuw uitgevoerd rekening houdend met het UHI, en is ook een netwerkmodel voor betere modellering van infiltratie en ventilatie geïmplementeerd. Figuur 3.5 toont dat, voor de periode van 1988 tot 2012, hogere binnentemperaturen vaker voorkomen in rijstjeswoningen in de stad door het UHI-effect.

¹¹ Binnen CPC is op basis van het meetnetwerk in Rotterdam een voorspellend data-gedreven model ontwikkeld waarmee op basis van de metingen van het KNMI in het landelijk gebied de gemiddelde UHI intensiteit in Rotterdam kan worden voorspeld. Hiermee kan vervolgens het effect van het UHI op de binnenomgeving worden bepaald.



Figuur 3.5 Verschillen in de gesimuleerde binnenluchttemperatuur tussen de simulatieresultaten zonder en met UHI, voor de rijwoning en voor de periode van 1988 tot 2012.

Wanneer deze aangepaste methodologie ook wordt toegepast voor de KNMI toekomstscenario's, volgt hieruit dat voor het G-scenario de oververhittingsuren toenemen (meer dan verdubbelen) van 0.6% tot 1.3%, en voor het W+-scenario van 0.6% tot 5.1%.

In het komende jaar zal het gebouwenbestand uitgebreid worden met appartementsgebouwen, en zal ook hiervoor een kwetsbaarheidstypologie worden ontwikkeld.

3.1.3 Gevoeligheidsprofielen voor straten

Ook de opwarming van verschillende typen straten is in kaart gebracht. Voor straten die verschillen in hoogte-breedte verhoudingen en oriëntaties naar de zon zijn gevoeligheidsprofielen opgesteld (Hotkevica, 2013). Deze profielen brengen de zonstraling in de straat in kaart door middel van zon/schaduwanalyses. Straling is als belangrijkste uitgangspunt genomen in deze studie als de directe invloedfactor voor thermisch comfort in de buitenruimte (en zo ook in straten) (Park et al., 2012; Vanos et al., 2012). Figuur 3.6 toont de toepassing van de gevoeligheidsprofielen in het casestudiegebied Bergpolder Zuid in Rotterdam. Deze kaart geeft een indicatie welke bestaande straten meer last hebben van opwarming door directe straling dan andere.

3.1.4 Kwetsbaarheidskaarten voor hittestress - Wijken

Door CPC wordt een gebiedstypologie ontwikkeld die inzicht biedt in de kwetsbaarheid voor hitte. In eerste instantie is de typologie gemaakt voor Amsterdam, gedurende de verdere ontwikkeling zal deze getest worden op Rotterdam en Den Haag. De typologie maakt duidelijk in hoeverre een stad (in het onderstaande voorbeeld Amsterdam) zelf bijdraagt aan het stedelijk hitte-eilandeffect, in hoeverre de ligging van de stad een rol speelt in de ontwikkeling van het stedelijk hitte-eiland, in hoeverre buurten en woningen hun bewoners blootstellen aan het hitte-eiland effect, en in hoeverre de bewoners van de stad kwetsbaar zijn voor de gevolgen ervan (Van der Hoeven en Wandl, 2013). Met andere woorden, de typologie brengt de gedetailleerde informatie over de kwetsbaarheid van mens, gebouw en stedelijk gebied zoals in de voorgaande paragrafen beschreven samen in een samenhangend kader.

Het doel van de typologie is om de basis te vormen voor concrete handreikingen voor het soort actie dat een stad kan ondernemen ten behoeve van het welzijn en het comfort van haar bevolking en het beperken van energiegebruik om gebouwen te koelen tijdens warm weer. De gebiedstypologie maakt het mogelijk om uitspraken te doen over specifieke maatregelen/prioriteiten voor verschillende delen van de stad Amsterdam. Daarbij is niet alleen gekeken naar de plekken in Amsterdam die warmer worden tijdens een hittegolf. Het gaat uiteindelijk om het comfort en de gezondheid van de bewoners van de stad, en de energie die nodig is om gebouwen te koelen. Onderstaande factoren zijn meegenomen in het bepalen van de kwetsbaarheidstypologie voor bewoners:

Oppervlaktetemperatuur

De gebouwde omgeving zelf speelt een bepalende rol: geen stad zonder hitte-eiland. Omdat de oppervlakte temperatuur bijdraagt aan de opwarming van lucht en gebouwen brengen we de aspecten in beeld die van invloed zijn op die oppervlakte temperatuur: mate van verharding, groen index (NDVI), verkeersruimte, gebouwschil en schaduw (figuur 3.7) (zie bijlage C voor een verklaring van deze aspecten).

Woningkwaliteit

Dat de buitentemperatuur stijgt of het dak warm wordt, hoeft nog niet te betekenen dat in een woning of een kantoor de temperatuur eveneens oploopt. Dat hangt af van de mate waarin de schil van het gebouw energie doorlaat (zie paragraaf 3.1.2). Als benadering van de gebouwkwaliteit is in deze typologie het energielabel van gebouwen gebruikt.

Leefbaarheid

De buurt en haar bewoners doen er eveneens toe. Onderzoekers op het gebied van de volksgezondheid wijzen op het verband tussen de gezondheid van bewoners en de leefbaarheid van de buurt. Bewoners in buurten met een geringe leefbaarheid zijn relatief kwetsbaar. De Leefbaarometer¹² is hiervoor als indicator genomen.

¹² <http://www.leefbaarometer.nl/>

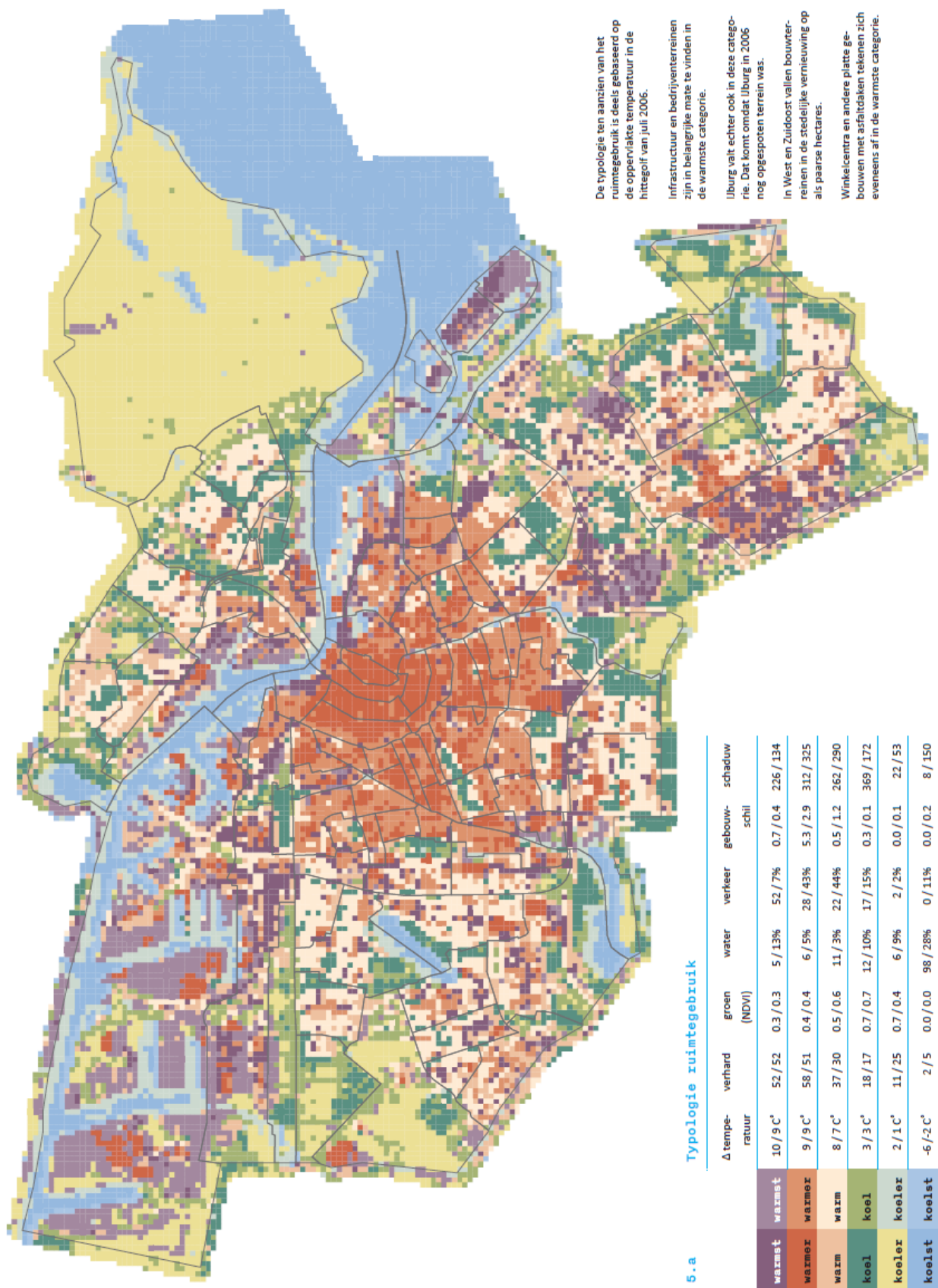
Ouderdom

Tenslotte maakt het ook uit of in die warme buurt met zijn specifieke bebouwing en wisselende leefbaarheid ook mensen wonen die als gevolg van hun leeftijd meer gevoelig zijn voor hitte dan anderen: 75-plussers (zie ook paragraaf 3.1.1).

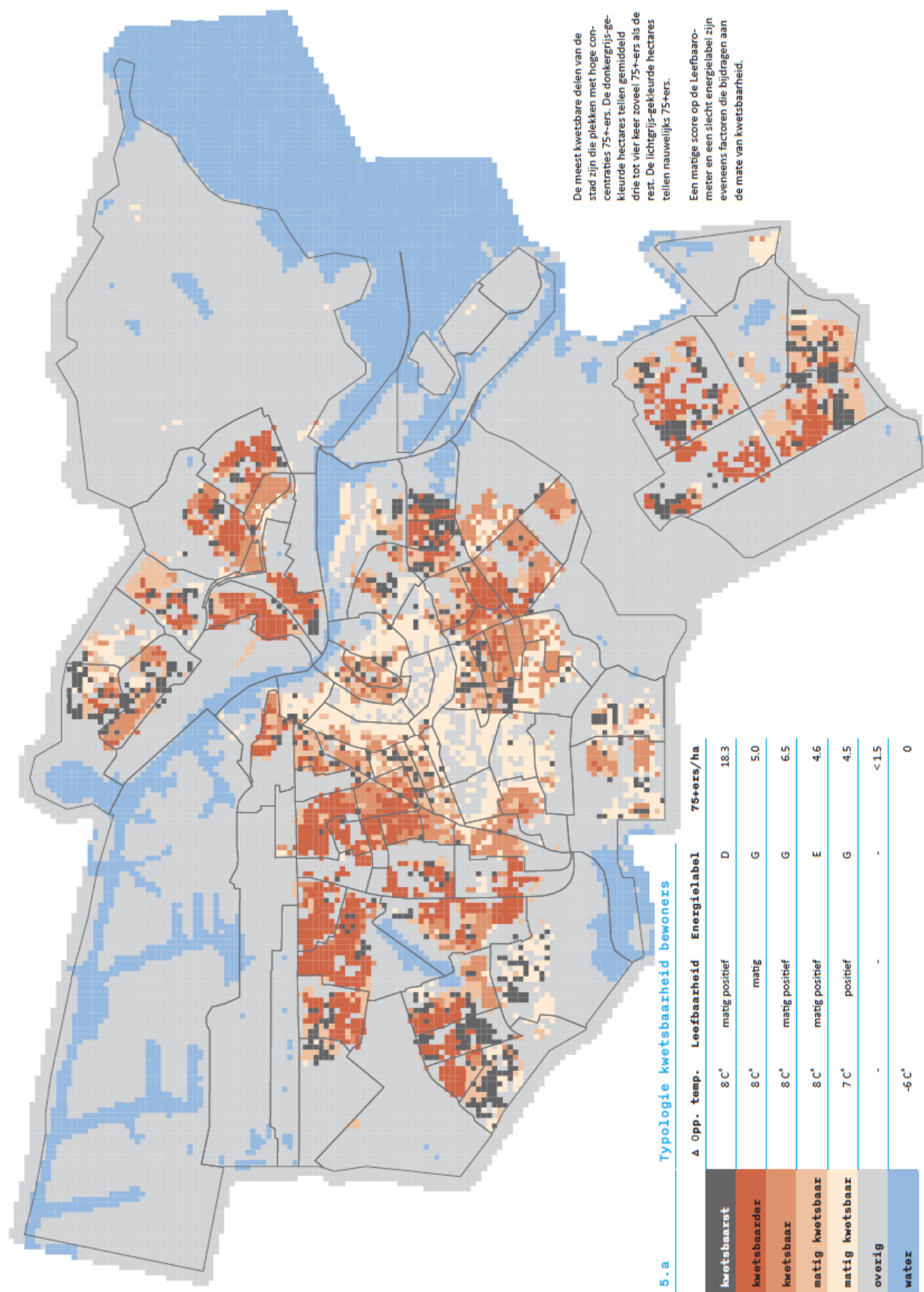
Door de aspecten van de gebouwde omgeving te combineren met de mensen die verblijven in die gebouwde omgeving, zijn omvangrijke sociale aandachtsgebieden aan te wijzen in met name het westelijk deel van de stad, maar ook in Noord, Oost en Zuidoost (figuur 3.8). Het kwetsbaarste type wordt gekenmerkt door een bijzonder hoog aantal ouderen per hectare terwijl het gemiddelde energielabel matig is. Daarnaast zijn er delen van de stad waar weliswaar minder 75-plussers wonen maar waar zowel de leefbaarheid als ook het energielabel van de bebouwing te wensen overlaat.

Op basis van de oppervlaktetemperatuur, het gemiddelde energielabel en het aantal werkenden per hectare is tevens een typologie gemaakt ten aanzien van de energie-efficiënte werkplek. De veronderstelling is dat werkplekken met een slecht energielabel in warme delen van de stad relatief veel energie gebruiken voor koeling. Met name in het historische centrum lijkt er onevenredig veel energie nodig te zijn om werkplekken te koelen (Figuur 3.9).

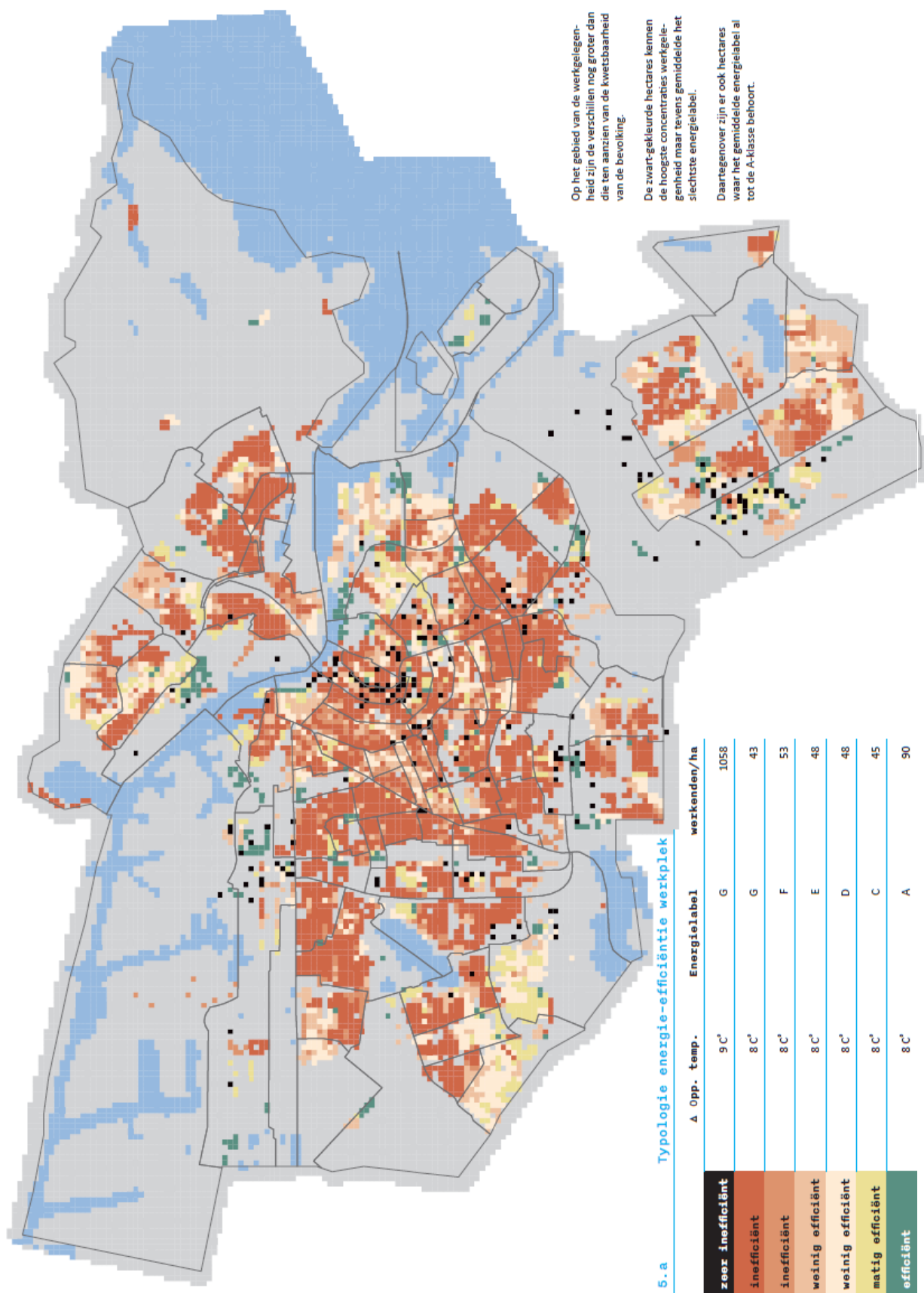
Het komende jaar zal een verfijning van de typologieën plaatsvinden door het opnemen van onderzoeksresultaten uit andere deelprojecten van Climate Proof Cities. Verder zal, in navolging van Amsterdam, een vergelijkbare case studie voor Rotterdam uitgevoerd worden en zal verkend worden in hoeverre waterproblematiek geïntegreerd kan worden in de typologie.



Figuur 3.7 Typologie ruimtegebruik Amsterdam (dag temperatuur). (Donkere tint = eerste waarde/lichte tint = tweede waarde)



Figuur 3.8 Kwetsbaarheidskaart van de bewoners van Amsterdam gerelateerd aan hittestress.



Figuur 3.9 Kwetsbaarheidskaart van de werkende bevolking in Amsterdam gerelateerd aan hittestress

3.2 Kwetsbaarheid voor wateroverlast

3.2.1 Gevoeligheid van het stedelijk gebied voor wateroverlast

Elk jaar hebben regio's in Nederland te kampen met wateroverlast waarbij zich schade aan gebouwen voordoet en de brandweer moet uitrukken om kelders, tunneltjes en wegen die geblokkeerd waren voor verkeer leeg te pompen.

Schadefuncties die de gevolgen van wateroverlast kwantitatief beschrijven zijn een hulpmiddel voor gemeentes om na te gaan welke elementen in de stad het gevoeligst zijn voor wateroverlast. Vervolgens kan worden gekeken welke maatregelen het meeste bijdragen aan het reduceren van de overlast. In het kader van het CPC is een eerste versie schadefuncties ontwikkeld die de gevolgen van wateroverlast beschrijven (Stone et al., (2013).

Uit onderzoek van Spekkers et al. (2011) naar de relatie tussen neerslagintensiteit en schade aan gebouwen en interieur, blijkt dat de variatie in schade niet alleen verklaard kan worden met neerslag karakteristieken. Ook andere verklarende variabelen zoals gebouw karakteristieken en eigenschappen van het rioolsysteem kunnen een rol spelen. De door CPC ontwikkelde functies beschrijven de schades in relatie tot verschillende variabelen, zoals optredende waterdiepte, de duur van de wateroverlast of de aanwezigheid van kelders.

Het opstellen van de schadefuncties leerde ons dat de eerste overlast zich voordoet bij een waterdiepte van 30 cm bij water op de straat en hinder veroorzaakt voor het verkeer. Vooral in gebieden met meer reliëf of depressies (bijvoorbeeld tunneltjes). Ook elektriciteitsvoorzieningen kennen een drempelwaarde vanaf 30 cm maar deze voorzieningen staan vaak hoger op de stoep tegen de gevels van gebouwen en op deze locaties wordt niet snel een waterdiepte van 30 cm bereikt. Daarentegen wordt aangenomen dat een gebouw met een kelder al vol loopt zodra het water de gevel bereikt. Voor een gebouw zonder kelder blijkt de dorpel vaak een extra drempel te vormen. Water in gebouwen zorgen voor een aanzienlijke schade aan huizen en in geval van een commerciële gebouw, doet zich ook een kans op tijdelijke bedrijfsuitval voor.

De resultaten tonen dat vooral het overstromen van gebouwen (met name kelders) en verkeershinder hogere schades tot gevolg kunnen hebben. Ook de kosten die door de brandweer gemaakt moeten worden zijn aanzienlijk, aangezien deze in geval van wateroverlast altijd ter plekke is. Schade aan elektriciteitsvoorzieningen zijn voornamelijk zeldzaam. Een samenvatting van de drempelwaardes en reikwijdte aan neerslagschade is opgenomen in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Samenvatting van de drempelwaarden en reikwijdte aan neerslagschade (in concept).

Impact	Urban aspect	Threshold (m)	Average costs per unit (euros 2012) ((min - max)	Unit
Material damage	Houses and interior	0 (basement) 0.1 (w/o basement)	Content : 750 - 1750 House: 400 - 1200	House per event
	Electricity supply	0.3 (low tension) 0,35 (street lights) 0,5 (middle tension)	5000 55.000,	Substation Street light per event
Economic damages	Business interruption	0 (basement) 0.1 (w/o basement)	5,- - 2000,- (2010)	Business per hour
	Traffic disruption	0.3	Transport: 10 – 40 Personal: 1,50 – 6 Commuter traffic: 2 – 8,5 Business traffic: 7,5 – 30 (2006)	Vehicle per 15 – 60 min
	Electricity failure	0.3 (low tension) 0,5 (middle tension)	Households: 0 – 80 Businesses: 80 – 2500 (based on legal compensation)	Per event 1 – 8 hour
Emergency assistance	Fire brigade	0 (house with basement) 0.3 (roads)	250 - 1000	Per turn-out
Social disruption	Accessibility health facilities	0 (basement) 0.1 (w/o basement) 0.3 (roads)	-	Per health facility

De schadegevoeligheid van het stedelijk gebied kan verlaagd worden door de waterdiepte vanaf waar een stedelijk element schade ondervindt te verhogen. Veerbeek en Husson (2013) hebben aangetoond dat een kleine verhoging in dorpelhoogte een groot effect heeft op de klimaatgevoeligheid van gebouwen. Maar ook het verlagen van de waterdieptes door bijvoorbeeld de straatprofielen aan te passen kan hieraan bijdragen (zie ook paragraaf 4.2 voor maatregelen tegen wateroverlast). Ook het reduceren van de overlastduur en opruimtijd, vooral waar het wegen en commerciële gebouwen betreft, dragen bij aan het verlagen van de schadebedragen. En met het verminderen van wateroverlast worden de kosten voor uitrukken van de brandweer verlaagd.

3.3 Conclusies kwetsbaarheid stedelijk gebied

De kwetsbaarheid van steden voor klimaatverandering is de mate waarin het stedelijk systeem ontvankelijk is voor en niet in staat is om de negatieve gevolgen op te vangen van de verandering in klimaatparameters. Deze kwetsbaarheid is een combinatie van drie factoren: de gevoeligheid voor de klimaatdreiging, de mate van blootstelling en het aanpassingsvermogen. Binnen CPC is met name naar de gevoeligheid van het stedelijk gebied voor hitte en wateroverlast gekeken. Bij hitte is daarbij onderscheid gemaakt in de gevoeligheid van mensen, gebouwen en het stedelijke gebied.

Hoge temperaturen kunnen leiden tot hittestress bij mensen waarbij sprake kan zijn van verminderd thermisch comfort, maar ook tot hitte gerelateerde ziekten met soms zelfs sterfte tot gevolg. In Nederland stijgt tijdens hittegolven de sterfte met ongeveer 40 doden per dag. Met name ouderen boven de 75 jaar zijn gevoelig voor hittestress. Bij metingen blijkt dat de lichaamstemperatuur in rust kan oplopen tot boven de 38°C. Onderzoek heeft plaatsgevonden om te zien of ouderen zich fysiek zouden kunnen voorbereiden op een naderende hittegolf. Na een driedaags onderzoek in een warme klimaatkamer bleken er echter nog geen tekenen van acclimatisatie op te treden.

Aan de andere kant sterven in Nederland meer mensen van de kou dan van de hitte, waardoor opwarming van het klimaat gemiddeld tot een vermindering van het aantal sterfgevallen en ziekenhuisbezoeken per jaar zal leiden. Tijdens de zomermaanden kan er dan wel weer een piek ontstaan. Ook kan een verminderde arbeidsproductiviteit optreden tijdens hete perioden. Deze effecten kunnen in Euro's worden uitgedrukt als 'schade'. De omvang van de schade hangt sterk af van de waarderingsmethode, maar ligt in de orde van tientallen tot honderden miljoenen Euro's per jaar (dat geldt zowel voor de winst vanwege verminderde sterfte en ziekte, als door het verlies aan arbeidsproductiviteit).

Er is ook gekeken of bepaalde gebouwtypen gevoeliger zijn voor hitte en daardoor sneller zullen opwarmen. Uit simulaties blijkt dat er in tussenwoningen en twee-onder-een-kap woningen minder vaak hoge temperaturen voorkomen en er minder uren oververhitting zijn dan bij de hoekwoningen en vrijstaande woningen. Vrijstaande woningen en hoekwoningen lijken daarom gevoeliger voor hitte dan tussenwoningen en twee-onder-een-kap woningen. Metingen van de afgelopen zomer zullen worden gebruikt om deze simulaties te valideren.

Ook op wijkniveau kunnen bepaalde stedelijke kenmerken de wijk meer of minder gevoelig maken voor hitte. Van de regio Amsterdam zijn satellietbeelden van de oppervlaktetemperatuur tijdens de hittegolf van 2006 bestudeerd, samen met gegevens van de wijk. De oppervlaktetemperatuur overdag blijkt door zes factoren te kunnen worden verklaard (in volgorde van belangrijkheid): verhard oppervlak (verreweg de belangrijkste factor: verklaart 70%), water, groen index (NDVI), verkeersruimte, bebouwingsschil, en schaduw. In het geval van de nachtelijke luchttemperatuur spelen albedo, sky-view factor en de nabijheid ten opzichte van oppervlaktewater eveneens een rol. Aan de hand van deze gegevens is een kaart van Amsterdam gemaakt waar te zien is dat de gevoelige wijken/buurtten zich vooral voordoen binnen de Ring, op haven- en bedrijventerreinen en rond grootschalige infrastructuur.

Met deze gevoeligheidsinformatie is een kwetsbaarheidstypologie die rekening houdt met de oppervlaktetemperatuur, de concentratie ouderen, de energieprestatie van de woningen en de leefbaarheid van de wijk. Deze typologie is als een handreiking aan beleidsmakers om te laten zien welke delen/buurtten van de stad kwetsbaar zijn voor hitte. Voor Amsterdam blijkt dat er omvangrijke sociale aandachtsgebieden aan te wijzen in met name het westelijk deel van de stad, maar ook in Noord, Oost en Zuidoost. Dezelfde buurten worden als 'kwetsbaar' aangemerkt als er wordt gekeken naar de werkende bevolking door de combinatie van oppervlaktetemperatuur, de concentratie van werkenden en de energielabels van de kantoorgebouwen mee te nemen.

Ook voor wateroverlast zal een dergelijke typologie worden uitgewerkt. Als aanloop is een eerste studie afgerond naar de gevoeligheid van het stedelijk gebied voor wateroverlast. Voor verschillende stedelijke elementen is een drempelwaarde vastgesteld, de waterdiepte vanaf wanneer schade begint op te treden. 30 cm water op straat is bijvoorbeeld de drempelwaarde waarbij hinder voor het verkeer ontstaat en elektriciteitsvoorzieningen schade kunnen oplopen. Door deze drempelwaarden te verhogen, door bijvoorbeeld het straatprofiel aan te passen, kan de schadegevoeligheid worden verkleind en de schadekosten worden verlaagd.

Referenties hoofdstuk 3

- Chow**, D.H.C., Levermore, G.J. (2010). The effects of future climate change on heating and cooling demands in office buildings in the UK. *Building Services Engineering Research & Technology*, Vol.31(4); 307–323.
- CIBSE** (2005). *Climate Change and the Indoor Environment: Impacts and Adaptation*, CIBSE TM36, 2005.
- Coley**, D., Kershaw, T. (2010). Changes in internal temperatures within the built environment as a response to a changing climate. *Elsevier, Building and Environment*, Vol.45; 89–93.
- Crawley**, D.B. (2008). Estimating the impacts of climate change and urbanization on building performance. *Journal of Building Performance Simulation*, Vol.1(2); 91–115.
- Daanen**, H., Simons, A., Janssen, S. (2010). De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam. TNO Publicatie, TNO-DV 2010 D248, 25 pages.
- Daanen**, H., Heusinkveld, B., Van Hove, B., & Van Riet, N. (2011). Heat strain in elderly during heat waves in the Netherlands. In: Kounalakis, S., Koskolou, M. (eds), *Abstract book XIV International Conference on Environmental Ergonomics* (pp. 168-170). Nafplio, Greece.
- Daanen**, H.A.M., Bröde, P. (in bewerking). Predictive value of bioclimatic indices for climate-related mortality. *International Journal of Biometeorology*.
- Daanen**, H.A.M., Herweijer (ingediend). J. Effectiveness of an indoor preparation program to increase thermal resilience in elderly for heat waves. *Special issue of Building and Environments*.
- Hoeven**, F. D. van der, Wandl, A. (2013). *Amsterwarm. Gebiedstypologie warmte-eiland Amsterdam*. Delft, Nederland: TU Delft.
- Howe**, A., en Boden, B. (2007). Heat-related illness in athletes. *American Journal of Sports Medicine*, Vol. 35(8): 1384-1395.
- Hotkevica**, I. (2013). *Green streets for urban heat mitigation*. Master thesis Landscape Architecture, Wageningen University and Research Centre. Supervisor: Wiebke Klemm.
- Huynen**, M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M., & Kunst, A. (2001). The impact of heat waves and cold spells on mortality rates of the Dutch population. *Environmental Health Perspectives*, Vol.109: 463-470.
- IPCC** (2007). *Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II*. In: Perry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., Hanson, C. (eds), *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kovats**, R.S., Hajat, S. (2008). Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Public and Environmental Health Research Unit (PEHRU), London School of Hygiene and Tropical Medicine, London, United Kingdom. The annual review of Public Health*, Vol.29; 9.1-9.15.
- Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport** (2007). *Nationaal Hitteplan*.

- Pandolf, K.** (1997). Aging and human heat tolerance. *Experimental Aging Research*, Vol.23: 69-105.
- Park, M., A. Hagishima, et al.** (2012). Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field measurement at a scale model site. *Building and Environment*, Vol.56: 38-46.
- Polsky, C., Neff, R., Yarnal, B.** (2007). Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*, Vol.17: 472–485.
- Rowland, T.** (2008). Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. *J. Appl. Physiol*, Vol.105: 718-724.
- SenterNovem** (2006). Referentiewoningen nieuwbouw. Senternovem.
- Smit, B., Pilifosova, O., Burton, I., Challenger, B., Huq, S., & Klein, R.** (2001). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In McCarthy, J. et al. (eds), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press.
- Spekkers, M. H., Ten Veldhuis, J. A. E., Kok, M., & Clemens, F. H. L.R.** (2011). Analysis of pluvial flood damage based on data from insurance companies in the Netherlands. In Zenz, G., Hornich, R. (eds), *Urban Flood Risk Management Conference* (pp. 461–466). Graz (Austria).
- Stone, K., Daanen, H., Jonkhoff, W., Bosch, P.** (2013). Quantifying the sensitivity of our urban systems Impact functions for urban systems Revised version; Knowledge for Climate; Deltares project number: 1202270.008
- Strydom, N., Wyndham, C., & Williams, C.** (1966). Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning. *J Appl. Physiol.*, Vol.21: 636-642.
- Vanos, J. K., J. S. Warland, et al.** (2012). Human energy budget modeling in urban parks in toronto and applications to emergency heat stress preparedness. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol.51(9): 1639-1653.
- Veerbeek, W., Husson, H.** (2013). Vulnerability to Climate Change: Appraisal of a vulnerability assessment method in a policy context. KfC report number: 98/2013 (Unesco-IHE OR/MST/177).
- Wang, X., Barnett, A., Hu, W., & Tong, S.** (2009). Temperature variation and emergency hospital admissions for stroke in Brisbane, Australia, 1996–2005. *Int. J. Biometeorol.*, Vol.53: 535-541.
- Wilde, P. de, Tian, W.** (2010). The role of adaptive thermal comfort in the prediction of the thermal performance of a modern mixed-mode office building in the UK under climate change. *Journal of Building Performance Simulation*, Vol.3(2); 87-101.
- Wilde, P. de, Tian, W.** (2011). Towards probabilistic performance metrics for climate change impact studies. *Energy and Buildings*. doi:10.1016/j.enbuild.2011.07.014

4. Welke maatregelen kunnen genomen worden om steden beter aan te passen aan een toekomstig klimaat?

De keuze van maatregelen om een stad klimaatbestendig te maken wordt in eerste instantie bepaald door de aansluiting van de schaal van het probleem bij de schaal van de oplossing. In tabel 4.1 is een selectie gemaakt van de adaptatiemaatregelen die binnen CPC worden bestudeerd, ingedeeld naar de schaalniveaus zoals deze in CPC gehanteerd zijn. Het toepassingsgebied kan echter veel verder worden gedetailleerd. Zie bijvoorbeeld de tabellen in Vergroesen et al. (2013), waarin de toepasbaarheid van maatregelen tegen wateroverlast onderscheiden wordt naar bijvoorbeeld: type stedelijk gebied, reliëf, aard van stedelijke ontwikkeling. Op grond van deze karakteristieken kan een ontwerper snel een indruk krijgen van het palet aan oplossingen voor een bepaald gebied.

Tabel 4.1: Matrix maatregelschaal (voor een selectie van maatregelen)

Doel \ Schaal	Maatregel	gebouw	straat	wijk	stad
hitte	overstek	x			
	thermische massa	x			
	isolatie	x			
	albedo	x	x		
	groene daken/gevels	x			
	openen ramen	x			
	actieve park	x	x		x
wateroverlast	berging kruipruimtes	x			
	regentonnen	x			
	doorlatende verharding	x	x	x	
	verdiepte wegen		x		
	berging in/onder wegen		x	x	
	waterplein			x	x
	wadi's			x	x
groenstroken			x	x	

Een specifiek aspect van het toepassingsgebied van maatregelen is de mate van generieke toepasbaarheid. Er zijn maatregelen die in veel situaties in alle omstandigheden dezelfde effectiviteit hebben, terwijl er ook maatregelen zijn waarvan de effectiviteit erg afhangt van de lokale omstandigheden. Voorbeelden van de eerste groep (*generieke maatregelen*) zijn veel maatregelen tegen wateroverlast: wanneer goed aangelegd bieden regentonnen, infiltratiekragen, verdiepte wegen altijd dezelfde bergingscapaciteit. Een maatregel in de tweede groep (*contextafhankelijke maatregelen*) is bijvoorbeeld de toepassing van albedo veranderingen van gevels. Voor elke afzonderlijke situatie moet de effectiviteit apart onderzocht worden.







Een tussengroep bestaat uit *stedelijke typologie of gebouwtypologie afhankelijke maatregelen*: voor een bepaalde typologie hebben deze maatregelen ongeveer dezelfde effectiviteit. Een voorbeeld is het isoleren van gebouwen. Dit is effectief in gebouwen ouder dan een bepaald bouwjaar (meestal slecht geïsoleerde gebouwen), maar minder effectief in recentere gebouwen. Een ander voorbeeld is het planten van straat bomen, of het waar het effect erg afhangt van de oriëntatie en verhoudingen van de straat en de plaats van de boom in de straat. In dit hoofdstuk is een eerste poging gedaan om bij iedere (groep van) adaptatiemaatregelen de mate van generieke toepasbaarheid te vermelden.

Met de onderzoeksresultaten over de verschillende adaptatiemaatregelen, waaronder de effectiviteit, toepasbaarheid en neveneffecten, worden uiteindelijk ontwerprichtlijnen opgesteld voor de schaalniveaus 'gebouw tot straat' (4.1), 'straat tot wijk' (4.2) en 'wijk tot stadsregio' (4.3).

4.1 Gebouw tot straat

4.1.1 Het voorkomen van opwarming binnenshuis

Met Building Energy Simulation (BES) zijn zes klimaatadaptatiemaatregelen onderzocht voor een typische Nederlandse rijwoning (volgens SenterNovem 2006) (figuur 4.1). In het onderzoek werd gekeken naar het aantal uren dat de temperatuur in de woning boven een bepaalde grenstemperatuur komt (= temperatuuroverschrijdingsuren).

Overstek	Thermische massa	Openen van ramen	Isolatie	Albedo (reflectie kortgolvlige straling)	Groene gebouwoppervlakken
					

Figuur 4.1 De zes onderzochte klimaatadaptatiemaatregelen op gebouwniveau.

De belangrijkste bevindingen voor de onderzochte rijwoning waren als volgt:

Oriëntatie

Oriëntatie op het zuiden/noorden resulteert in een derde tot de helft minder temperatuuroverschrijdingsuren ten opzichte van een oriëntatie op het oosten/westen. In de wintermaanden kan een oriëntatie op het oosten, westen en zuiden echter gewenst zijn om de warmtevraag te beperken door gebruik te maken van de zonnestraling.

Zonwering

In de zomer kan het weren van de zon een significante reductie bewerkstelligen van het aantal overschrijdingsuren. Voor nieuwbouwwoningen bedraagt de reductie 70-99%, voor woningen gebouwd vóór 1974 bedraagt de reductie 30-67%.

Maatregelen aan de gebouwschil

Dit kan gaan om extra isolatie, extra thermische massa, verhogen albedo of een vegetatiedak. Hoe hoger de isolatiewaarde van een woning, hoe minder effect de aanpassingen aan de gebouwschil hebben.

Extra isolatie

De invloed van deze maatregel hangt af van het bouwjaar: bij oudere bestaande woningen (van vóór 1974) heeft extra isolatie een groot effect (maximaal 61%), terwijl het effect bij goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen gering is (maximaal 18%).

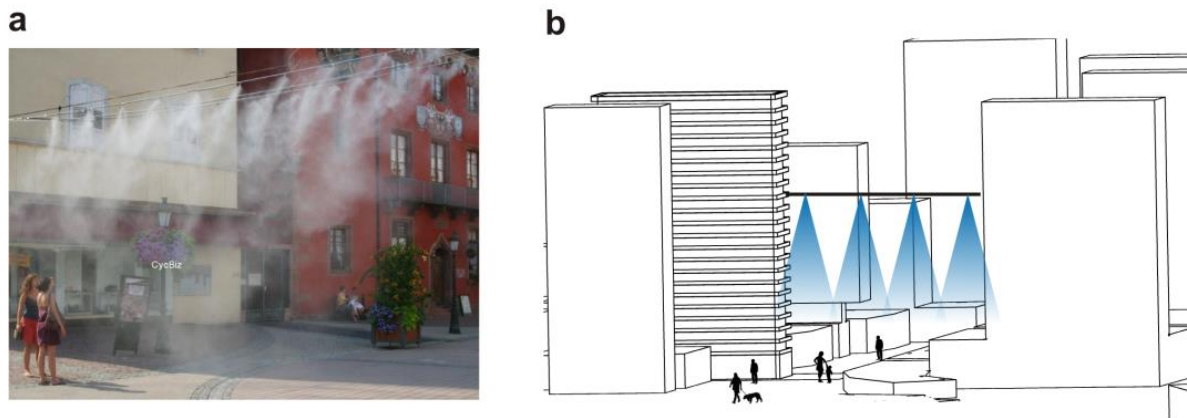
Te openen ramen

Zodra de binnentemperatuur boven de 24°C komt, mits de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur, levert het openen van ramen een reductie op van het aantal overschrijdingsuren van 83-91% voor de nieuwbouwwoning, en 55-67% voor de woning gebouwd in de periode vóór 1974.

Vervolgonderzoek naar klimaatadaptatiemaatregelen op gebouwniveau richt zich op verschillende gebouwtypologieën en zal dus typologie-afhankelijke conclusies opleveren. Het gaat daarbij om rijtjeswoningen, twee-onder-een-kapwoningen, vrijstaande woningen en appartementen (zie figuur 4.2). Verder richt het onderzoek zich zowel op nieuwbouwwoningen als op de bestaande woningvoorraad in Nederland, waardoor conclusies kunnen worden getrokken voor een groot deel van de in Nederland aanwezige en te bouwen woningen.

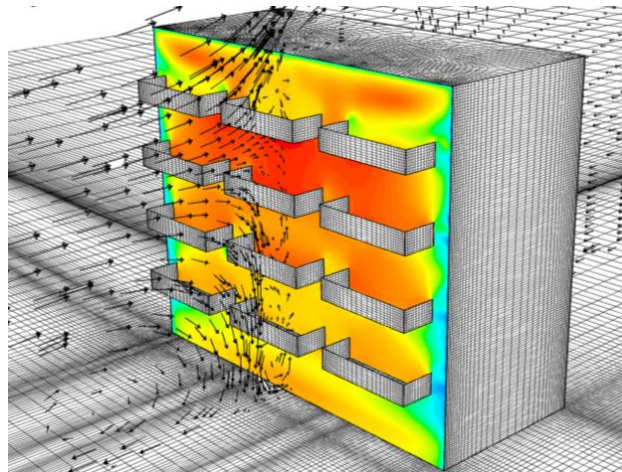
4.1.2 Verdampingskoeling door verneveling

Waterspuitmonden worden in toenemende mate gebruikt als efficiënt en milieuvriendelijk systeem voor lokale koeling en comfortverbetering in de gebouwde omgeving (figuur 4.2).



Figuur 4.2: (a) Directe verdampingskoeling (door spuitmonden) in een stedelijke omgeving; (b) schematisch beeld van de casestudie met spuitmonden.

Op het moment worden de potentiële voordelen verkend van verdampingskoeling als klimaatadaptatiemaatregel op microschaal. Dit gebeurt middels CFD-modellering, gevalideerd door windtunnelmetingen, van een simpel gebouw en een complexer flatgebouw met balkons (figuur 4.3). Gedetailleerde informatie over de experimentele windtunnelmetingen en computerinstellingen kan worden gevonden in Montazeri & Blocken (2013).



Figuur 4.37: Computergrid, drukcoëfficiëntverdeling over de loefzijde van een gevel met balkons en snelheidsvectorveld in doorsnede (centraal vlak).

In het resterende projectjaar zal het potentieel van verdampingskoeling worden beoordeeld in twee belangrijke casestudies: Bergpolder Zuid in Rotterdam en de J.P. van Muijlwijkstraat in Arnhem. Tot dat moment valt nog niets generieks of typologiegebondens te zeggen over het effect van verdampingskoeling door middel van verneveling.

4.2 Straat tot wijk

4.2.1 Groene infrastructuur

Uit internationale literatuur is bekend dat stedelijk groen het stadsklimaat kan verbeteren door de schaduwwerking van de boomkroon en het verkoelend effect van evapotranspiratie (Bowler et al., 2010). Het doel van de studie naar groene infrastructuur is dan ook de rol van stedelijk groen op het stadsklimaat – met name op het thermisch comfort van hun bewoners – in warme zomerperioden in beeld te brengen. Dit onderzoek wordt met name uitgevoerd via metingen en straatinterviews met inwoners.

Daarnaast zijn voor de J.P. van Muijlwijkstraat in het stadscentrum van Arnhem CFD-simulaties uitgevoerd om de effecten van verschillende vegetatiescenario's op het stedelijk microklimaat te bepalen voor de warme zomerdag van 16 juli 2003 (Merema 2013).

Groene infrastructuur kunnen een belangrijke rol spelen bij de buffering en infiltratie van overtollig regenwater (zie ook 4.2.3).

Straatbomen

Met CFD simulaties voor de J.P. van Muijlwijkstraat werd voor straatbomen een reductie in de gemiddelde en maximale luchttemperatuur van respectievelijk 0.6°C en 1.6°C berekend, in vergelijking met de situatie zonder de bomen in de straat (figuur 4.4 en 4.5).



Figuur 4.4: Luchttemperatuur op voetgangershoogte (2 m boven de grond) in de J.P. van Muijlwijkstraat in Arnhem voor de huidige situatie (boven) en voor het scenario met bomenrijen in de gehele straat (onder). De bomenrijen zijn weergegeven door de zwarte rechthoeken.

(Bakfiets)metingen op straatniveau in Utrecht tonen een gering verkoelend effect wat betreft luchttemperatuur (T_{air}), maar een duidelijke vermindering van de stralingstemperatuur (mean radiant temperature, T_{mrt}), met name door grote boomkronen. De gemiddelde T_{mrt} in een straat met 54% oppervlakte aan boomkronen was 4,5°C lager dan in een straat zonder bomen (Klemm et al., gepland in 2014).

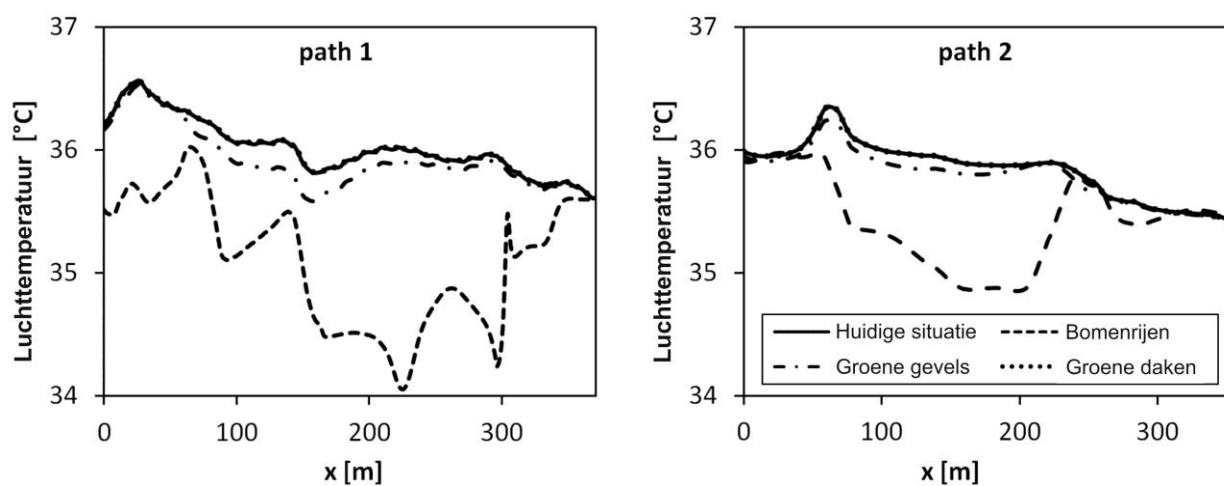
Dit onderzoek laat zien dat de effectiviteit van straatbomen op hitte typologiegekoppeld is: het effect is afhankelijk van de oriëntatie van de straat, het straatprofiel en de plaats van de bomen. Boomspiegels (de open grond rond een straatboom), zeker als ze relatief groot worden uitgevoerd, kunnen een ondersteuning zijn bij de infiltratie van regenwater in een straat.

Groene gevels

Uit CFD simulaties blijkt dat het toepassen van groene gevels resulteert in relatief lage reducties in de luchttemperatuur in de straat: gemiddeld 0,1°C en maximaal 0,3°C (figuur 4.5) (Merema 2013). Groene gevels spelen geen rol als maatregel tegen regenwateroverlast (Vergroesen, 2013).

Groene daken

Het toepassen van groene daken in CFD simulaties resulteerde niet in een merkbare reductie van de luchttemperaturen op looppniveau in de straat (figuur 4.5) (Merema 2013). Over het algemeen waren de koeffecten beperkt tot een afstand van enkele meters van de vegetatie. Deze resultaten zijn in goede overeenkomst met gemeten temperatuurverschillen in eerdere studies [e.g. Alexandri en Jones 2008, Errel et al. 2009]. Groene daken kunnen wel een rol spelen in de berging van water tijdens piekbuien (Vergroesen, 2013).



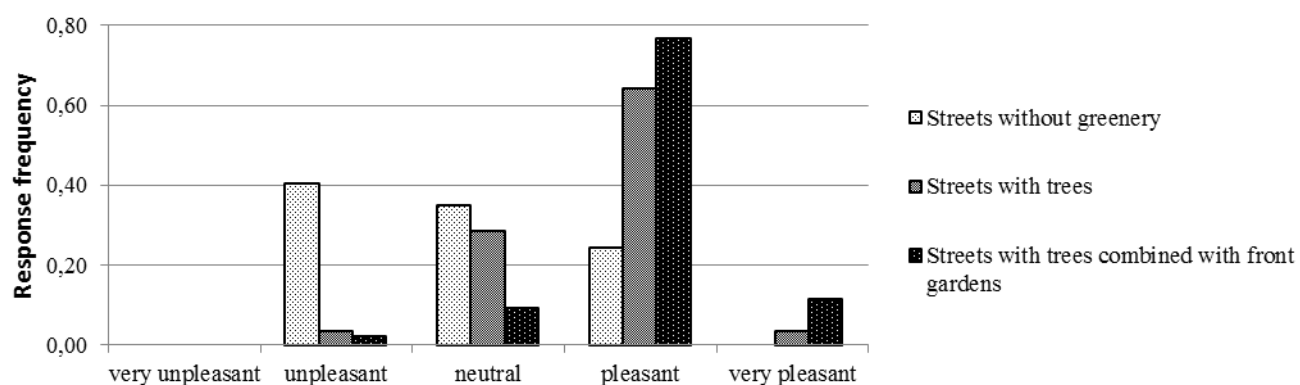
Figuur 4.5: Luchttemperatuur op een hoogte van 2 m boven de grond in de J.P. van Muijlwijkstraat in Arnhem op lijn 1 en 2, zoals weergegeven in Figuur 4.4, voor zowel de huidige situatie als voor de drie verschillende alternatieve vegetatiescenario's.

Parken

Voorlopige resultaten van (bakfiets-)metingen op stadsniveau in Utrecht tonen een gemiddeld verschil in luchttemperatuur van een park tot zijn directe bebouwde omgeving van 1°C (gemeten in de middaguren op een hete zomerdag) [Klemm et al. 2013b; Enserink 2013]. Deze bevinding is vermoedelijk typologiegekoppeld. Verdere analyse van de data zal inzicht geven in verschillen in thermische condities per type park en de ruimtelijke parameters van de parken, die hiervoor verantwoordelijk zijn.

Beleving van stedelijk groen

Circa 800 interviews met passanten in Utrecht, Rotterdam en Arnhem laten zien dat stedelijk groen een belangrijke rol speelt wat betreft thermisch comfort en recreatie op warme zomerdagen. 91% van alle ondervraagden geeft aan parken en ander grote groenstructuren aangenaam te vinden, 70% vindt parken zelf belangrijk. De favoriete plekken die men op warme zomerdagen opzoekt, zijn dan ook het Wilhelminapark (Utrecht), het Kralingse bos (Rotterdam) en het Sonsbeekpark (Arnhem) [Drost, gepland 2013]. Ondervraagden blijken zich thermisch meer comfortabel voelen in straten met veel straatgroen, dus met straatbomen en/of straatbomen en voortuinen. Daarnaast bleek uit interviews dat mensen groen in de straat sterk vanuit esthetisch oogpunt waarderen (figuur 4.6). Deze bevindingen kunnen als generiek worden beschouwd.



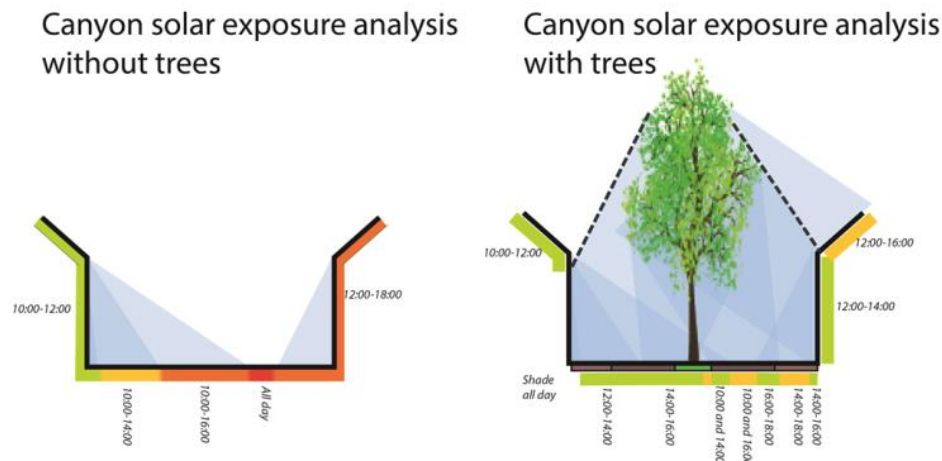
Figuur 4.6: Evaluation of the green street design (based on $n=106$ on 11 days in summer 2012) [Klemm et al., 2013a]

Lokaal toegepaste vegetatie kan de luchttemperaturen in stedelijk gebied effectief kan verminderen en kan worden gebruikt als een maatregel om steden klimaatbestendiger te maken voor oververhitting. Het plaatsen van bomenrijen langs de straat verdient de voorkeur boven groene gevels en daken. Grootschalig groen moeten worden toegepast om een substantieel koeleffect te verkrijgen op stadsniveau.

Naast deze fysische effecten blijkt ook dat groen in steden psychologische een positief effect hebben op de beleving van de temperatuur in de stad.

Aangezien het schaduw effect van (grote) boomkronen een grote rol speelt (op straten en pleinen, figuur 4.7), zou bij ontwerp opgaven specifiek naar de locatie van bomen, boomsoorten en onderhoudsbeleid moeten worden gekeken, om bomen zo effectief mogelijk neer te zetten. Ons pleidooi is niet om overall groen te plaatsen maar voor groen met specifieke aandacht voor optimale schaduwwerking in de openbare ruimte en voldoende onderhoud (irrigatie) te kiezen. Hiervoor zijn nieuwe analyses, bijvoorbeeld met behulp van schaduw simulaties, essentieel.

Bij gemeenten zou behoud, onderhoud en aanleg van stedelijk groen een belangrijk aandachtspunt moeten zijn, waarbij specifieke oplossingen nodig zijn voor o.a. irrigatie [Chang et al. 2012], conflicten met ondergrondse infrastructuur en voldoende ventilatie in verkeerswegen.



Figuur 4.7: Solar exposure analysis with and without trees [Hotkevica, 2013]

Vervolgonderzoek

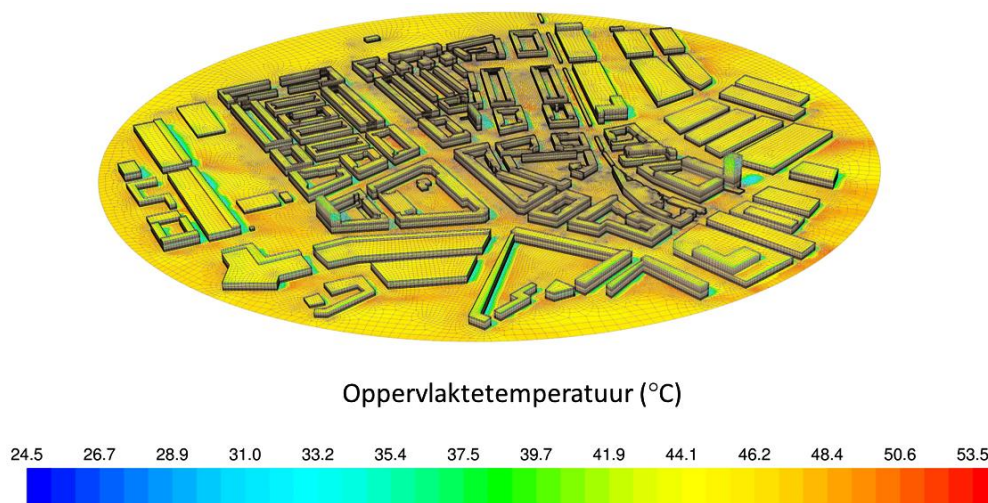
De analyse van alle empirische data van straatbomen en parken wordt afgerond om hieruit ontwerprichtlijnen te genereren. Deze zullen worden getoetst en aangescherpt in een ontwerpatelier met studenten en in workshops met stakeholders..

De CFD-simulaties zullen worden uitgebreid door de gecombineerde effecten van verschillende vegetatiemaatregelen op het stadsklimaat te onderzoeken (gelijktijdig toepassen van bomenrijen, groene gevels, en groene daken). Bovendien zal toekomstig onderzoek de koeleffecten bestuderen voor verschillende meteorologische omstandigheden (windsnelheid, windrichting, luchttemperatuur, etc.).

4.2.2 Verdampingskoeling in de buurt

Waterpleinen

Numerieke simulaties van de temperatuurverdeling in een stedelijk gebied met Computational Fluid Dynamics (CFD) toonden aan dat door het toevoegen van water in de stad, in de vorm van bijvoorbeeld een ondiep waterplein, de luchttemperaturen overdag kunnen dalen met 1-2 °C (figuur 4.8) (Toparlar, 2012). Deze temperatuurdaling is in goede overeenkomst met in-situmetingen gerapporteerd in de wetenschappelijke literatuur. Effectresultaten zullen typologiegebonden zijn.



FIGUUR 4.8: RESULTAAT VAN DE CFD-ANALYSE: OPPERVLAKTETEMPERATUREN IN BERGPOLDER ZUID, ROTTERDAM (TOPARLAR 2012).

Dit onderzoek wordt momenteel uitgebreid met een volledig dynamisch stromingsmodel voor het waterplein zelf, om de nauwkeurigheid verder te verhogen en het gedurende de dag en de nacht te bekijken, en om de invloed van verschillende klimaatadaptatiemaatregelen (verdampingskoeling, groene gevels en daken, etc.) te evalueren.

4.2.3 Omgaan met extreme neerslag

Er bestaat een scala aan maatregelen die kunnen worden genomen om de berging of transportcapaciteit van het stedelijk watersysteem te verbeteren voor de verwerking van extreme neerslag. Binnen het kader van CPC is een overzicht gemaakt van de beschikbare maatregelen waarbij een onderscheid is gemaakt naar ondergrondse en bovengrondse oplossingen en naar bergings- en infiltratie voorzieningen (Vergroesen et al., 2013). Een samenvatting van de beschrijving van deze maatregelen is te vinden in bijlage D.

Om wegwijs te worden in deze lange lijst van maatregelen is een afwegingsinstrument ontwikkeld dat helpt bij het identificeren van maatregelen die het verwerken van extreme neerslag in stedelijk gebied verbeteren. Hiervoor is het nodig dat de ruimtelijke impact van maatregelen in detail worden doorgerekend en beter in beeld komen. In het onderzoek is een applicatie ontwikkeld dat aan deze eisen voldoet: 3Di Live. Het instrument, een gebiedsmodel, is inmiddels getest middels schetssessies in de cases Rotterdam (Oude Noorden) en Amsterdam (Betondorp).

De hotspot Haaglanden (Den Haag) staat op de rol voor begin december. Tijdens de sessies zijn theoretische overlasteringen (een extreme bui op het case gebied) zichtbaar gemaakt op de ontwikkelde touch table¹³. De achterliggende gedachte is steeds dat door effecten van klimaatadaptatie via waterhuishouding en ruimtelijke ontwikkeling inzichtelijk te maken, het afwegingsproces beter kan worden gefaciliteerd.

¹³ zie voor een impressie betondorp www.3di.nu

Tijdens de schetssessies ging het om de volgende vragen:

- Wat kan ik verwachten qua wateroverlast en schade bij zeer hevige neerslag?
- Wat zijn effectieve maatregelen, niet alleen in de stedelijke watersystemen, maar ook in de buitenruimte, bijvoorbeeld door een andere inrichting van de publieke ruimte?
- Welke adaptatiestrategie zou de gemeente kunnen hanteren, dus: hoe zet ik mijn maatregelen uit in de tijd, zodanig dat mee-koppeling met andere maatregelen mogelijk is, en zodanig dat in de toekomst nog voldoende kan worden bijgestuurd op basis van nieuwe klimaatscenario's?

Voorlopige conclusies uit de schetssessies zijn:

1. Pas wanneer de gevolgen van extreme neerslag realistisch worden getoond, ontstaat een discussie over wat we eigenlijk verwachten van de 'waterhuishoudkundige werking van de buitenruimte';
2. Het interactieve rekenen op de tafel versnelt en verbetert het identificeren van effectieve ingrepen in de buitenruimte;
3. 3Di Live ondersteunt het meekoppelen van ingrepen met maatregelen vanuit een ander niet-klimaatadaptatie perspectief.

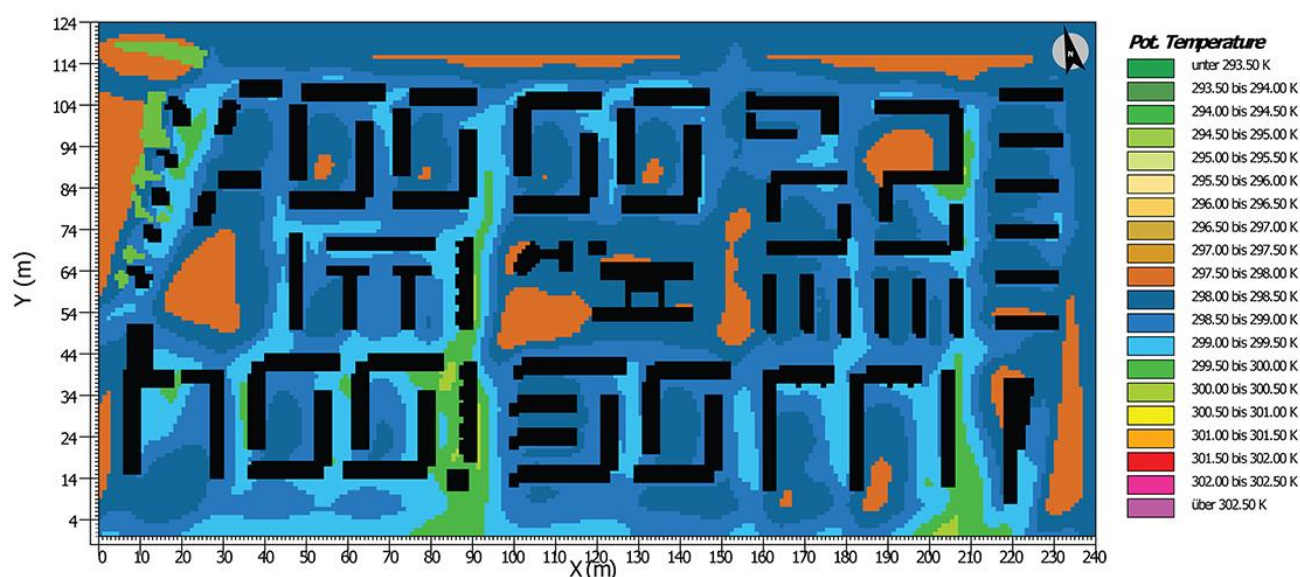
4.2.4 Actieve koeling (en verwarming) via het watersysteem

Gebouwen kunnen ook actief gekoeld worden tijdens warme periodes om een aangenaam binnenklimaat te creëren. Binnen CPC is onderzocht of het watersysteem zou kunnen voorzien in de levering van warmte en koude aan gebouwen in Nederland, waarbij met name de levering van warmte de grootste uitdaging vormt vanwege de relatief grote warmtevraag in de winter en beperkte koudevraag in de zomer. Uit een casestudy in de Watergraafsmeer blijkt dat het mogelijk is om de hoeveelheid warmte die op dit moment wordt gebruikt voor de verwarming van gebouwen in deze wijk uit het watersysteem en de waterketen te verkrijgen (Brolsma et al., 2013). Omdat de warmte veelal wordt gewonnen in de zomer en gebruikt in de winter, is er opslag nodig. Ook de koude-warmte opslag capaciteit in de ondergrond van Watergraafsmeer is voldoende om in de piekvraag te voldoen.

Voorziening van warmte/koude via het drinkwaterleidingnet is theoretisch en praktisch mogelijk is. De waterkwaliteit in het leidingsysteem zal echter door opwarming en een langere verblijfstijd achteruitgaan en niet geschikt zijn voor directe consumptie. Door het gebruik van zogenaamde point-source zuivering, waarbij elk huis is voorzien van een eigen zuivering, kan hier wel in worden voorzien. De relatief hoge kwaliteit en lage kosten van het huidige drinkwater in Nederland maken het gecombineerd leveren van warmte en koude en drinkwater aan woningen vooralsnog echter onwenselijk.

4.2.5 Stedelijke structuur

Na een inventarisatie van klimaatadaptatiemaatregelen, gebaseerd op uitgebreid literatuuronderzoek, zijn de effecten op het thermisch comfort onderzocht met modelberekeningen in het microklimaatmodel ENVI-met (Kleerekoper et al., 2012a; Kleerekoper et al., 2012b). De effecten worden geanalyseerd op verschillende schalen, bouwblok en wijk (Figuur 4.9), in luchttemperatuur en PET (*physiological equivalent temperature*). Er is naar effecten gekeken in een specifieke stedelijke context en in een vrij veld waar de complexiteit langzaam wordt opgebouwd.



Figuur 4.9 ENVI-met simulatieresultaat voor de referentiesituatie om 13:00 uur op wijkniveau (Kleerekoper et al., 2013)

De eerste conclusies van de modelberekeningen voor de wijk laten het volgende zien:

Maatregelen die een temperatuurverlaging teweegbrengen: toevoegen van vegetatie, het verhogen van de reflectiewaarde (albedo) van het dak en hogere gebouwen (bij de bestudeerde hoogte/breedteverhouding en tot 15 meter hoog). Deze bevindingen zijn generiek, maar de sterkte van het effect is typologiegebonden.

Maatregelen die tot hogere temperaturen leiden: uitbreiding van verharding, verandering van bestrating van licht beton naar donker asphalt en het verlagen van de reflectiewaarde van het dak. Deze bevindingen zijn generiek.

Reflectie van gevels: het effect van de reflectiewaarde van gevels is niet eenduidig uit de simulaties gekomen. Op de schaal van het bouwblok is er geen lineair verband te zien. Echter op de schaal van de wijk wel: hoe hoger de reflectiewaarde van de gevel, hoe meer de temperatuur toe neemt. Dit verschil in resultaat per schaalniveau kan verklaard worden doordat de gereflecteerde warmte op bouwblokniveau buiten het simulatiegebied valt waarbij de opwarming niet terug te zien is binnen de grenzen van dit gebied. Vooralnog lijkt het erop dat het effect van gevelreflectie contextafhankelijk is.

Combinaties van maatregelen: modelberekeningen laten zien dat het individuele koeleffect van maatregelen niet bij elkaar kan worden opgeteld wanneer deze in combinatie met elkaar worden toegepast. In enkele gevallen kunnen ze elkaars verkoelende effect zelf verminderen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een lichtere gevel in combinatie met bomen; de lichte gevel zorgt dan voor extra opwarming onder de bomen. Terwijl lichte daken en bomen elkaar wel versterken in verkoelend effect.

In het vervolg ontwerpend onderzoek zullen de conclusies worden vertaald naar algemene richtlijnen waarbij wijken in Den Haag, Utrecht, Rotterdam en Amsterdam zullen worden bekeken.

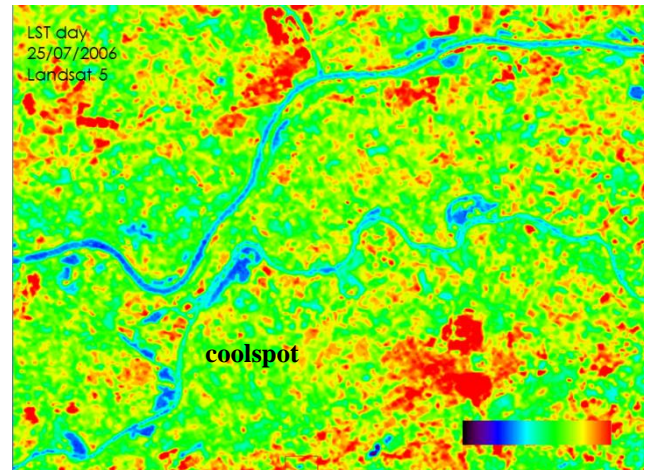
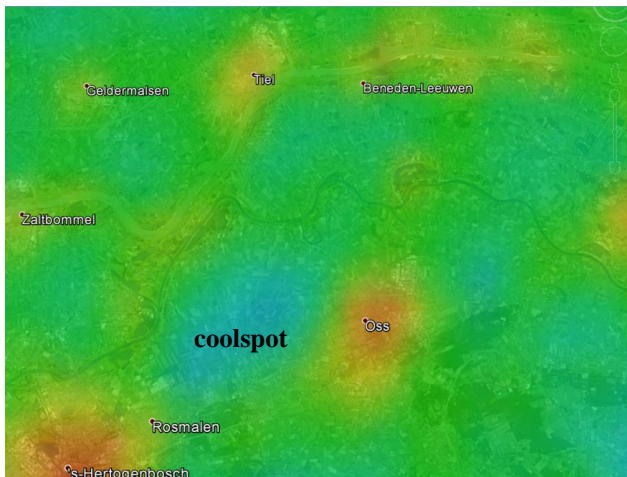
4.3 Wijk tot stadsregio

4.3.1 Coolspots

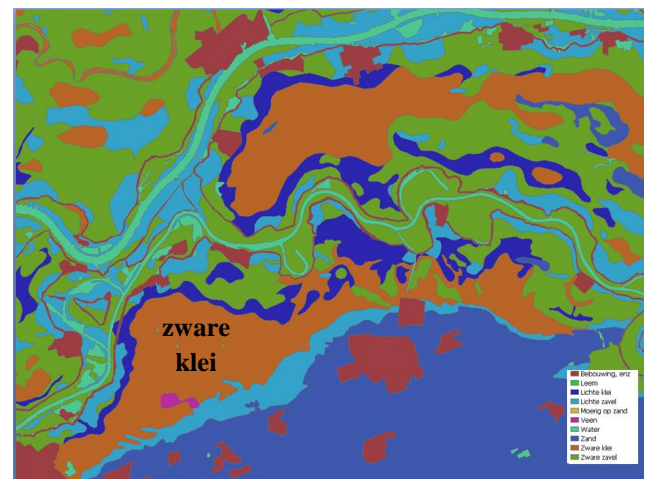
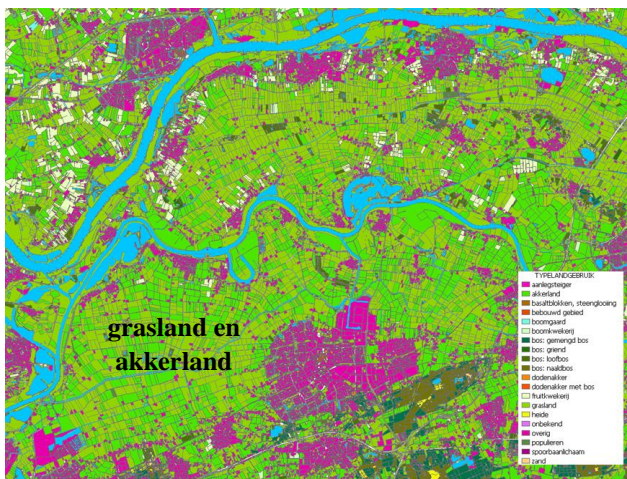
Het leefmilieu in en rondom steden wordt bepaald op een schaalniveau dat afzonderlijke gebouwen, straten en wijken overstijgt. Daarom wordt op het schaalniveau van de stad en stadsregio onderzocht wat beslissende factoren zijn en hoe daar met ruimtelijke planning invloed op kan worden uitgeoefend.

Op het regionale schaalniveau is in Haaglanden en Brabantland (Noord-Brabant) onderzoek gedaan naar 'coolspots' (Echevarria Icaza en Carter, gepland voor 2014). Coolspots zijn de gebieden met koelere oppervlaktetemperaturen gedurende hittegolven. Hiervoor zijn landoppervlaktebeelden van de nacht van 18 juli 2006 gebruikt.

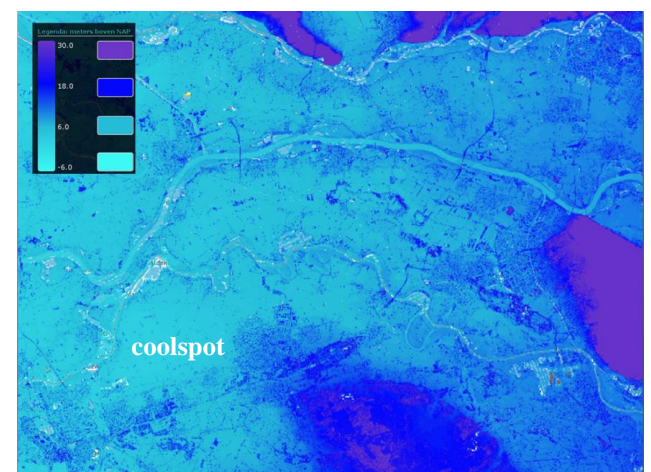
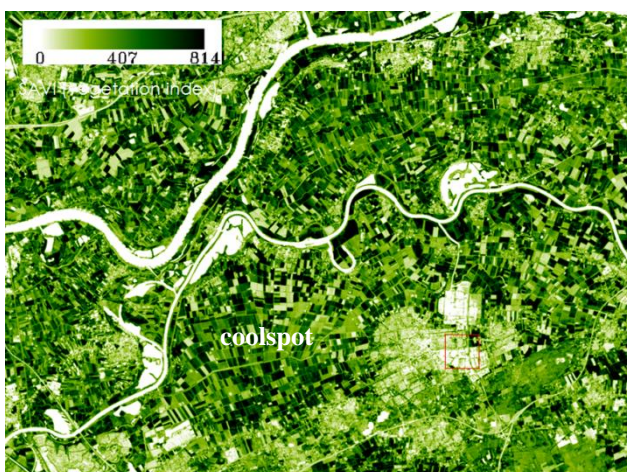
Elke coolspot van Brabantland (figuur 4.10) is geanalyseerd op de volgende parameters: nachtelijke oppervlaktetemperaturen, grondgebruik, bodemtype (figuur 4.11), vegetatie-index, topografie en gebouwhoogte (figuur 4.12), grondwaterpeil (Dinoloket).



Figuur 4.10: 'Coolspots' rond Den Bosch, bepaald met Modis 11A1 beelden (links) en dagelijkse oppervlaktetemperaturen (rechts)



Figuur 4.11: Analyse van de belangrijkste 'coolspot' bij Den Bosch: grondgebruik (links) en bodemtype (rechts)



Figuur 4.12: Analyse van de belangrijkste 'coolspot' bij Den Bosch: vegetatie-index (links) en hoogte van de natuurlijke en gebouwde omgeving, waarmee windpaden geïdentificeerd kunnen worden (rechts)

De systematische analyse van de coolspots in de casusregio's leidt tot de volgende conclusies:

- De aanwezigheid van kanalen en sloten (en ander oppervlaktewater) lijkt tijdens een hittegolf tot een toename te leiden van de oppervlaktetemperatuur. Dit is vermoedelijk contextafhankelijk.
- Het grondwaterpeil daalt tijdens de zomertijd, maar het lijkt erop dat het peil zelf niet beslissend is voor coolspots. Ook dit kan contextafhankelijk zijn.
- Gebouwen en andere grote elementen in het landschap kunnen een blokkade voor de wind vormen, wat tijdens een hittegolf invloed heeft op het thermische gedrag van de landschappen 's nachts. Dit is vermoedelijk een generieke bevinding die locatie-afhankelijk verschillend kan uitpakken.
- Het lijkt dat lichte en zware zavel en lichte en zware klei hitte accumuleren en dat zand en veengronden vaak verbonden zijn aan gebieden met lagere nachtelijke oppervlaktetemperaturen tijdens hittegolven. Dit is vermoedelijk generiek.
- Coolspots zijn doorgaans in gebruik als grasland of akkerland. Dit is vermoedelijk typologiegebonden.

Coolspots hebben in het algemeen een hoge vegetatie-index. Dit lijkt generiek te gelden.

De bevindingen tot nu toe maken voor stakeholders inzichtelijk waarom bepaalde gebieden in de stad en daarbuiten een hotspot of coolspot zijn. In het vervolg van de studie zullen klimaatmaatregelen op grote schaal worden benoemd en zal worden aangegeven hoe daar in de ruimtelijke planning en ontwerpen mee kan worden omgegaan.

Het coolspotonderzoek zal nog verder worden uitgewerkt via de volgende stappen:

- Er zal berekend worden wat de maximale hoeveelheid wegen en gebouwen is die een coolspot kan hebben.
- Er zullen 'nachtwindcorridors' in het landschap worden gedefinieerd.
- Er zal worden bepaald hoe de coolspot zijn temperatuur beïnvloedt; hoe groot moet een coolspot zijn om verkoeling te brengen in een stad?

Verder zal gecontroleerd worden of de Nieuwe Kaart van Nederland de bestaande coolspots respecteert. Zo niet, dan worden aanpassingen gesuggereerd om de natuurlijke koelcapaciteit van het Nederlandse landschap te behouden.

4.4 Conclusies adaptatiemaatregelen

Welke maatregelen tegen wateroverlast en stedelijke opwarming zijn effectiever ten opzichte van andere en welke maatregelen zijn het best in te passen en het meest effectief in een bepaalde stedelijke context? Dit is de centrale vraagstelling van dit hoofdstuk. De eerste bevindingen ten aanzien van de effecten van verschillende maatregelen werden verdeeld in generiek geldende effecten, typologiegebonden effecten en contextafhankelijke effecten. Nader onderzoek moet voor verschillende maatregelen nog uitwijzen of deze contextafhankelijk zijn (en daarmee overal weer lokaal moeten worden bestudeerd) of wellicht toch typologiegebonden (en daarmee van toepassing op dezelfde typologie op verschillende locaties), en mogelijk zelfs generiek (en daarmee altijd van toepassing in vergelijkbare situaties). Daarom zal in 2014 nog duidelijker aangegeven worden welke maatregelen onder welke categorie vallen.

Met het geleidelijk verschijnen van concrete bevindingen en daarmee aanbevelingen worden ook steeds transparanter dat adaptatiemaatregelen met elkaar en met andere maatregelen die een stad leefbaarder maken, zijn verweven. Het aanleggen van een groenzone levert een bijdrage aan het verminderen van extreme hitte in een stad (door grotere verdamping, en als er bomen staan door schaduwwerking). Tegelijkertijd kan de groenzone een rol spelen bij het verminderen van wateroverlast, doordat regenwater hier wordt opgevangen en infiltreert. En tenslotte kan een groenzone bijdragen aan grotere stedelijke biodiversiteit en een aantrekkelijker aanzien van de wijk (tabel 4.2 geeft een aantal voorbeelden).

Tabel 4.3 heeft een bijzondere focus op de synergie tussen stedelijke adaptatiemaatregelen en mitigatie (het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen, veelal door een verminderd gebruik van fossiele brandstoffen). Warmtekoede-opslag bijvoorbeeld haalt overtollige warmte in de zomer weg en slaat deze op voor later gebruik in de winter, zodat tijdens koude perioden energie wordt bespaard. Daarmee wordt klimaatadaptatie langzaamaan steeds meer verweven met energiebesparing.

Om belanghebbenden in de praktijk optimaal te kunnen faciliteren zullen uit CPC maatregelenpakketten voortvloeien die middels handige instrumenten relatief eenvoudig kunnen worden toegepast op verschillende locaties. Denk daarbij aan een ClimateAdApp, een beslissingsondersteunend instrument of een middel als 3Di.

Wanneer stedenbouwkundigen en beleidsmakers op relatief eenvoudige wijze kennis kunnen nemen van deze maatregelenpakketten kan klimaatadaptatie al tijdens de planfase worden meegenomen, waardoor de kosten niet alleen onder klimaatadaptatie zullen vallen, maar vooral ook bij meekoppelende belangen, zoals de eerdergenoemde energiebesparing. In de volgende hoofdstukken zal hier verder op worden ingegaan.

Tabel 4.2 Matrix synergie adaptatiemaatregelen op wijkniveau (voorbeelden)

Doel	Adaptatiemaatregel	Synergie met andere beleidsthema's	Toelichting
hitte	park	wateroverlast, stedelijke biodiversiteit, recreatie, educatie, beleving	
	straatbomen	wateroverlast, stedelijke biodiversiteit, beleving	een (vergrootte) boomspiegel kan een rol spelen bij infiltratie regenwater
wateroverlast	groene daken	hitte, stedelijke biodiversiteit	effectiviteit voor hitte op straatniveau gering
	doorlatende verharding	hitte	bevordert tevens verdamping
	waterplein	recreatie, educatie	
	wadi's	hitte, stedelijke biodiversiteit, recreatie, educatie	via verdamping

Tabel 4.3 Matrix adaptatie-mitigatie maatregelen tegen hittestress op gebouw niveau

Doel	Maatregel	Adaptatie-effect	Mitigatie-effect
hitte	overstek	verminderde inval direct zonlicht, koeler in gebouw	verminderd energiegebruik koeling
	isolatie	warmte blijft buiten, koeler in gebouw	verminderd energieverbruik voor verwarming en koeling
	albedo	reflectie zonnestraling koeler in gebouw	verminderd energiegebruik koeling
	groene dak	effect als isolatie en verdamping, koeler in gebouw	verminderd energiegebruik koeling
	actieve verdampingskoeling	directe koeling gebouw	verminderd energiegebruik koeling
	schaduw bomen	verminderde inval direct zonlicht, koeler in gebouw	verminderd energiegebruik koeling
	Warmtekoude-opslag	Gebouwkoeling in zomer	Verminderd energiegebruik voor verwarming en koeling

Referenties hoofdstuk 4

Alexandri E., Jones P., (2008) Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Building and Environment* 43, 480-493.

Bowler, D.E., et al. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 2010. 97(3): p. 147-155.

Brolsma, R.J., Boderie, P., de Graaff, M., Bonte, M., Brand, R., de Wit, J., Hofman, J. (2013). Combining water and energy supply. Deltares.

Chang, Y., Ji, Y. (2012) Urban Green-Waterscape on Street Level - Landscape Approach towards Soil-based Stormwater Management in Dutch Cities. Master thesis, Wageningen University. Supervisors: Wiebke Klemm, Sanda Lenzholzer.

Drost, A. (gepland 2013). Mental maps and thermal comfort in the urban spaces - Using mental maps as a tool to understand the spatial distribution of places of thermal comfort in the warm summer-time urban environment. Master thesis, Wageningen University. Supervisors: Ron van Lammeren, Wiebke Klemm.

Echevarría Icaza L. & Carter J. (gepland 2014). Climate change adaptation in urban areas: enhancing the role of hinterland spaces as 'climate buffers'

Enserink, M. (2013). A systematic analysis of urban green types in three Dutch cities. Minor thesis, Wageningen University. Supervisors: Wiebke Klemm.

Errel E., Shashua-Bar L., Pearlmutter D. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning* 92, 179-186.

Hotkevica, I. (2013). Green elements in street canyons - Research by design for heat mitigation and thermal comfort in urban areas. Master thesis, Wageningen University. Supervisors: Wiebke Klemm, Sanda Lenzholzer.

Kleerekoper L., Bruin-Hordijk G.J. de, Dorst M.J. van & Dobbelsteen, A.A.J.F. van den (2012a). Coupling climate adaptation strategies: achieving synergies in a neighbourhood in Amsterdam-West. SASBE 2012. Sao Paulo.

Kleerekoper L., Dobbelsteen, A.A.J.F. van den, Dorst M.J. van & Bruin-Hordijk T. de (2012b). Climate Proofing Cities - Analysing the effects of heat adaptation measures in Bergpolder Zuid in Rotterdam. New Urban Configurations. Delft, The Netherlands.

Kleerekoper L., Dobbelsteen A.A.J.F. van den, Dorst M. J. van & Bruin-Hordijk T. de (2013-ingediend). Climate adaptation strategies: Achieving insight in microclimate effects of redevelopment options in a neighbourhood in Amsterdam-West.

Klemm, W., Heusinkveld, B., Lenzholzer, S., Hove, B.v. (2013b). Thermal and perceived impact of urban green on thermal comfort on warm summer days in Utrecht, The Netherlands.
[http://www.regklam.de/ccrr-2013/programme-contents/parallel-session-2/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=315](http://www.regklam.de/ccrr-2013/programme-contents/parallel-session-2/?tx_sbtabs_pi1[tab]=315).
Geraadpleegd op 21-09-2013.

Klemm, W., Lenzholzer, S., Heusinkveld, B., Hove, B. van (2013a). Towards green design guidelines for thermally comfortable streets. In PLEA 2013.

Klemm, W., Lenzholzer, S., Heusinkveld, B., Hove, B. van (gepland 2014). Towards Green Design Guidelines for Thermally Comfortable Streets. Landscape and Urban Planning.

Merema B. (2013). Computational analysis of climate change adaptation measures at the building and street scale focused on vegetative measures - Case study for the city of Arnhem. Master thesis, Eindhoven University of Technology. Supervisors: Bert Blocken, Harry Timmermans, Christof Gromke, Wendy Jansen, Twan van Hooff.

Montazeri, H., Blocken, B. (2013). CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis. Building and Environment 60:137-149.

SenterNovem (2006). Referentiewoningen nieuwbouw. Senternovem.

Toparlar, Y. (2012). Computational analysis of climate change adaptation measures at the building and street scale focused on evaporative cooling: Case study for Bergpolder Zuid. Master thesis, Eindhoven University of Technology. Supervisors: Twan van Hooff, Wendy Janssen, Hamid Montazeri, Harry Timmermans, Bert Blocken, Ronald Albers.

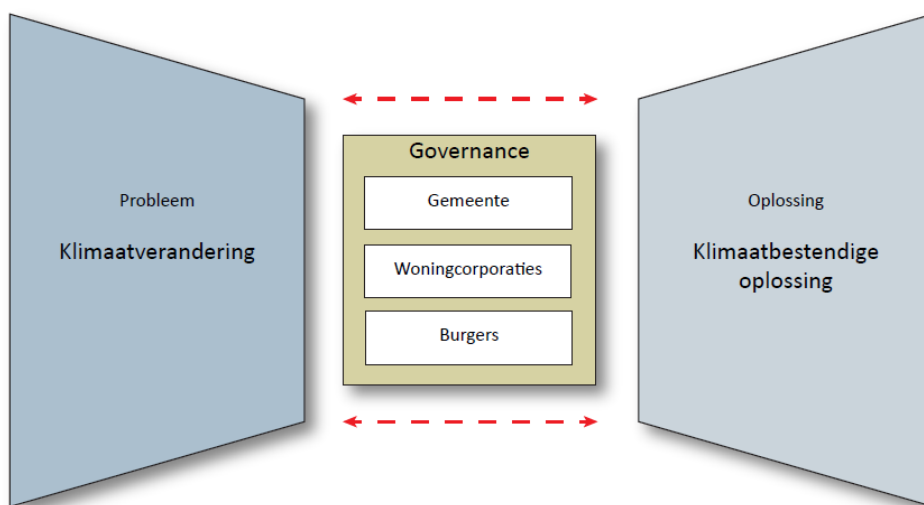
Vergroesen, T., Brolsma, R., Tollenaar, D. (2013). Verwerking van extreme neerslag in stedelijk gebied. Deltares report 1202270-009.

5. Hoe kunnen adaptatiemaatregelen bestuurlijk geïmplementeerd worden?

In de internationale context wordt het Nederlandse ruimtelijke ordeningsbeleid gezien als succesvol en effectief. Faludi en Van der Valk (1994) beschreven deze zienswijze als ‘het paradijs van planologen’, waarbij overheidsinstanties verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling en realisering van ruimtelijke plannen. Aan de hand van een systematisch onderzoek werden de uitkomsten vertaald naar de samenleving. In de jaren 80 ontstond echter langzamerhand het besef dat deze technische wijze van planning niet meer paste bij de dynamische maatschappij (Spit & Zoete, 2009). Door de groeiende invloed van verschillende actoren met tegenstrijdige belangen is de realiteit minder te sturen. Het sturen van maatschappelijke ontwikkelingen door overheden wordt onmogelijk, waardoor de afstand tussen het ruimtelijke ordeningsbeleid en de implementatie groter wordt.

Deze trend is ook waarneembaar binnen het thema aanpassing aan klimaatverandering. Ondanks het onderzoek naar de problematiek en de effectiviteit van deze oplossingen, is de werkelijkheid onvoldoende te sturen en blijft de implementatie gering (Kabat et al., 2009). Volgens het multi-levelmodel van Geels en Kemp (2000) heeft dit voornamelijk te maken met de manier waarop partijen omgaan met het onderwerp klimaatverandering. In de huidige situatie is voor de actoren binnen het ruimtelijk ordeningsbeleid aanpassing aan klimaatverandering geen issue, waardoor de oplossingen niet worden verbonden met het probleem. Het ontwikkelen van vernieuwende inzichten van de manier waarop klimaatadaptatie kan worden geïntegreerd in het bestaand ruimtelijk planningsproces kan bijdragen aan de effectieve realisering van klimaatbestendige steden (figuur 5.1, governance-proces). De partijen binnen het governance-proces zorgen namelijk voor de verbinding tussen het probleem en de oplossing.

Figuur 5.1 Governance-proces als verbindende schakel tussen probleem en oplossing



Op basis van: Geels & Kemp, 2000

Tegelijkertijd wordt er vanaf de inwerkingtreding van de Nota Ruimte een 'decentralisatie' trend ingezet (Rijksoverheid, 2006). Verantwoordelijkheden van de nationale overheid worden zoveel mogelijk overgedragen naar lage overheidslagen. Deze trend wordt in 2012 binnen de structuurvisie van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012) verder versterkt.

Daarnaast zorgt de economische crisis ervoor dat deze publieke partijen steeds meer financieel afhankelijk zijn geworden van private investeerders, waardoor overheden steeds vaker de samenwerking met lokale overheden, burgers en overige private partijen met overeenkomstige belangen moeten opzoeken. Deze samenwerking moet zorgen voor een betere verbinding tussen het ruimtelijke ordeningsbeleid en de implementatie ervan. Echter, in de huidige situatie draagt de handelingswijze van gemeenten, woningcorporaties en burgers niet altijd bij aan de implementatie van klimaatbestendige oplossingen. Vandaar dat in de volgende paragrafen (5.1-5.3) verder wordt ingegaan op de manieren waarop de belangrijkste actoren van stedelijke ontwikkeling (gemeenten, woningcorporaties en burgers) adaptatiemaatregelen in hun beleid en/of proces kunnen doorvoeren. Uiteindelijk worden in de laatste paragraaf (5.4) de conclusies beschreven.

5.1 Gemeente

Het implementeren van klimaatbestendige oplossingen voor het stedelijk gebied vormt geen vanzelfsprekende opgave voor gemeenten. De integratie van klimaatadaptatie in het stedelijk beleid ondervindt namelijk verschillende barrières, zoals cognitieve, sociale, financiële, technische en institutionele/organisatorische barrières (Uittenbroek et al., 2013). Het is relevant om de betekenis van deze barrières te achterhalen en te onderzoeken hoe deze barrières kunnen worden vermeden, dan wel worden overwonnen. Uit onderzoek naar de perceptie rondom klimaatadaptatie van beleidsmedewerkers binnen de gemeente blijkt bijvoorbeeld dat in iedere gemeente andere percepties dominant zijn, doordat deze vaak zijn verbonden aan de politieke voorkeur van de burgemeester dan wel wethouders (Uittenbroek et al., 2012). Zo kan er sprake zijn van een gebrek aan politieke steun voor klimaatadaptatie, wat zorgt voor een barrière (Bulkeley and Betsill, 2013; Runhaar et al, 2012). In een recentelijk onderzoek is er gekeken naar de verschillen in politieke steun in twee steden, namelijk Rotterdam en Amsterdam (Uittenbroek et al., 2013).

Dedicated approach en/of Mainstreaming

De veronderstelling is dat politieke steun nodig is voor het plaatsen van klimaatadaptatie op de agenda, het toekennen van middelen en het opzetten van een adaptatiestrategie. Dit kan bestempeld worden als een 'dedicated approach'. Het is echter gebleken dat niet veel steden op deze manier politieke steun (kunnen) bieden aan klimaatadaptatie vanwege competitie met andere beleidsdoelen, de beperkte capaciteit van de stedelijke agenda, onzekerheid rondom klimaatverandering en onvoldoende middelen (Biesbroek et al., 2009; Kingdon, 1995). Eén van de steden die toch een dedicated approach lijkt toe te passen is Rotterdam. De directe steun heeft in Rotterdam geleid tot voldoende **politieke druk** om de geagendeerde doelen voor klimaatadaptatie tot een goed einde te brengen, waardoor beslissingen om tot uitvoering te komen sneller kunnen worden genomen. Daarnaast heeft de toegewijde aanpak er toe geleid dat er een **nieuwe organisatiestructuur** is ontwikkeld: Rotterdam Climate Initiative. Dit bureau is de probleemeigenaar

en budgethouder voor mogelijk alles wat met klimaatadaptatie te maken heeft. Er is tevens een nieuw beleid ontwikkeld: Rotterdamse Adaptatiestrategie.

Klimaatadaptatie is echter ook terug te vinden in beleidstukken van andere beleidsvelden zoals water en ruimtelijke ordening. Hierbij is belangrijk om de **positionering** van het specifieke adaptatiebeleid ten opzichte van het overig beleid goed te definiëren. Anders wordt het voor beleidsmedewerker onduidelijk welk beleid zij moeten volgen en kan een extra strategie juist tot inefficiëntie leiden. Het risico kan ontstaan dan beleidsdoelen niet voldoende op elkaar worden afgestemd.

Deze bevinding is in overeenstemming met de onderzoeksresultaten binnen de herstructureringswijk Feijenoord in Rotterdam (Kokx & Spit, 2012). Door de fragmentatie tussen het watermanagementbeleid en de overige beleidsdoelen, ontstaat het gevaar dat beide doelen onvoldoende worden geïntegreerd. Dit heeft onder andere te maken met de verschillende werkwijze van watermanagers en overige partijen, waardoor de samenwerking moeilijkheden op kan leveren. Uiteindelijk kan dit leiden tot een inefficiënt beleid, waardoor stedelijke gebieden uiteindelijk kwetsbaarder zijn voor de effecten van klimaatverandering.

Ander onderzoek naar de herontwikkeling van de haven in Rotterdam gaat na in hoeverre de huidige praktijk investeringen in klimaatadaptatie ondersteunt en in hoeverre nieuwe processen en mechanismen noodzakelijk zijn om dit te ondersteunen. Ook bij het onderzoek dat in dit kader in Heijplaat is gedaan, komen de standaard stimuli naar voren, zoals de aanwezigheid van voldoende politieke steun, de wetenschappelijke ondersteuning en de erkenning van het probleem (Root, 2013). De implementatie wordt echter belemmerd door verschillende factoren, waaronder het gebrek aan verplichtingen, de zwakke beleidsstructuur en de beperkte financiële middelen.

Naast een dedicated approach voor klimaatadaptatie zijn diverse onderzoekers en beleidsmedewerkers van mening dat het 'mainstreamen' van klimaatadaptatie in bestaande beleidsvelden effectiever en efficiënter beleidsvorming oplevert. Het doel van mainstreamen is het integreren van klimaatadaptatie in bestaande beleidsvelden door middel van het vinden van synergie tussen klimaatadaptatie en bestaande doelen, waardoor middelen gecombineerd kunnen worden. Deze strategie wordt onder andere toegepast in de gemeente Amsterdam. In het geval van mainstreamen kan klimaatadaptatie mogelijk meeliften op de politieke steun voor het bestaande beleidsdoel. Een 'beleidskoppelaar' (*institutional entrepreneur*) legt de link tussen klimaatadaptatie en een bestaand beleidsdoel. Hierbij is het belangrijk om de 'juiste' **framing** te gebruiken waardoor de relatie tussen het bestaande beleidsdoel en klimaatadaptatie wordt benadrukt (Wejs et al., 2013; Kingdon, 1995).

Mogelijk moet in het geval van mainstreaming deze koppeling tussen beleidsdoelen steeds opnieuw worden gevormd, omdat deze is afgestemd op een specifieke situatie. De beleidskoppelaar zal daarom moeten **netwerken** in de bestaande organisatiestructuur om koppelingen te duiden. Het handelen binnen de **bestaande organisatiestructuur** kan mogelijk lastig zijn, omdat veel van de middelen zijn gelabeld en niet 'zomaar' een ander doel kunnen dienen. Zonder veranderingen in de bestaande organisatiestructuur blijft het uitvoeren van klimaatadaptatiemaatregelen via mainstreamen ad hoc en beperkt. Uiteindelijk blijkt dat beide strategieën, dedicated approach en mainstreaming, negatieve en positieve gevolgen kunnen hebben (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Conceptueel model voor politieke steun in de twee strategieën

		Dedicated approach	Mainstreamen
Politieke steun		direct	indirect
Voorwaarden	agenda	politieke agenda	beleidsagenda
	framing	voornaamste doel	toegevoegde waarde
	middelen	klimaatbureau	beleidskoppelaars
	beleidsvorming	specifiek beleid	integratie
Gevolgen		Snelle besluitvorming, mogelijk (in)effectief beleid	Vaak ad hoc en gebaseerd op weloverwogen beslissing

Bron: Uittenbroek et al., 2013

Voor stakeholders is het belangrijk om hier bewust van te zijn. Mainstreaming lijkt voor vele de beste strategie, omdat het zich richt op het combineren van beleidsdoelen en financiële middelen. Maar een dedicated approach kan leiden tot snellere uitvoering en biedt daarom leermomenten. Een combinatie van beide aanpakken zal daarom wellicht optimaler zijn.

In een vervolgonderzoek wordt het concept van mainstreamen verder uitgewerkt en wordt er gekeken of het mainstreamen van klimaatadaptatie mogelijk is binnen een bestaande organisatiestructuur. Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat organisatiestructuren vaak rigide zijn en daardoor moeilijk te veranderen (Sydow et al., 2009). Het is daarom relevant om te onderzoeken of en hoe een bestaande structuur vastloopt in het geval van mainstreamen en vervolgens te onderzoeken hoe deze structuur kan veranderen op een manier waar klimaatadaptatie bij gebaat is.

Faciliteren van investeringen

In de huidige situatie is er weinig onderzoek gedaan naar een lokale manier om klimaatbestendige investeringen te bekostigen. Er zijn verschillende manieren om dit te faciliteren, waaronder de 'Tax Increment Finance' (TIF). Uit literatuur blijkt dit een veelbelovende lokale financieringsconstructie. Deze constructie maakt gebruik van het huidige belastingstelsel en is gebaseerd op toekomstige OZB-inkomsten (Root, 2013a). Bij deze werkwijze investeert de gemeente in harde, publieke maatregelen in een afgebakend gebied, waaronder investeringen op het gebied van infrastructuur, groene ruimte en maatschappelijke faciliteiten. Door deze investeringen stijgt de waarde van het aangrenzende vastgoed en de hieraan verbonden OZB. De hieruit voorvloeiende meerwaarde aan OZB kan worden ingezet als financieringsconstructie om de investeringen te bekostigen.

De TIF wordt onder andere al in Amerika en Canada toegepast en lijkt ook voor Nederlandse gemeenten veel belovend. Tot zover blijkt dat tenminste theoretisch de financieringsconstructie ook toepasbaar lijkt binnen de Nederlandse stedelijke ontwikkeling (Root, 2013). TIF is voornamelijk gericht op het lokale niveau en de lange termijn. Hierdoor vormt deze benadering een uitermate geschikte methode voor de adaptatie gericht op de toekomstige verandering van het klimaat. Daarnaast vormen de OZB inkomsten relatief stabiele inkomsten, waarbij sprake is van een grote lokale controle.

De benadering biedt voordelen op het gebied van administratie, omdat de TIF gebruik maakt van het huidige administratiesysteem. Daarnaast is deze manier van werken transparant en vormt hierdoor een goede basis voor 'good governance'. Er kleven echter ook nadelen aan deze benadering. De investeringen zijn voornamelijk gericht op een afgebakend gebied, waardoor er een oneerlijke verdeling ontstaat van de OZB inkomsten. Niet iedereen kan hierdoor profiteren van de investeringen van de publieke partijen. Dit heeft ook te maken met het feit dat de 'spill-over effects' in twijfel worden getrokken. Daarnaast is TIF een traditionele tool en afhankelijk van de werkelijke vastgoed- en OZB-ontwikkelingen.

In het vervolgonderzoek wordt aan de hand van 'serious gaming' nagegaan hoe medewerkers van Nederlandse gemeenten aankijken tegen de TIF methode en hoe het planningproces mogelijk kan worden aangepast om deze methode te laten functioneren.

5.2 Woningcorporatie

De woningcorporaties vormen een andere partij die kan bijdragen aan het verbinden van de klimaatbestendige oplossingen aan het klimaatprobleem, waarbij de nadruk ligt op adaptatiemaatregelen op woningniveau. Woningcorporaties beheren met relatief weinig organisaties (ca. 400 corporaties) relatief veel woningen (32% van de Nederlandse woningvoorraad). Door deze partijen aan te sporen om adaptaties toe te passen, wordt een groot deel van de woningvoorraad klimaatbestendig. Bovendien hebben zij op basis van het Besluit Beheer Sociale Huurwoningen de verplichting om een gezonde woning en leefomgeving te bieden. Op basis daarvan mag verwacht worden dat de corporaties zich inspannen om hun voorraad aan te passen aan klimaatverandering. Uit eerder onderzoek bleek dat woningcorporaties zich, ondanks deze verantwoordelijkheid, in hun beleidsplannen en jaarverslagen weinig bewust tonen van het risico van klimaatverandering. Daarnaast werd in beide documenten nauwelijks of geen aandacht geschonken aan de mogelijkheden en kansen van klimaatadaptatie (Rodgers e.a. 2012).

Om de stap naar implementatie te maken is de haalbaarheid van verschillende adaptatiemaatregelen getoetst. Hiervoor zijn 12 besluitvormers en beleidsmakers op het gebied van vastgoedbeheer van woningcorporaties gevraagd naar hun mening over deze haalbaarheid. Daarnaast is bekeken hoe deze realiseerbaarheid vergroot kan worden. De implementatie van klimaatmaatregelen werd voor alsnog als niet haalbaar beschouwd. Volgens de woningcorporaties heeft dit voornamelijk te maken met twee sterk samenhangende factoren, namelijk het gebrek aan beleid en het gebrek aan financiële middelen (Rodgers e.a. 2013). Bovendien verhoogt de huidige ongunstige financiële positie van de woningcorporaties (Nieboer en Gruis 2013) deze drempel om te investeren in klimaatadaptatie. De technische complexiteit van maatregelen vormt tevens een barrière. Deze redenen zorgen ervoor dat klimaatadaptatie maatregelen niet 'zomaar' worden toegepast. Een innovatieproces is hiervoor noodzakelijk.

Gelijkwaardige samenwerking, als vorm van netwerk-governance wordt in de innovatieliteratuur beschouwd als een belangrijke voorwaarde voor het implementeren van innovatie (Sexton and Barrett 2005). In samenwerkingsprojecten is de onderlinge relatie gebaseerd op samenwerking in plaats van strijd (om de laagste prijs), waardoor een andere procesbenadering mogelijk betere resultaten zal leveren.

Het moment waarop het innovatieproces echter ingezet dient te worden, verdient nog extra aandacht. Begint dit al bij het aanpassen van het strategisch voorraadbeleid van de corporatie, of pas in de planvormingsfase of uitvoeringsfase van een concreet project? De partijen die betrokken dienen te worden in de verschillende fases zijn ook anders. Zo wordt het strategisch voorraadbeleid voor een groot deel door de corporatie zelf ontwikkeld en hoeft er geen sprake te zijn van intensieve samenwerking met andere partijen. Voor innovatie in de planvormingsfase is een 'brede keten' gewenst, waarbij ook partijen als gemeentes, waterschappen en verzekeraars betrokken kunnen worden omdat zij financieel voordeel (kunnen) hebben bij een klimaatrobuuste voorraad. In dit geval ligt een breder werkveld dan alleen het woningniveau voor de hand en moet eerder op straat- of buurtniveau gewerkt worden. Tenslotte is in de uitvoeringsfase een geïntegreerde bouwketen nodig om tot de gewenste innovatie op woningniveau te komen. Echter, omdat samenwerken als doel op zich niet per definitie leidt tot meer innovatie (Rodgers e.a. in voorbereiding) is het van belang (delen van) de bovengenoemde strategieën op de juiste manier te verbinden om tot een effectief implementatieproces van klimaatadaptaties te komen.

Vervolgonderzoek dient uit te wijzen hoe corporaties zelf de effectiviteit beoordelen van de drie strategieën om op basis van dit oordeel te komen tot een routekaart voor de implementatie van klimaatadaptatie.

5.3 Burgers

Door de huidige bezuinigingen, de economische crisis en de terugtrekkende overheidspartijen, zijn publieke partijen die klimaatadaptatie maatregelen willen doorvoeren in toenemende mate afhankelijk van investeringen door andere partijen, waarbij ook initiatieven van burgers horen.

De aansluiting tussen enerzijds overheidsbeleid gericht op klimaatadaptatie en anderzijds burgerinitiatieven, is in de praktijk echter nog ver te zoeken. Dit heeft voornamelijk te maken met de logica waarin beide werelden 'werken'. Overheden werken voornamelijk vanuit plannen, die voortkomen uit visies en beleid, en die getoetst worden aan burgers door middel van participatie. Burgers daarentegen werken vanuit zelforganisatie, waarbij ze vanuit een eigen belang zoeken naar medestanders en middelen om hun initiatief te realiseren (Boonstra en Boelens, 2011). Aanleidingen voor zelforganisatie zijn niet zozeer zaken als 'duurzaamheid' of 'klimaatadaptatie', maar veel eerder lokale, aan specifieke momenten verbonden zorgen van particulieren. (Van Meerkerk et al., 2012; Boonstra, 2012).

Er zijn mogelijkheden om deze twee werelden effectief op elkaar aan te laten sluiten. Professionele partijen in stedelijke ontwikkeling kunnen op verschillende manieren op particuliere initiatieven reageren. Ten eerste via toetsing aan vooraf opgestelde raamwerken die uiteenzetten wat mogelijk is op een bepaalde locatie en wat niet ('ja, tenzij...'). Ten tweede kunnen professionele partijen actief interveniëren en participeren in een initiatief (zonder het over te nemen) door te sturen met kennis, door technologie of locaties aan te dragen, te onderhandelen etc. ('ja, of...'). Ten derde kan men ook inzetten op voortbouwen op en leren van reeds gerealiseerde initiatieven. Hierbij wordt het beleid aangepast aan de nieuwe realiteit, ook wel co-evolutie genoemd ('ja, en...'). Ofwel het wederzijds aan elkaar aanpassen door de tijd heen, zonder de eigenheid te verliezen (Boonstra en Specht, 2012).

Bij deze manieren van werken ontstaat echter de meeste frictie door de gangbare manieren van werken, de routines op de werkvloer en in de praktijk, en lokale instituties. Dit blijkt ook uit de Nederlandse context van klimaatadaptieve steden. Hoewel zelforganisatie voor bijvoorbeeld vergroening van de stad steeds meer voorkomt, is het nog altijd erg moeilijk om deze initiatieven een integraal onderdeel te laten zijn van stedelijk beleid middels co-evolutie.

Uit internationaal onderzoek blijkt dat het vinden van medestanders van belang is voor het slagen van co-evolutie, in plaats van het overtuigen van tegenstanders. Daarnaast worden de volgende factoren genoemd, namelijk de inzet van mensen die over de grenzen van werelden heen kunnen kijken ('boundary spanners'), wederzijdse bereidheid tot aanpassen en heroverwegen van rollen en verantwoordelijkheden, het inzetten van juridisch instrumentarium dat zowel rechtszekerheid als flexibiliteit biedt. (Van Meerkerk et al., 2012; Boonstra, 2012).

In twee casussen in Hotspot Rotterdam wordt momenteel meer in detail onderzoek gedaan naar de belemmeringen voor co-evolutie. De ene casus is Heijplaat, waar pogingen zijn gedaan om een co-evolutionair proces op te zetten tussen burgerinitiatieven en duurzaamheidsbeleid, dat met horten en stoten te verlopen. De andere casus bekijkt meer algemeen de co-evolutie tussen beleid, verricht op ontharding en vergroening van openbare ruimte, en burgerinitiatieven voor groene ruimte.

Een eerste aanbeveling voor het werken aan co-evolutie kan echter al worden gegeven: Het is belangrijk om eerst de daadwerkelijke doelstellingen van de gemeente rond klimaatadaptatie te bepalen, dan te kijken wat er allemaal al in de gemeente is gebeurd en welke partijen al bezig zijn met initiatieven, en pas daarna het beleid en de visie vast te stellen.

5.4 Conclusies klimaatadaptatie implementeren in beleid

Om de voorgedragen klimaatbestendige oplossingen te koppelen aan het probleem 'klimaatverandering' is verandering nodig met betrekking tot de manier waarop partijen omgaan met het onderwerp klimaatverandering ('governance'). Uit het onderzoek gericht op gemeenten blijkt tot dusver dat er twee benaderingen zijn; 'mainstreamen' en 'dedicated approach'. Beide kennen positieve en negatieve gevolgen. Een dedicated approach kent een snelle besluitvorming, maar tevens een mogelijke kans op inefficiënt beleid. Terwijl mainstreamen juist vaak ad hoc is en gebaseerd op weloverwogen beslissingen. Een combinatie van beide kan wellicht tot optimalere resultaten leiden. Daarnaast kan het gebruik van "Tax Increment Finance" in het publiek domein mogelijk zorgen voor een vergroting van de financiële draagkracht, doordat gebruik wordt gemaakt van de toekomstige OZB inkomsten.

Om klimaatverandering een rol te laten spelen binnen het ontwikkelingsproces van woningen wordt ketensamenwerking aangedragen, waarbij woningcorporaties in samenwerking met onder andere de bouwsector verantwoordelijk zijn voor de realisering van woningen. De bouwsector beperkt zich hier niet tot het uitvoeren van de beschreven opdracht door de corporatie, maar heeft een actieve rol in het voortraject. Op deze manier wordt de kennis van bouwbedrijven gebruikt in het proces, waardoor het makkelijker wordt klimaatbestendige maatregelen in een vroegtijdig stadium op een realistische wijze in het bouwproces te integreren.

Daarnaast is gebleken dat ook burgers een rol kunnen spelen bij de realisering van de klimaatbestendige stad. Om de klimaatbelangen van publieke partijen te kunnen koppelen aan burgerinitiatieven is een nieuwe werkwijze van de lokale overheid gewenst, waarbij de huidige routines worden losgelaten. Een flexibele instelling, waarbij het lokale overheidsbeleid zich aanpast aan de lokale initiatieven (co-evolutie) leidt mogelijk tot betere resultaten.

De onderzoeken laten blijken dat klimaatbestendige ontwikkelingen vragen om net een andere benaderingswijze, dan waarin het huidige Nederlandse planningstelsel voorziet. Klimaatverandering vormt een zwak belang in vergelijking met de meeste andere belangen in de lokale stedelijke ruimtelijke ordening, zoals economie of werkgelegenheid. Het belang 'klimaat' zou beter op een andere manier vervlochten kunnen worden aan bestaande projecten of initiatieven binnen het publiek domein. Dit vraagt echter om een andere manier van werken van gemeenten, waarbij flexibiliteit en verbinden centraal staan.

Om de implementatie van klimaatmaatregelen succesvol te laten zijn is het vooral van belang dat er een verbinding wordt gelegd tussen de verschillende partijen binnen het proces. Overheden, burgers en private partijen moeten gezamenlijk werken aan de realisering van de klimaatbestendige stad. Het verbinden van het publiek domein met het private domein kan mogelijk betere resultaten afwerpen (Capacity-building). Door gebruik te maken van de kennis en de kunde van het netwerk rondom ruimtelijke ontwikkelingen, is het beter mogelijk om het probleem klimaatverandering te koppelen aan de klimaatbestendige oplossingen.

Referenties hoofdstuk 5

Biesbroek, G., K. Termeer, P. Kabat & J. Klostermann (2009). Institutional governance weaknesses for the development and implementation of climate adaptation strategies. Working paper for the International Human Dimensions Programme (IHDP) conference “Earth System Governance: People, Places, and the Planet”, December 2-4, Amsterdam, The Netherlands.

Boonstra, B. (2012). Collective Housing and How It Effects Contemporary Planning – Learning From the Danish Bofælleskaber From a Complexity Perspective. Paper presented at AESOP 26th Annual Congress, Ankara 11-15 July 2012.

Boonstra, B. & L. Boelens (2011). Self-organization in urban development: towards a new perspective on spatial planning. *Urban Research & Practice*, Vol.4(2): 99-122.

Boonstra, B. & M. Specht (2012). The Appropriated City: self-organization as rehearsal spaces for future urban governance, the case of Rotterdam. Paper presented at the ‘Spatial Planning in Transition’ Conference, Ministry of Infrastructure and Environment, 6th November 2012, The Hague.

Bulkeley, H. & M.M. Betsill (2013). Revisiting the urban politics of climate change. *Environmental Politics*, 22(1), 136-154.

Commissie Dekker (2008). Publiek wat kan, privaat wat moet. Vertrouwen en verantwoordelijkheid in het bouwproces. Commissie Fundamentele Verkenning Bouw.

Faludi, A. & A.J. van der Valk (1994). Rule and Order: Dutch Planning Doctrine in the Twentieth Century. Kluwer Academic, Dordrecht.

Geels, F. & R. Kemp (2000). Transities vanuit sociotechnisch perspectief. Maastricht: Universiteit van Maastricht.

Kabat, P., W. van Vierssen, J. Veraart, P. Vellinga & J. Aerts (2005). Climate proofing the Netherlands. *Nature*, Vol. 438(7066): 283-284.

Kingdon, J.W. (1995). Agendas, Alternatives, and Public Policies. New York: Harper Collins College.

Kokx, A. & T. Spit (2012). Increasing the adaptive capacity in unembanked neighbourhoods? An exploration into stakeholders’ support for adaptive measures in Rotterdam, the Netherlands. *American Journal of Climate Change*, pp. 181-193

Meerkerk, I., B. van Boonstra & J. Edelenbos (2012). Self-Organization in Urban Regeneration: A Two-Case Comparative Research. *European Planning Studies*: 1–23, iFirst article.

Ministerie Infrastructuur en Milieu (2012). Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte - Nederland concurrerend, bereikbaar, leefbaar en veilig.

Nieboer, N. & V.H. Gruis (2013). Shifting back-changing organizational strategies in Dutch social housing. *Journal of Housing and the Built Environment*.

Rijksoverheid (2006). Nota Ruimte. Den Haag: Rijksoverheid.

Roders, M.J., A. Straub, & H.J. Visscher (2012). Awareness of climate change adaptations among Dutch housing associations. *Open House International*, 37 (4), pp. 61-71.

Roders, M.J., A. Straub & H.J. Visscher (2013). Evaluation of climate change adaptations by Dutch housing associations. *Structural Survey*, 31(4), pp. 267-282.

Root, L. (2013). Bridging the Financial Gap in Climate Adaptation: Dutch Planning and Land Development Through a New Institutional Lens.

Root, L. (in afroning 2013a). New Financing Mechanism for the Dutch Climate Adaptation Toolkit? Dimensions and Applicability of Tax Increment Financing.

Runhaar, H., H. Mees, A. Wardekker, J. van der Sluijs & P.P.J. Driessen (2012). Adaptation to climate change-related risks in Dutch urban areas: stimuli and weaknesses. *Regional Environmental Change*, 12(4), 777-790.

Sexton, M. & P. Barrett (2005). Performance-based building and innovation: balancing client and industry needs. *Building Research and Information*, 33(2), pp. 142-148.

Spit, T. & P. Zoete (2009). Ruimtelijke ordening in Nederland. Een wetenschappelijke introductie in het vakgebied. Den Haag: Sdu Uitgevers.

Sydow, J., G. Schreyögg & J. Koch (2009). Organizational path dependence: Opening the black box. *Academy of Management Review*, 34(4), 689-709.

Uittenbroek, C. (2012). The implications of various beliefs for the implementation of climate adaptation within Dutch municipalities. A comparative case study of Amsterdam, The Hague and Rotterdam. Paper presented at 25th Ph.D. Workshop on International Climate Policy (ICP) at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich.

Uittenbroek, C.J., L.B. Janssen-Jansen & H.A.C. Runhaar (2013). Mainstreaming climate adaptation into urban planning: Overcoming weakness, seizing opportunities and evaluating the results in two Dutch case studies. *Regional Environmental Change*, 13(2), 1-13.

Wejs, A., K. Harvold, S.V. Larsen & I.L. Saglie (2013). Legitimacy Building under Weak Institutional Settings: Climate Change Adaptation at the Local Level in Denmark and Norway. *Environmental Politics*.

6. Wat is de uiteindelijke balans van kosten en baten van adaptatiemaatregelen?

6.1 Naar een klimaatadaptatiestrategie

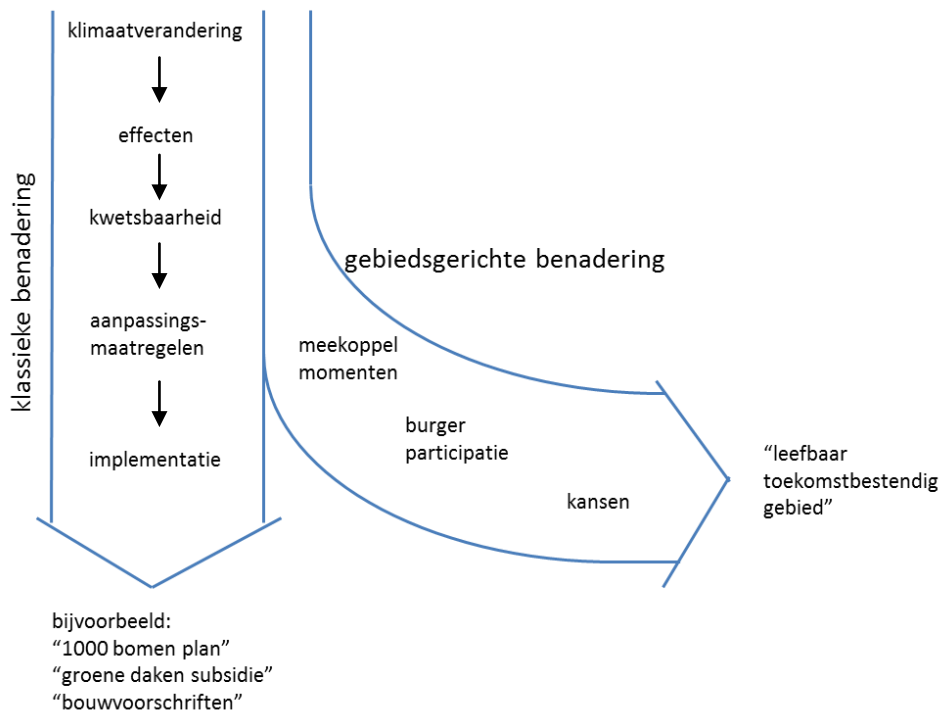
Bij het in praktijk brengen van de resultaten van het onderzoeksprogramma zijn er twee gerelateerde benaderingen mogelijk. De klassieke benadering volgt een redenering in de trant van: “het globale klimaat verandert, dit beïnvloedt op verschillende manieren Nederlandse steden, afhankelijk van de blootstelling en de gevoeligheid kan schade optreden en dat vereist op- en/of moment- aanpassingsmaatregelen en de implementatie daarvan”, zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken. De andere benadering, hier gebiedsgerichte benadering genoemd, gaat uit van een specifieke gebiedsopgave waarbij het erom gaat een ontwerp of een gebied beter en meer toekomstbestendig te maken. Klimaatverandering is hierbij een extra argument, zo niet een kans, om het algehele leefklimaat in de stad te verbeteren, zie figuur 6.1.

De eerste oorzakelijke benadering vertegenwoordigt het verhaal dat nodig is om alle betrokkenen inzicht te geven in oorzaak, gevolg en effectiviteit van maatregelen of ingrepen. Het is dit verhaal dat de motivatie biedt voor het ‘mainstreamen’ van klimaatadaptatie in ander beleid en dat medewerkers van verschillende afdelingen binnen een gemeente en andere stakeholders tot gezamenlijke actie brengt. De wijze van redeneren is noodzakelijk uit oogpunt van ‘fact based policy-making’ omdat het de wetenschappelijke achtergrond vormt waarmee de keuze voor een bepaalde adaptatiemaatregel of –strategie beargumenteerd kan worden. In deze lijn past ook een kosten-baten analyse. De voorgaande hoofdstukken dragen de kennis hiervoor aan.

Bij het toepassen van de tweede benadering wordt er vanuit gegaan dat kennis over klimaatverandering en adaptatie enigszins geïnternaliseerd is. De nadruk in deze benadering ligt op de toegevoegde waarde van adaptatiemaatregelen (die dan niet meer zo genoemd worden). In plaats van kosten en baten van de maatregelen, staan de co-benefits op de voorgrond. Er is volop aandacht voor de dynamiek van de stad, waardoor er kansen ontstaan voor het realiseren van de win-win situaties.

Het consequent volgen van ieder van de benaderingen leidt tot verschillende uitkomsten. Waar de klassieke benadering leidt tot concrete actiepunten waarvan het verband met extreme weersomstandigheden of klimaatverandering duidelijk is, leidt een gebiedsgerichte benadering tot een integrale verbetering van een wijk of gebied.

Hieronder worden de verschillende fases in de bovengenoemde benaderingen samengevat. Bij ieder van de stappen in de keten van klimaatimpact tot het nemen van adaptatiemaatregelen horen specifieke “tools” voor analyse en communicatie.



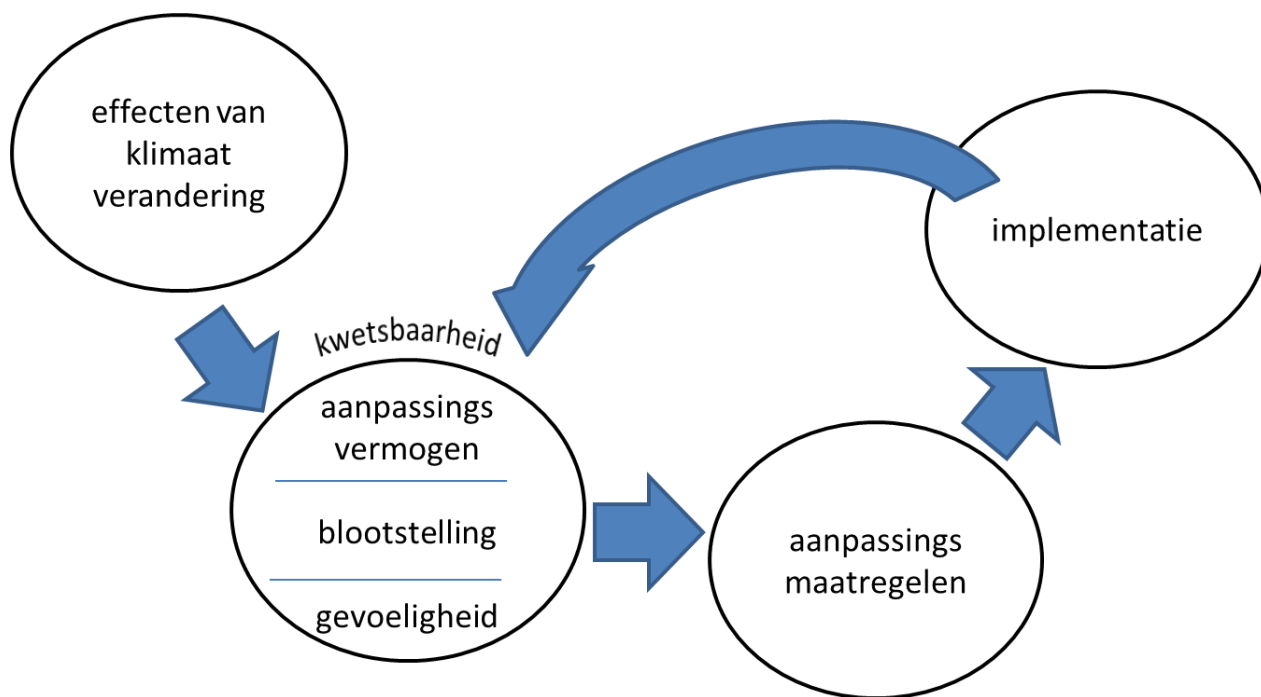
Figuur 6.1 Twee benaderingen voor de implementatie van klimaatadaptatie maatregelen.

Communicatie van de effecten van klimaatverandering

Voor het presenteren van de effecten van klimaatverandering voor steden wordt met veelal een overzicht van indicatoren de relevantie van aspecten van klimaatverandering voor de stad weergegeven. Op dit moment worden deze indicatoren nog afgeleid van de KNMI06 scenario's en zijn nog generiek van aard. Veel gebruikte indicatoren zijn: aantal dagen met een maximumtemperatuur boven 25°C en 30°C, aantal dagen met meer dan 15 mm en 30 mm neerslag. Deze variabelen kunnen ook per scenario als kaartbeeld voor Nederland worden weergegeven (zie klimateffectatlas.nl). In 2014 worden de KNMI'14 scenario's uitgebracht, waaruit meer specifieke indicatoren (onder meer over extremen) kunnen worden afgeleid.

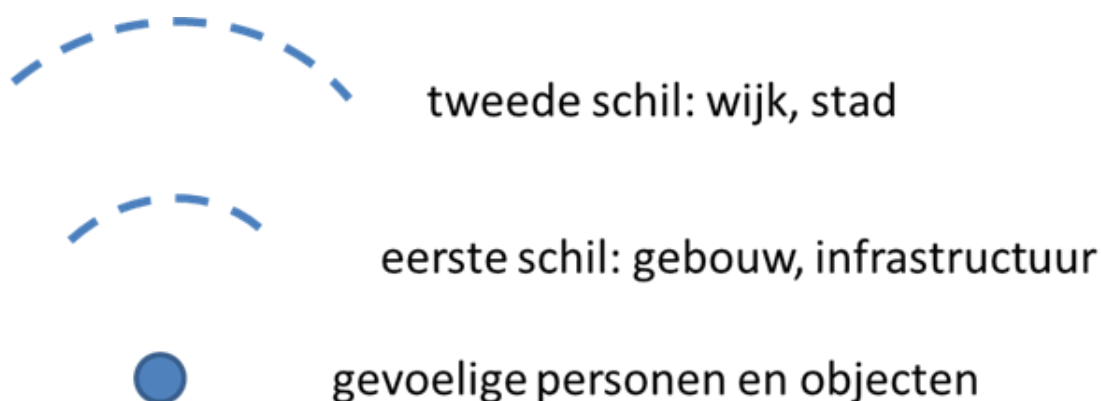
Het in kaart brengen van kwetsbaarheid

Voor de analyse van de kwetsbaarheid van een stad en onderdelen daarvan is in CPC een model ontwikkeld waarin de gevoeligheid van mensen of van kapitaalgoederen voor de hierboven genoemde indicatoren het uitgangspunt is (figuur 6.2).



Figuur 6.2 Effect-Kwetsbaarheid-Aanpassing-Implementatie (EKA) model voor klimaatverandering

Als eerste wordt geïdentificeerd wat de gevoelige groepen of objecten zijn, en waar zich die bevinden (zie figuur 6.3). De mate van blootstelling wordt vervolgens in eerste instantie bepaald door de kwaliteit van de gebouwen waarin de gevoelige groepen of objecten zich bevinden of door de kwaliteit van de fysieke infrastructuur (bijvoorbeeld de hoogte waarop schakelkastjes gemonteerd zijn). In tweede instantie wordt de blootstelling beïnvloed door de kwaliteiten van de wijk of bredere omgeving. Zo vermindert de aanwezigheid van bomen in een wijk de blootstelling aan extreme hitte (van gebouwen en van hun bewoners), de aanwezigheid van drempels en infiltratiegebieden vermindert de blootstelling aan de ophoping van regenwater in lage delen.



Figuur 6.3 Analyse model kwetsbaarheid

Adaptatiemaatregelen vergroten het aanpassend vermogen van gevoelige groepen of objecten of maken de “schillen” sterker, waardoor de kwetsbaarheid afneemt.

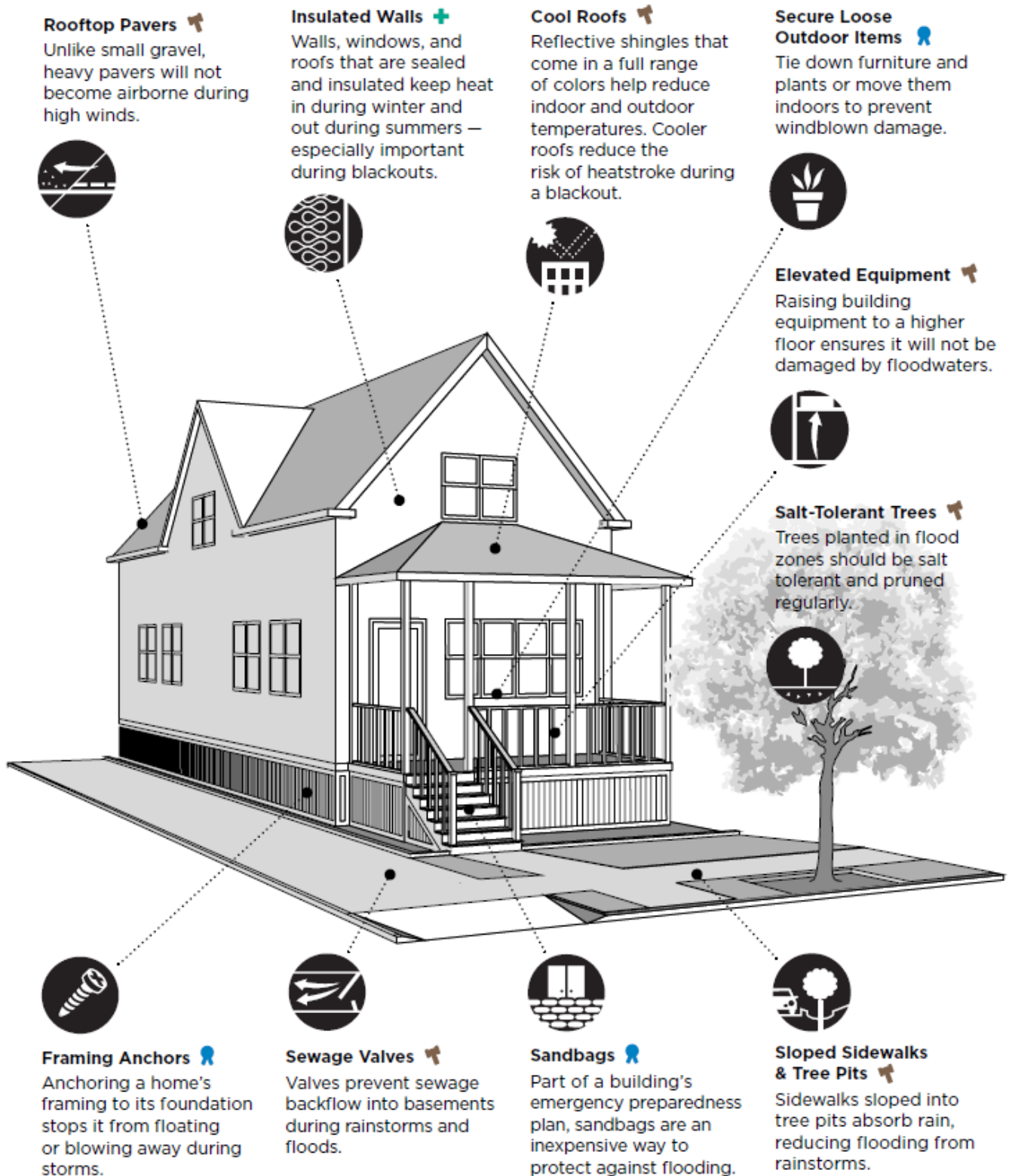
Het hier geschetste model kan als uitgangspunt dienen voor de zogenaamde “klimaatstresstest” (een kwetsbaarheidsanalyse van een stad of gemeente of deel daarvan) dienen. In hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van de basiselementen voor een klimaatstresstest voor hitte en wateroverlast. Afhankelijk van de gekozen benadering kan een stresstest dienen om alleen een diagnose te stellen, of om alvast een voorschot te nemen op de voorgenomen gebieds(her)inrichting door ook al te kijken naar mogelijke inrichtingsalternatieven. In het algemeen is het resultaat van een kwetsbaarheidsanalyse een kaart van het gebied die inzicht geeft in zowel de locatie van kwetsbare groepen en objecten als van de blootstelling aan klimaatinvloeden. Toegankelijkheid en transparantie voor stedelijk ontwerpers en burgers zijn belangrijk.

Ook al is het een aantrekkelijk idee om de gevolgen van klimaatverandering in een geldbedrag te kunnen weergeven, als mogelijke schade onder een bepaald klimaatscenario, het blijkt dat het berekenen (of schatten) van de mogelijke schade in Euro’s voor een stad of wijk erg veel gegevens vergt.

Selectie van aanpassingsmaatregelen

Overzichten van mogelijke klimaatadaptatie maatregelen (in de vorm van tabellen (zie bijvoorbeeld tabel 4.1 of bijlage D) of instructieve diagrammen – zie bijv. figuur 6.4) spelen in het stadium van de discussie en selectie van een grote rol. Dergelijke overzichten geven inzicht in de technische toepasbaarheid van maatregelen, de effectiviteit in het tegengaan van extreme hitte, droogte of wateroverlast, en wat in hoofdstuk 4 de mate van generieke toepasbaarheid is genoemd. Aangezien aanpassingsmaatregelen (in beide benaderingen) veelal geïntegreerd moeten worden in ander beleid, zijn voor overzichten van maatregelen ook de zijdelingse baten voor andere beleidsvelden (co-benefits) belangrijk.

Eén van de conclusies uit CPC onderzoek is dat de effectiviteit van veel maatregelen erg afhangt van de lokale situatie. Inzicht in de fysieke processen die de effectiviteit van een maatregel bepalen is nodig voor een goed ontwerp. Hierbij kunnen modellen, zoals Building Energy Simulation Models, en ontwerpinstrumenten, zoals 3Di, een ondersteunende rol spelen. Deze contextafhankelijkheid maakt het tevens erg lastig om een schatting te geven van de kosten en baten van maatregelen.

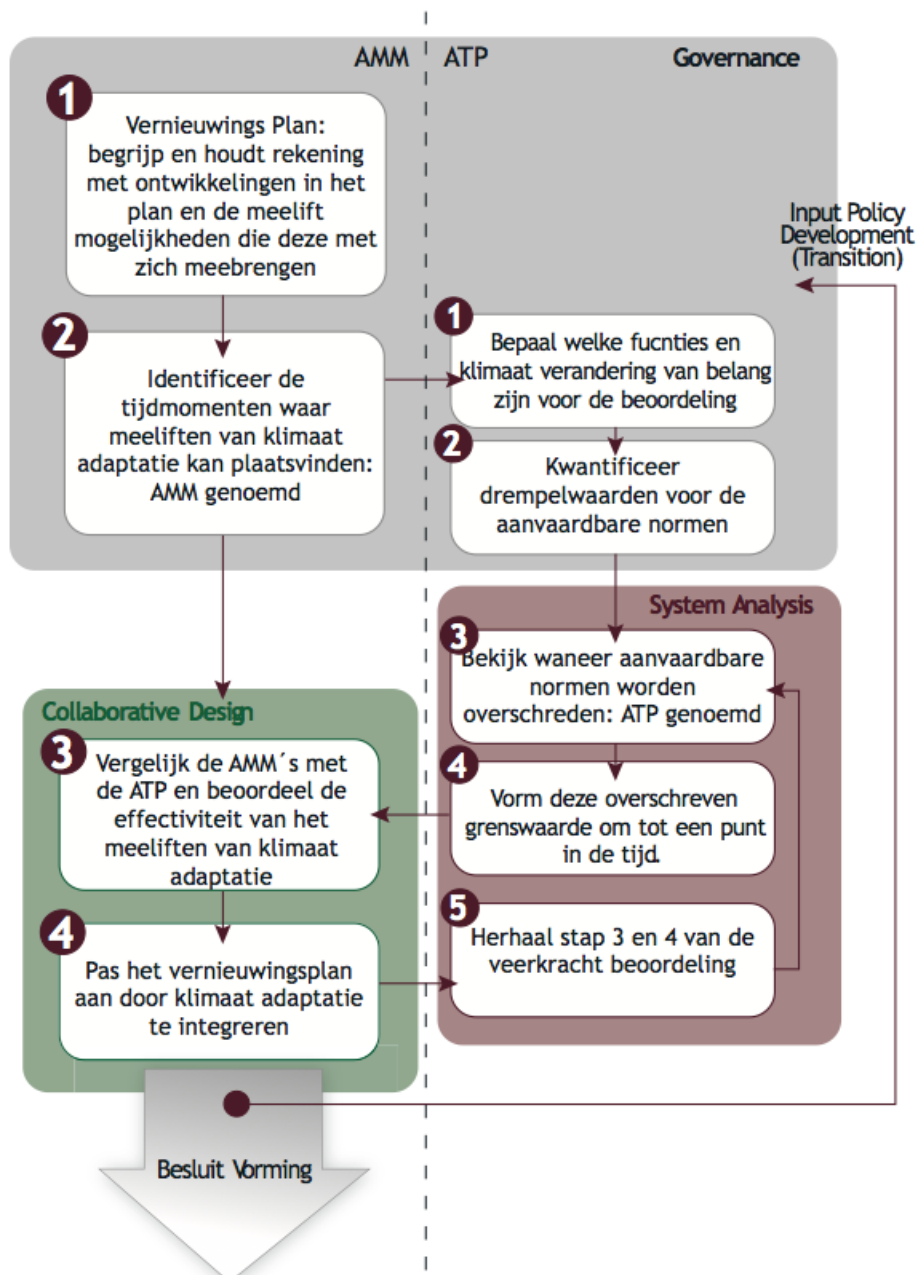


Figuur 6.4. Na "Sandy" wordt in New York gebruik gemaakt van diagrammen per gebouwtype om de gebouweigenaren te informeren over aanpassingsmaatregelen (bron: BRTF, 2013).

Implementatie van adaptatie en de dynamiek van de stad

Veel steden hebben niet meer de financiële middelen om specifieke maatregelen te nemen om de stad klimaatbestendig te maken. Het inbouwen van adaptatiemaatregelen moet daarom bijna altijd onderdeel zijn van het 'meekoppelen' met andere projecten. Op dit moment wordt het klimaatbestendig maken en het omgaan met klimaatonzekerheid echter nog niet structureel meegenomen in stedelijke vernieuwingsprojecten.

Als ondersteuning voor de besluitvorming over de kansen om mee te koppelen met stedelijke nieuwbouw- of renovatieprojecten is in CPC onderzoek gedaan naar een benadering die een combinatie is van twee methodes (zie figuur 6.5).



Figuur 6.5 De meekoppel benadering (links) gecombineerd met de knikpunten aanpak (rechts)

De eerste methode is de meekoppel methode. Deze gaat uit van adaptatiekansen dankzij stedelijke dynamiek. De meekoppelmethode is in dit onderzoek toegepast op een herstructurering van een woonwijk in de stad Dordrecht, uitgaande van één meekoppelmoment, en op het schaalniveau van het gehele eiland van Dordt voor kritische infrastructuur. Door klimaatbestendigheid als ambitie mee te nemen in het project, werden nieuwe mogelijkheden overwogen om ook andere milieu- en duurzaamheidsambities te realiseren. Behalve wateroverlast, is nagedacht over hitte-stress, droogte en zelfs energievoorziening, en zijn ideeën ontwikkeld om e.e.a. te koppelen met sociale doelen om bijvoorbeeld recreatiemogelijkheden te creëren. In alle gevallen bleek de discussie over doelen en het ontwikkelen van maatregelen maatwerk en zijn lokale mogelijkheden leidend.

De tweede is de knikpunten methode (Kwadijk et al, 2010). Een knikpunt is het moment waarop de mate van klimaatverandering zodanig is dat de huidige strategie of beleid niet langer zijn doelen haalt. Op dat moment is ander beleid nodig. De knikpunten methode houdt rekening met klimaatonzekerheid, maar zonder afhankelijk te zijn van (steeds nieuwe) klimaatscenario's. Het resultaat is een instrument dat de dialoog en besluitvorming ondersteunt.

Bij de combinatie van methoden is in Dordrecht de knikpuntenbenadering toegepast om de wateropgave vast te stellen én zijn de optimale meekoppelmomenten onderzocht in de diverse stedelijke ontwikkelings-, beheer- en onderhoudsplannen. Zo zijn meekoppelmomenten en knikpunten afgestemd in de tijd: bijvoorbeeld door onderhoudswerkzaamheden eerder uit te voeren kunnen knikpunten vooruitgeschoven worden in de tijd.

De meekoppel- en knikpuntenbenadering is een dialoog-ondersteunende tool. Het stimuleert de samenwerking tussen actoren op lokaal niveau, waardoor (lokale) belangen en kennis worden meegenomen. Per definitie ambieert stedelijke vernieuwing diverse sociale, economische en fysieke doelen die afgewogen en verbonden moeten worden door verschillende actoren. Bovendien ondersteunt de meekoppelmethode de communicatie met en tussen bestuurders. De kansen van het meekoppelen met stedelijke vernieuwing, de integratie van doelen en de houdbaarheid van strategieën worden begrepen als concept en stimuleren een discussie over de ambitie ten aanzien van klimaatbestendigheid.

6.2 Integratiecase in Bergpolder Zuid, Rotterdam

De case Bergpolder Zuid is in CPC gebruikt om te onderzoeken hoe de in het gehele programma verzamelde kennis kan worden geïntegreerd en kan worden ingezet om een wijk klimaatbestendig te maken.

Bergpolder Zuid is een 19e-eeuwse woonwijk in Rotterdam. De wijk is 12,5 ha groot en er staan 1207 woningen. Bergpolder Zuid is in 2007 door de toenmalige minister van Wonen, Wijken en Integratie (WWI) aangewezen als een zogenaamde krachtwijk. Deze aanwijzing is gebaseerd op een aantal problemen in de wijk zoals een hoge mutatiegraad van bewoners, matige luchtkwaliteit, een rommelig straatbeeld en een beperkt aanbod van voorzieningen. In 2011 is op initiatief van de Rotterdamse deelgemeente Noord en woningcorporatie Vestia voor de Bergpolder Zuid een Masterplan gemaakt met voorstellen om de situatie in de wijk te verbeteren. Vestia was geïnteresseerd in aanbevelingen vanuit het CPC onderzoek over kosteneffectieve en eenvoudig te realiseren adaptatiemaatregelen die samen met andere herstelactiviteiten uitgevoerd zouden kunnen worden en die de klimaatbestendigheid van de wijk zouden verbeteren (quick wins). Het initiatief is echter vanwege de bestuurlijke veranderingen binnen Vestia en de economische crisis tijdelijk stopgezet. De CPC onderzoeksactiviteiten lopen nog steeds door.

De afgelopen twee jaar zijn in Rotterdam verschillende onderzoeken uitgevoerd; zie bijvoorbeeld de paragrafen: 2.1: Monitoring netwerk Rotterdam; 2.2.1: Modelleren op meso-schaal; 3.1.3: Gevoeligheidsprofielen voor straten; 4.2.1: Groene infrastructuur; 4.2.2: Verdampingskoeling in de buurt; 4.2.3: Omgaan met extreme neerslag; 5.1: Implementatie van maatregelen – Gemeente.

In een recent georganiseerde schetsworkshop hebben stakeholders en onderzoekers hun kennis bijeengebracht om de vraag te beantwoorden *'Welke kansen liggen er in de Bergpolder Zuid om de kwetsbaarheid voor hitte, wateroverlast en droogte gedurende de dag en nacht, zowel binnenshuis als op straat te verbeteren?'* Maatregelen die relevant en kansrijk werden geacht om de kwetsbaarheid in de wijk te verminderen werden ingetekend op een plattegrond van de wijk (zie figuur 6.6).



Figuur 6.6 Plattegrond van Bergpolder Zuid met adaptatiemaatregelen

Vanuit het integratieperspectief laat de schetsworkshop een aantal interessante lessen zien.

- Een schetsworkshop is een interessante werkvorm om verschillende typen kennis (onderzoek, sectoren, gebied en beleid) boven tafel te krijgen, te integreren en te vertalen in beleidsaanbevelingen.
- Het is vaak niet zo relevant om naar 'losse' maatregelen te kijken. Zo zal het enkel verbeteren van de woningisolatie leiden tot een verslechtering van het binnenklimaat omdat de warmte die eenmaal binnenshuis is, wordt vastgehouden. Maar in combinatie met andere maatregelen op gebouwniveau, zoals flexibele zonwering, is de maatregel wel degelijk effectief.
- Het gebruik van verschillende eenheden om de effecten van maatregelen uit te drukken is verwarrend voor beleidsmakers. Behalve het gebruik van een uniforme maat zoals 'thermisch comfort', uitgedrukt in Fysiologisch Equivalente Temperatuur (PET), is het belangrijk om consequent aan te geven of de effecten overdag of 's nachts, binnen of buiten, en onder welke meteorologische omstandigheden geldig zijn.

6.3 Conclusies

De hoofdvraag die we aan het begin van het onderzoek van CPC hebben geformuleerd als eindpunt van de integratie van alle kennis: “Wat is de uiteindelijke balans van kosten en baten van adaptatiemaatregelen”, is hiermee nog niet beantwoord. Als onderbouwing van stedelijke adaptatie strategieën, is een kader ontwikkeld voor het beantwoorden van de waarom, wat en hoe vraag.

Daarbinnen blijkt een wisselend belang van een alomvattende kosten-baten analyse. Een overzicht van de mogelijke schade door klimaatverandering wordt gezien als motiverend om aandacht te geven aan klimaatadaptatie. Zo bevat het Manifest klimaatbestendige stad (Coalities, 2013) een schatting van de schade over de komende 50 jaar (gebaseerd op Deltares, 2012). Een berekening van de schade kosten onder verschillende klimaatscenario's in een stad vereist echter erg veel gegevens, waarvan een deel alleen op nationaal niveau beschikbaar is (zie Stone et al., 2013). Een kosten-batenanalyse van klimaatadaptatie in een stad is daarom op dit moment nog niet een betrouwbaar beleidsinstrument.

Wel is uiteraard voor iedere beleidsbeslissing informatie nodig over de kosten van dat beleid of die bepaalde actie. Aangezien klimaatadaptatiemaatregelen in een stedelijke omgeving divers en veelal context bepaald zijn, moet deze raming vanuit de lokale situatie worden opgebouwd.

Voor een gebiedsgerichte benadering, waarin de nadruk ligt op co-benefits, is echter een uitsplitsing van de kosten die specifiek voor klimaatadaptatie gemaakt worden, minder nodig.

Referenties Hoofdstuk 6

BRTF (2013). Building Resilience Task Force, full proposals. Report to mayor Michael R. Bloomberg and speaker Christine C. Quinn. Urban Green/US Green Building Council.

Coalities (2013). Manifest klimaatbestendige stad - Nu bouwen aan de stad van de toekomst. Advies aan de stuurgroep van het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering.

Deltares (2012). Schades door watertekorten en –overschotten in stedelijk gebied. Quick scan van beschikbaarheid schadegetallen en mogelijkheden om schades te bepalen. M. Hoogvliet, F. van de Ven, J. Buma, N. van Oostrom, R. Brotsma, T. Filatova, J. Verheijen en P. Bosch. Deltares rap nr 120563-000.

Kwadijk, Jaap C.J. , Marjolijn Haasnoot, Jan P.M. Mulder, et al., (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise, a case study for in the Netherlands. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. Volume 1, Issue 5, pages 729–740, September/October 2010.

Stone, K., Daanen, H., Jonkhoff, W., Bosch, P. (2013). Quantifying the sensitivity of our urban systems Impact functions for urban systems Revised version; Knowledge for Climate; Deltares project number: 1202270.008

Bijlagen

Bijlage A Lijst van onderzoekers Climate Proof Cities

project	voornaam		achternaam	instituut	rol
Werkpakket 1	Bert	van	Hove	Wageningen University	werkpakkettrekker
1.1 observations	Bert	van	Hove	Wageningen University	projectleider
	Bert		Holtslag	Wageningen University	projectleider
	Cor		Jacobs	Alterra	onderzoeker
	Lisette		Klok	TNO	onderzoeker
	Bert		Heusinkveld	Wageningen University	onderzoeker
	Jan		Elbers	Alterra	onderzoeker
	Rogier		Westerhof	Deltares	onderzoeker
	Reinder		Brolsma	Deltares	onderzoeker
	Reinder		Ronda	Wageningen University	postdoc
	Oscar		Hartogensis	Wageningen University	onderzoeker
	Ronald		Hutjes	Wageningen University	onderzoeker
1.2 meso model	Bert		Holtslag	Wageningen University	projectleider
	Bert	van	Hove	Wageningen University	projectleider
	Reinder		Ronda	Wageningen University	postdoc
	Sytse		Koopmans	Wageningen University	postdoc
1.3 micro model	Harm		Jonker	TU Delft	projectleider
	Patrick		Schrijvers	TU Delft	AIO
	Sasa		Kenjeres	TU Delft	onderzoeker
	Stephan	de	Roode	TU Delft	onderzoeker
Werkpakket 2	Bert		Blocken	TU Eindhoven	werkpakkettrekker
2.1 indoor performance buildings	Jan		Hensen	TU Eindhoven	projectleider
	Mike	van der	Heijden	TU Eindhoven	AIO
	Mohamed Hamdy Hassan Mohamed			TU Eindhoven	postdoc
2.2 human health impacts *	Hein		Daanen	TNO	projectleider
	Ries		Simons	TNO	onderzoeker
	Simone		Brouwer	TNO	onderzoeker
2.3 sensitivity & vulnerability *	Frans	van de	Ven	Deltares	projectleider
	Matthieu		Spekkers	TU Delft	onderzoeker
	Karin		Stone	Deltares	onderzoeker
	Rianne	van	Duinen	Deltares	onderzoeker
	Hein		Daanen	TNO	onderzoeker
	Chris		Zevenbergen	Unesco-IHE	onderzoeker
	William		Verbeek	Unesco-IHE	onderzoeker
	Sonja		Döpp	TNO	onderzoeker
	Wouter		Jonkhoff	TNO	onderzoeker
	Wouter	van	Riel	Deltares	onderzoeker
2.4 neighbourhood typology	Frank	van der	Hoeven	TU Delft	projectleider
	Andy	van den	Dobbelsteen	TU Delft	projectleider
	Nico		Tillie	TU Delft	onderzoeker
	Alexander		Wandl	TU Delft	onderzoeker
	S.	van der	Spek		onderzoeker
	Maarten		Tjon Sie Fat	TU Delft	AIO

project	voornaam		achternaam	instituut	rol
Werkpakket 3	Andy	van den	Dobbelsteen	TU Delft	werkpakkettrekker
3.1 green interventions	Sanda		Lenzholzer	Wageningen University	projectleider
	Wiebke		Klemm	Wageningen University	AIO
	J.A.M.H.		Hofman		onderzoeker
	Toine		Vergroesen	Deltares	onderzoeker
	Adri	van den	Brink	Wageningen University	
3.2 rainfall interception, building and street	Bert		Blocken	TU Eindhoven	Projectleider
	Hamid		Montazeri	TU Eindhoven	AIO
3.3 rainfall interception, cities	Frans	van de	Ven	Deltares	projectleider
	Jan		Hofman	KWR	projectleider
	Toine		Vergroesen	Deltares	projectleider
	Eelco		Verschelling	Deltares	onderzoeker
	Daniel		Tollenaar	Deltares	onderzoeker
	Gerjan		Medema	KWR	onderzoeker
	Marthe	de	Graaff	KWR	onderzoeker
	Elgard	van	Leeuwen	Deltares	reviewer
	Hanneke	van der	Klis	Deltares	onderzoeker
3.4 water & energy systems *	Reinder		Brolsma	Deltares	projectleider
	Daniel		Tollenaar	Deltares	onderzoeker
	Roel		Brand	TNO	onderzoeker
	Jan	de	Wit	TNO	onderzoeker
	Marthe	de	Graaff	KWR	onderzoeker
	Matthijs		Bonte	KWR	onderzoeker
	Jan		Hofman	KWR	reviewer
	Frans	van de	Ven	Deltares	reviewer
3.5 adaptive building envelopes	Harry		Timmermans	TU Eindhoven	projectleider
	Twan	van	Hooff	TU Eindhoven	postdoc
	Bert		Blocken	TU Eindhoven	onderzoeker
	Wendy		Janssen	TU Eindhoven	onderzoeker
	Christof		Gromke	TU Eindhoven	onderzoeker
3.6 urban climate design	Andy	van den	Dobbelsteen	TU Delft	projectleider
	Laura		Kleerekoper	TU Delft	AIO
	Truus		Hordijk	TU Delft	onderzoeker
	Machiel	Van	Dorst	TU Delft	onderzoeker
3.7 metropolitan areas	Frank	van der	Hoeven	TU Delft	projectleider
	Leyre		Echevarria Icaza	TU Delft	AIO
	Maarten		Tjon Sie Fat	TU Delft	AIO
	Andy	van den	Dobbelsteen	TU Delft	onderzoeker

project	voornaam		achternaam	instituut	rol
Werkpakket 4	Tejo		Spit	Utrecht University	werkpakkettrekker
4.1 external integration	Tejo		Spit	Utrecht University	projectleider
	Willem		Salet	University of Amsterdam	projectleider
	Hens		Runhaar	Utrecht University	co-supervisor
	Caroline		Uittenbroek	Utrecht University	AIO
4.2 self organization	Luuk		Boelens	Utrecht University	projectleider
	Beitske		Boonstra	TNO	AIO
4.3 residential buildings	Henk		Visscher	TU Delft	projectleider
	Ad		Straub	TU Delft	projectleider
	Martin		Roders	TU Delft	AIO
4.4 redevelopment urban areas	Tejo		Spit	Utrecht University	projectleider
	Anita		Kokx †	Utrecht University	postdoc
	Marjolein		Dikmans	Utrecht University	onderzoeker
	Ronald	van	Kempen	Utrecht University	onderzoeker
4.5 financial instrument	Tejo		Spit	Utrecht University	projectleider
	Erwin	van der	Krabben	Radboud University Nijmegen	projectleider
	Liz		Root	Radboud University Nijmegen	AIO
Werkpakket 5	Peter		Bosch	TNO	werkpakkettrekker
5.1 effectiveness assessment	Eddy		Moors	Alterra	projectleider
	Annemarie		Groot	Alterra	onderzoeker
	Herbert	ter	Maat	Alterra	onderzoeker
	Peter		Bosch	TNO	onderzoeker
	Cor		Jacobs	Alterra	onderzoeker
	Anikó		Pásztor	TNO	onderzoeker
	Sonja		Döpp	TNO	onderzoeker
	Vera		Rovers	TNO	onderzoeker
5.2 integration frameworks	Peter		Bosch	TNO	projectleider
	Chris		Zevenbergen	Unesco-IHE	onderzoeker
	William		Veerbeek	Unesco-IHE	onderzoeker
	Jeroen		Rijke	Unesco-IHE	onderzoeker
	Sonja		Döpp	TNO	onderzoeker
	Anikó		Pásztor	TNO	onderzoeker
	Vera		Rovers	TNO	onderzoeker
5.3 integrated assessment report	Peter		Bosch	TNO	projectleider
	Vera		Rovers	TNO	onderzoeker

* Project afgesloten

Bijlage B Publicaties Climate Proof Cities 2011-2013

De publicaties die zijn uitgebracht in het kader van het CPC-programma zijn grotendeels beschikbaar op de [website](#) van Kennis voor Klimaat.

Wetenschappelijke publicaties

Boonstra, B., Boelens, L. (2011). Self-organization in urban development: towards a new perspective on spatial planning. *Urban Research & Practice*, Vol.4(2): 99-122.

Daanen, H.A.M., Heusinkveld, B., Van Hove, B., Van Riet, N. (2011). Heat strain in elderly during heat waves in The Netherlands. In: Kounalakis, S., Koskolou, M. (eds), *Abstract book XIV International Conference on Environmental Ergonomics*. Nafplio, Greece. p. 26.

Heijden, M.G.M. van der, Blocken, B., Hensen, J.L.M. (2012). Heat wave vulnerability classification of residential buildings. *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable*. Windsor, UK, 12-15 April 2012.

Hove, L.W.A. van, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A. Elbers, G.J. Steeneveld, S. Koopmans, E.J. Moors and A.A.M. Holtslag (2011). Exploring The Urban Heat Island Intensity Of Dutch Cities. In: *City Weathers Workshop proceedings, 23–24 June 2011, Manchester, United Kingdom*. p. 31-38.

Steeneveld, G.J., S. Koopmans, B. van Hove, B. Heusinkveld, B. Holtslag, 2012, Het warmte-eiland effect en thermisch comfort in Nederlandse steden. *Meteorologica* 2012 (1).

Kleerekoper, L., Esch, M. M. E. V. & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling* 64, 30– 38.

Klok, L., Zwart, S., Verhagen, H., Mauri, E. (2012). The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.64: 23-29.

Kokx, A. & T. Spit (2012), Increasing the Adaptive Capacity in Unbanked Neighborhoods? An Exploration into Stakeholder Support for Adaptive Measures in Rotterdam, the Netherlands. In: *American Journal of Climate Change* 1 (2012), pp. 181-193.

Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.64: 39– 48.

Meerkerk, I. van, Boonstra, B., Edelenbos, J. (2012). Self-Organization in Urban Regeneration: A Two-Case Comparative Research. *European Planning Studies*: 1–23, iFirst article.

Ren, C., T.Spit, S. Lenzholder, H.L.S. Yim, B. Heusinkveld, B. van Hove, L. Chen, S. Kupski, R. Burghard & L. Katzschner (2012). Urban Climate Map System for Dutch Spatial Planning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol.18: 207-221.

Roders, M.J. and Straub, A., (2011). Corporaties Klimaat Bewust? Rooilijn Vol.5: 362-369.

Roders, M.J., Straub, A., Visscher, H.J. (2011). Climate change effects on living quality; awareness of housing associations. In: Wamelink, J.W.F., Geraedts, R.P., Volker, L. (eds.), MISBE2011 - Proceedings of the international Conference on Management and Innovation for a Sustainable Built Environment, Delft: Delft University of Technology. ISBN 9789052693958.

Roders, M.J., Straub, A., and Visscher, H.J. (2012). The awareness of climate change adaptations among housing associations, *Open House International* 37(4) p. 61-71.

Roders, M.J., Straub, A. and Visscher, H.J. (2013). Climate change adaptation measures evaluated by Dutch landlords. *Structural Survey* Vol.31(4).

Ronda, R.J, G.J. Steeneveld, L.W.A. van Hove, A.A.M. Holtslag, 2012: Anthropogenic heat release and urban heat island effects in Rotterdam, the Netherlands. *Urban Environmental Pollution* 2012, Amsterdam, the Netherlands

Schrijvers, P.J.C, Jonker, H.J.J., Kenjeres, S., Roode, S.R. de (2012). Simulations of the urban climate at micro-scale. *Proceedings of the International Conference on Urban Climate* 8, 16/20-08-2012, Dublin, Ireland.

Steeneveld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., van Hove, L.W.A., Holtslag, A.A.M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *J. Geophys. Res.*, Vol.116, D20129: 14pp. (doi: 10.1029/2011JDO15988).

Uittenbroek, C.J., Janssen-Jansen, L.B., Runhaar H.A.C., (2012). Mainstreaming climate adaptation into urban planning: overcoming barriers, seizing opportunities and evaluating the results in two Dutch case studies. *Regional Environmental Change*. ISSN 1436-3798: DOI s10113-012-0348-8.

Rapporten en master theses

Bosch, P.R., Hoogvliet, M., Goosen, H., Hoeven, F. van der (2011). Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering. Rapport Climate Proof Cities consortium, TNO-060-UT-2011-01826.

Brolsma, R., Boderie, P., Graaff, M. de, Bonte, M., Brand, R., Wit, J. de, Hofman, J. (2013). Combining water and energy supply. Deltares 1202270-016

Chang, Y-P., Ji, Y. (2012). Urban Green-Waterscape on Street Level – Landscape Approach towards soil-based stormwater management in Dutch cities. Master thesis Landscape Architecture, Wageningen University and Research Centre. Supervisors: Wiebke Klemm, Sanda Lenzholzer.

Döpp, S., Klok, L., Janssen, S., Jacobs, C., Heusinkveld, B., Kleerekoper, L., Lenzholzer, S., Brolsma, R., Blocken, B., Bosch, P., Heijden, M. van der, Daanen, H., Timmermans, H., Hensen, J., Broeke, H. ten, Klemm, W., Uittenbroek, C. (2011). Kennismontage - Hitte en Klimaat in de Stad. Climate Proof Cities Consortium, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering, TNO-060-UT-2011-01053.

Döpp, S., Bosch, P. (2011). Climate Proof Cities: an integrated research framework. KfC report nr 109/2013.

Driel, B. van (2013). Intra-urban variability of heat and air quality in Rotterdam agglomeration. Master thesis Wageningen University. 281 pp. Supervisors: Bert van Hove, Bert Heusinkveld.

Haak, A. (2012). Climate change and heat stress in residential buildings - Evaluation of adaptation measures. Master thesis, Eindhoven University of Technology. Supervisors: Mike van der Heijden, Twan van Hooff, Harry Timmermans, Jan Hensen, Bert Blocken, Peter Bosch.

Hartmann, T., Spit, T. (2012). Managing Riverside Property: spatial watermanagement in Germany from a Dutch perspective. In: Hartmann, T., Needham, B. (ed), Planning by Law and Property Rights. London: Ashgate. pp. 97-115.

Heusinkveld, B., Van Hove, B., & Jacobs, C. (2011). Ruimtelijke analyse van het stadsklimaat in Rotterdam. WUR Publicatie.

Hoeven, F. D. van der, Wandl, A. (2013) Amsterwarm. Gebiedstypologie warmte-eiland Amsterdam. Delft, Nederland: TU Delft, Faculty of Architecture. ISBN-13 978-1481214346.

Hotkevica, I. (2013). Green elements in street canyons - Research by design for heat mitigation and thermal comfort in urban areas. Master thesis Landscape Architecture, Wageningen University and Research Centre. Supervisors: Wiebke Klemm, Sanda Lenzholzer.

Hove, L.W.A. van, J.A. Elbers, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, W.W.P. Jans (2011). Stadsklimaat in Rotterdam; Eerste analyse van de meetgegevens van het meteorologische meetnet. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 2192. 32 pp.

Hove, L.W.A. van, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A. Elbers, G.J. Steeneveld, S. Koopmans, E.J. Moors and A.A.M. Holtslag (2011). Exploring The Urban Heat Island Intensity Of Dutch Cities. In: Hebbert, M., Jankovic, V., Webb, B. (eds), *City Weathers, meteorology and urban design 1950-2010*. Published 2011 by Manchester Architecture Research Centre, University of Manchester. ISBN: 978-1-907120-98-5 <http://www.sed.manchester.ac.uk/research/marc>

Hove, L.W.A. van, G.J. Steeneveld, C. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J. Elbers and A.A.M. Holtslag (2011). Exploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch cities Assessment based on a literature review, recent meteorological observations and datasets provided by hobby meteorologists. Alterra, Wageningen. Alterra report 2170. 62 pp. ISSN 1566-7197.

Janssen, Stijn J. (2011). The influences of urban morphology on the average temperature of Rotterdam city. Master thesis, Technical University Eindhoven, 132 pp. Supervisors: Prof.dr.ir. B.D. de Vries en Dr.ir. Q. Han.

Klok, E.J., Schaminée, S. Duyzer, J., Steeneveld, G.J. (2012). De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden. TNO-rapport, TNO-060-UT-2012-01117.

Liu, Y., Shan, Y. (2012). Green building blocks to mitigate heat. Master thesis Landscape Architecture, Wageningen University and Research Centre. Supervisors: Wiebke Klemm, Sanda Lenzholzer.

Merema, B. (2012). Computational analysis of climate change adaptation measures at the building and street scale focused on vegetative measures: case study for the city of Arnhem. Master thesis, Eindhoven University of Technology. Supervisors: Wendy Janssen, Christof Gromke, Bert Blocken, Harry Timmermans.

Riel, W. van (2011). Exploratory study of pluvial flood impacts in Dutch Urban areas. Deltares rapport nummer 1202270-008.

Stone K., Duinen, R. van, Veerbeek W., Dopp, S. (2011). Sensitivity and vulnerability of urban systems Assessment of climate change impact to urban systems. Report nr: 1202270-008-BGS-0004.

Stone, K., Daanen, H., Jonkhoff, W., Bosch, P. (2013). Quantifying the sensitivity of our urban systems - Impact functions for urban systems. Deltares report 1202270.008

Toparlar, Y. (2012). Computational analysis of climate change adaptation measures at the building and street scale focused on evaporative cooling: case study for Bergpolder Zuid. Master thesis, Eindhoven University of Technology. Supervisors: Twan van Hooff, Wendy Janssen, Hamid Montazeri, Harry Timmermans, Bert Blocken, Ronald Albers.

Veerbeek. W., Husson. H. (2013). Vulnerability to Climate Change: Appraisal of a vulnerability assessment method in a policy context. Unesco-IHE OR/MST/177.

Vergroesen, T., Brolsma, R., Tollenaar, D. (2013). Verwerking van extreme neerslag in stedelijk gebied. Deltares report 1202270-009.

Water, C. van de (2012). What is the impact? Evaluation of data collection for climate policy effectiveness analyses from the perspective of SMEs. Master Thesis, Utrecht University. Supervisor: Tejo Spit.

Bijlage C Verklaring van stedelijke kenmerken die van invloed zijn op lucht- en oppervlaktetemperatuur

Landgebruikstype

Verhard oppervlak

Verhard oppervlak bestaat onder andere uit gebouwen, stoepen en asfalt; materiaal dat warmte absorbeert, opslaat en weer afgeeft (zie ook paragraaf 2.1 en 2.2). Verhard oppervlak wordt uitgedrukt in een getal van 1 (weinig verhard oppervlak) tot 100 (veel verhard oppervlak).

Water

Water neemt langzaam warmte op gedurende de dag en geeft deze weer langzaam af gedurende de nacht.. Zeewater is in de zomer koeler dan oppervlaktewater in het binnenland. Water wordt uitgedrukt in % van het bestudeerde oppervlak dat bedekt is met water.

Verkeersruimte

Verkeersruimte is verhard oppervlak waar geen schaduw op valt. Deze factor is toegevoegd omdat de analyse uit paragraaf 3.1.3 aangeeft dat er een statistisch verschil bestaat tussen verhard oppervlak en verkeersruimte. Verkeersruimte wordt uitgedrukt in % van het bestudeerde oppervlak dat bedekt is met verkeersruimte.

Groen Index (NDVI)

De 'Normalised Difference Vegetation Index' (NDVI) is een op reflectie van verschillende lichtstralen gebaseerde index die gerelateerd kan worden aan de bedekkingsgraad van groen (zie ook paragraaf 2.1 en 2.2). De index loopt van 1 (hoge bedekkingsgraad) tot 0 (lage bedekkingsgraad).

Andere relevante eigenschappen

Albedo

De albedo factor is een indicator voor de reflectie van zonnestraling. Bij een hoge albedo wordt meer straling teruggekaatst naar de atmosfeer en minder warmte geabsorbeerd. De waarde voor albedo wordt gegeven van 0 (donker) tot 1 (licht).

Bebouwingsschil

De bebouwingsschil is een index voor de verhouding tussen het gebouwoppervlak (of gebouwschil) en het bestudeerde grondoppervlak. Hoe hoger het getal, hoe meer gebouwoppervlak er is in verhouding tot het grondoppervlak en hoe meer warmte-uitwisseling kan plaatsvinden tussen de gebouwen en de omgeving.

Skyview factor

De 'skyview factor' (SVF) is een maat voor blootstelling aan de atmosfeer. De SVF wordt vaak uitgedrukt in een percentage van de hemel dat zichtbaar is als je omhoog kijkt. Een hoge SVF, dus weinig bebouwing, betekent dat gebouwen hun warmte makkelijker kwijt kunnen en sneller afkoelen (Zakšek et al., 2011).

Schaduw

Een indicator voor de periode dat het bestudeerde oppervlak gemiddeld in de schaduw ligt gedurende de dag. De waarde loopt van 0 (geen schaduw) tot 600 (alleen maar schaduw). Omdat schaduw van minder groot belang is in het bepalen van de temperatuur dan andere factoren, lijkt het in figuur 3.5 alsof meer schaduwen leidt tot een hogere temperatuur. Dit is echter het gevolg van de specifieke combinatie van factoren voor een bepaald cluster (of: kleur). Schaduw mag dan van minder belang zijn, tezamen met de andere vijf factoren zoals genoemd in de tekst en figuur, benaderen zij het model het beste.

Referentie

Zakšek, K., Oštir, K., & Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing*, Vol. 3(2): 398-415.

Bijlage D Overzicht van maatregelen tegen wateroverlast

Een samenvatting van maatregelen tegen wateroverlast staat in tabel D.1 en D.2. Een uitgebreide beschrijving van deze maatregelen is te vinden in Vergroesen (2013).

Verklaring van de symbolen

Schaal

- + maatregel heeft effect op dit schaalniveau en hoger
- maatregel wordt op een hoger niveau geïmplementeerd

Type stedelijk gebied

- + maatregel is kansrijk
- maatregel is niet kansrijk

Relief

- + maatregel is kansrijk
- maatregel is niet kansrijk

Ontwikkeling

- + maatregel is kansrijk
- maatregel is niet kansrijk

Ontwatering

- + maatregel goed toepasbaar bij gegeven grondwaterstand
- maatregel slecht toepasbaar bij gegeven grondwaterstand

Kosten

- + lage kosten in aanleg
- hoge kosten in aanleg

Toegevoegde waarde

Meervoudig ruimtegebruik

- + geen extra ruimte beslag
- wel extra ruimte beslag

Gebruik

- + water kan gebruikt worden voor laagwaardig huishoudelijk gebruik
- o water kan gebruikt worden voor besproeiing van vegetatie en grondwater aanvulling
- water kan slecht gebruikt worden

Beheer

- We Wegbeheerder (Gemeente)
- R Rioolbeheerder (Gemeente)
- G Groenvoorziening (Gemeente)
- Wa Waterbeheerder (Gemeente)
- WS Waterbeheerder (Waterschap)
- P Particulier

Tabel D.1 Overzicht toepasbaarheid maatregelen. Zie het tekstkader hierboven voor een verklaring van de symbolen.

Maatregel	Doel	Schaal	Type stedelijk gebied	Relief	Ontwikkeling	Ontwatering	Kosten	Toegevoegde waarde	Beheer
Ondergrondse berging/vertraging									
Riolering	Versnellen	Huis	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Ondergrondse berging	Vertragen	Straat	Lagstedelijk	Hellend (<1%)	Herstructurering	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Berg-bezinkvoorziening	Vertragen	Wijk	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Kruipruimtes (alle)	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Kruipruimtes (50 cm berging)	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Waterzak in kruipruimte	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Bovengrondse berging/vertraging									
Oppervlaktewater	Vertragen/versnellen	Huis	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Onderwater luchtzak	Vertragen	Straat	Lagstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Verdiepte wegen	Vertragen	Wijk	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Berging in/onder wegen	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Waterplein	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Groene daken	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Daktuinen	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Blauwe daken	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Blauwe daken met geknepen afvoer	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Groene gevels	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Berging in gebouwen (hoog)	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Berging in/tussen gebouwen (laag)	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Atrium / hofje	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Kelder en fundering	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Regentonnen	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Ondergrondse infiltratie									
Infiltratie units, infiltratiekratten	Vertragen	Huis	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Extra drooglegging/opvoeding	Vertragen	Straat	Lagstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Infiltratie putten (gw op 0.75m)	Vertragen	Wijk	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Infiltratie putten (gw op 2m)	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Infiltratie greppels	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Infiltratietransportrollen	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Infiltratie-drainage rollen	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Bovengrondse infiltratie/vertraging									
Wadis (bovengronds opslagdeel)	Vertragen	Huis	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Wadis (ondergronds opslagdeel)	Vertragen	Straat	Lagstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Wadis boven- en ondergrondse opslag	Vertragen	Wijk	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Doorlatende verharding	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
- Klinkers	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
- Tegels	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
- ZOAB	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Maalveld aanpassen	Vertragen/versnellen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Parken en groenstroken	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Overige maatregelen									
Pomp capaciteit	Vertragen	Huis	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Voortbaten/versneld afvoeren	Vertragen	Straat	Lagstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
RTC	Vertragen	Wijk	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Alkoppelen	nvt	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Bypass riolering	Vertragen	Stad	Hoogstedelijk	Helling	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Acceptatie	nvt	Stad	Hoogstedelijk	Top	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier
Cup-houd	Vertragen/versnellen	Stad	Hoogstedelijk	Vlak (<1%)	Bestaand	Herprofilering straat	Nieuwbouw	Meeroudig ruimtegebruik	Particulier

Tabel D.2 Overzicht kentallen maatregelen

Maatregel	Alvoerend areaal [m ²]	Oppervlak [m ²]	Diepte [m] Anders	Vuistregel berging over het totale oppervlak [m]	Leidingstijd [d]	Opmerking
Ondergrondse berging/vertraging						
Riolering	50%	-	- 55% grotere buisdiameters		0.5	Huidig berging in gemeenschappelijke stelsels is 7 mm, om 10mm extra te bergen zijn 55% grotere buisdiameters nodig
Ondergrondse berging	50%	50	1	L x B x H / CA	0.5	pomp capaciteit voor legen: 4 m ³ /uur
Berg-bezinkvoorziening	50%	50	1	L x B x H / CA	0.5	pomp capaciteit voor legen: 4 m ³ /uur
Kruipruimtes (alle)	50%	2000	0.025	L x B x H / CA	0.05 - 0.5	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Kruipruimtes (50 cm berging)	50%	100	0.5	-	1 - 10	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Waterzak in kruipruimte	50%	2000	0.025	L x B x H / CA	0.5	pomp capaciteit voor legen: 4 m ³ /uur
Bovengrondse berging/vertraging						
Oppervlaktewater	55%	550	0.12	L x B x H / CA	0.33	of 0.12 m extra peilstijging of 550 m ² extra open water, bij toelaatbare stijging van 0.1 m. Gemaaicapaciteit voor legen: 6 m ³ /uur
Ondervlucht	55%	50	1	L x B x H / CA	0.33	Gemaaicapaciteit voor legen: 6 m ³ /uur
Verdiepte wegen	50%	1000	0.05	L x B x H / CA	0.1 - 1	legen via riool, dus in een halve dag
Berging in/onder wegen	50%	1000	0.2	L x B x H / CA	0.1 - 1	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Waterplein	50%	167	0.3	L x B x H / CA	0.5	pomp capaciteit voor legen: 4 m ³ /uur
Groene daken	20%	2000	0.033	L x B x H x Ø / CA	4 - 12	verdamping zomer (2.3 mm/d) - winter (0.8 mm/d)
Daktuinen	20%	2000	0.033	L x B x H x Ø / CA	4 - 12	verdamping als groene daken, maar minder relevant door grotere berging
Blauwe daken	20%	2000	0.01	L x B x H / CA	0.01	afvoerpijp openen als er weer afvoercapaciteit is
Blauwe daken met geknepen afvoer	20%	2000	0.01	L x B x H / CA	0.25	Vertraagde afvoer, die begint zodra er water in de berging zit
Groene gevels	-	-	-	-	-	geen significante berging
Berging in gebouwen (hoog)	20%	-	- 20 m ³	L x B x H / CA	0.01	vergelijkbaar met blauwe daken
Berging in/tussen gebouwen (laag)	50%	-	- 50 m ³	L x B x H / CA	0.05 - 10	vergelijkbaar met berging in kruipruimte
Atrium / hofje	-	-	- 50 m ³	-	0.05 - 10	vergelijkbaar met berging in kruipruimte
Kelder en fundering	-	-	- 50 m ³	-	0.05 - 10	vergelijkbaar met berging in kruipruimte
Regentonnen	20%	20	1 20 m ³ , c.a. 40 regentonnen	L x B x H / CA	0.01	afvoert openen als er weer afvoercapaciteit is
Ondergrondse infiltratie						
Infiltratie units, infiltratiekragen	50%	105	0.5	L x B x H / CA	1 - 10	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Extra drooglegging/ophooging	50%	550	0.1	A x H / CA	0.33	Gemaaicapaciteit: 14 mm/d neerslag op het gehele beemalingsgebied
Infiltratie putten (gv op 0.75m)	50%	67	0.75 = 21 putten van Ø 2m	N x L x B x H / CA	0.75	in zandige grond (0.5 m/d)
Infiltratie putten (gv op 2m)	50%	25	2 = 6 putten van Ø 2m	N x L x B x H / CA	2	in zandige grond (0.5 m/d)
Infiltratie grappels	50%	143	1	L x B x H x Ø / CA	0.75	in zandige grond (0.5 m/d)
Infiltratietransportriolen	50%	-	- 55% grotere buisdiameters of 400 m buis Ø 40 cm	L x B x H x Ø / CA	0.5 - 6	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond, zie riolering
Infiltratie-drainage riolen	50%	-	- 55% grotere buisdiameters of 400 m buis Ø 40 cm	L x 0.25 π Ø	0.5 - 6	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond, zie riolering
Bovengrondse infiltratie/vertraging						
Wadis (overgrondse opslagdele)	50%	149	0.4	L x Hb x (B + Hb / S) / CA	0.01 - 1	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Wadis (ondergrondse opslagdele)	50%	200	0.2	(L x Hb x B x Ø) / CA	0.5 - 10	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Wadis boven- en ondergrondse opslag	50%	100	0.8	L x (Hb x (B + Hb / S) + Ho x B x Ø) / CA	0.5 - 10	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Doorlatende verharding	-	-	-	-	-	-
- Klinkers	-	-	-	-	-	-
- Tegels	-	-	-	0.001 mm	-	-
- ZOAB	-	-	-	0.001 mm	-	-
Maarveld aanpassen	50%	1000	0.2	L x B x H x Ø / CA	-	in zandige (0.5 m/d) - sligte (0.05 m/d) grond
Parken en groenstroken	50%	-	-	-	-	-
Overige maatregelen						
Pomp capaciteit	50%	-	-	-	-	-
Voorbellen/versneld afvoeren	50%	-	-	-	-	-
RTC	-	-	-	-	-	-
Alkoppelen	-	-	-	-	-	-
Bypass riolering	-	-	-	-	-	-
Acceptatie	-	-	-	-	-	-
Onderhoud	-	-	-	-	-	-

CA = Catchment Area [m²]
 Ø = effectieve porositeit [-]
 N = aantal [-]
 S = talud helling (waarde tussen 0 en 1) [-]
 Hb = bovengrondse waterdiepte [m]
 Ho = ondergrondse hoogte [m]